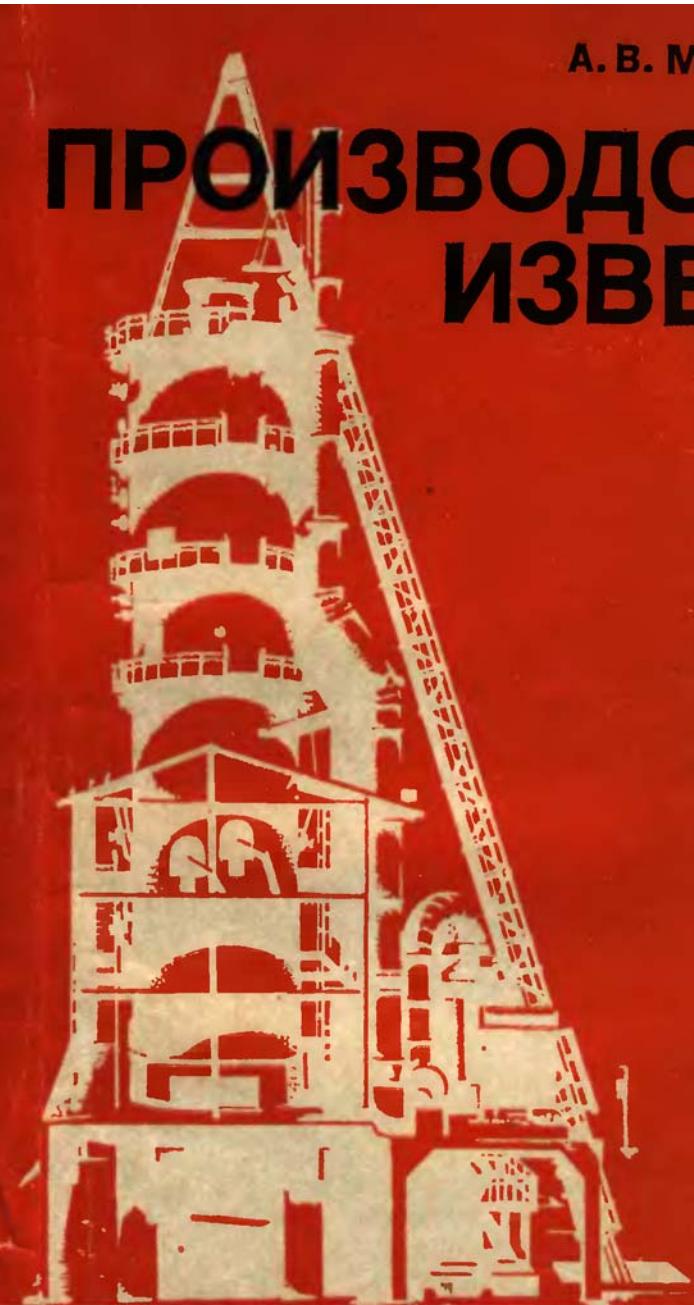


А. В. МОНАСТЫРЕВ

ПРОИЗВОДСТВО ИЗВЕСТИ



ПРОФЕССИОНАЛЬНО-
ТЕХНИЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

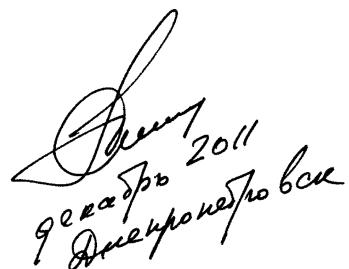


А. В. МОНАСТЫРЕВ

ПРОИЗВОДСТВО ИЗВЕСТИ

Издание четвертое,
переработанное и дополненное

Одобрено Ученым советом
Государственного комитета СССР
по профессионально-техническому образованию
в качестве учебника для средних
профессионально-технических училищ



9 февраля 2011
авторизовано все

МОСКВА
«ВЫСШАЯ ШКОЛА»
1986



ББК 35.41
М77
УДК 691.51

Рецензент — Паперин Л. М., инж., главный технолог Всесоюзного проектного института строительных материалов и конструкций Минстройматериалов СССР.

Монастырев А. В.

М77 Производство извести: Учеб. для сред. ПТУ. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1986. — 192 с.: ил. — (Профтехобразование).

Описаны основные виды извести и ее свойства; приведены характеристики карбонатного сырья и технологического топлива; рассмотрены процессы производства извести (обжиг в шахтных и вращающихся печах, печах кипящего слоя); устройство и эксплуатация технологического оборудования, а также систем автоматического регулирования процесса обжига. Четвертое издание (3-е — в 1978 г.) дополнено описанием шахтных печей с осевыми горелками, печей кипящего слоя и запечных теплообменников вращающихся печей. Учебник может быть использован при профессиональном обучении рабочих на производстве.

M 3203000000 — 233
052(01) — 86 85—86

ББК 35.41
6П7.3

© Издательство «Высшая школа», 1975
© Издательство «Высшая школа», 1986, с изменениями

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебник написан на основании действующих учебных программ для подготовки в средних профессионально-технических училищах квалифицированных рабочих по профессии обжигальщик извести. Материал расположен в технологической последовательности. Сначала приведены общие сведения об извести, ее применении и производстве. В этом разделе учащиеся знакомятся с техническими требованиями стандарта на строительную известь; узнают об ее основных свойствах и применении в народном хозяйстве; знакомятся с принципиальными схемами производства комовой и дробленой извести на предприятиях.

Затем изложены сведения из теплотехники печей. Учащиеся получают знания о способах передачи теплоты; знакомятся с видами и техническими характеристиками топлива, применяемого при производстве извести; узнают об особенностях горения топлива и условиях его полного сжигания; изучают движение газов, а также машины для их перемещения и создания искусственной тяги в печах; получают сведения о тепловом балансе печного агрегата.

Предварительное изучение учащимися названных выше разделов подготавливает их к изучению технологии и оборудования для производства извести. В дальнейшем изложен основной материал учебника, необходимый для получения учащимися специальных знаний: сведения о физико-химических процессах получения извести из карбонатных пород, устройство и эксплуатация шахтных, вращающихся печей и печей кипящего слоя. Этот материал описан наиболее полно. Рассмотрены также вопросы автоматизации процессов обжига карбонатных пород в печных агрегатах, организации рабочего места у печи и техники безопасности при эксплуатации технологического оборудования.

Для проверки усвоения учебного материала каждая глава заканчивается контрольными вопросами.

Автор

ВВЕДЕНИЕ

Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года, утвержденными на XXVII съезде КПСС, предусматривается ускорение темпов и эффективности развития промышленности строительных материалов на базе ускорения научно-технического прогресса, технического перевооружения и реконструкции производства. В XII пятилетке намечено расширить ассортимент и объем выпуска высококачественных местных строительных материалов, повысить производительность труда на 16—18 % при снижении себестоимости продукции на 4—5 %.

Наша страна стоит на первом месте в мире по производству извести. Главными потребителями извести являются предприятия промышленности строительных материалов (35 % общего выпуска), черной металлургии (33 %), химической (13 %) и пищевой промышленности (8,5 %).

В промышленности строительных материалов на каждые 1000 шт. силикатного кирпича расходуется более 400 кг негашеной извести. Возрастает потребление негашеной извести в черной металлургии, где на каждую тонну продукции используют от 40 кг извести (при агломерации руд) до 100 кг извести (в конверторном производстве стали). Большое количество извести расходуется в химической промышленности, на сахарных заводах при производстве целлюлозы, дезинфекционных средств, при очистке сточных вод.

В качестве строительного материала известь применяют с древнейших времен. Примерно пять тысяч лет назад в Египте известковые растворы использовали при строительстве некоторых пирамид.

В древнем Риме (около 190 лет до н. э.) большое количество извести применяли в кладочных и штукатурных растворах. Позднее этому способствовало открытие важного свойства извести — способности в смеси с тонкоизмельченными добавками продуктов вулканических извержений (туфа, пемзы, пепла) или недообожженного глиняного кирпича затвердевать не только в воздушно-сухих условиях, но и в воде. Добавки, обеспечивающие водостойкость вяжущего вещества, получили название гидравлических.

Точная дата начала производства извести в нашей стране не установлена. По данным Института археологии Академии наук УССР, в 990 г. с использованием извести сооружали Десятинную церковь в Киеве. Раскопки на территории Суздаля свидетельствуют

ют о применении извести при строительстве церквей в 1040 г. Стены Московского Кремля, построенные в XIV—XV вв., также были сложены на известковом растворе.

Первый завод по изготовлению известкового вяжущего с гидравлическими добавками в виде толченого кирпича был построен в Москве в конце XVII в.

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 значительному расширению производства извести.

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

В развитии технологии извести в нашей стране можно отметить следующие этапы. На первом этапе, длившемся примерно до конца XVIII в., производство извести было в основном примитивным. Собранные или добывшиеся вручную куски известняка подвергались атмосферной сушке с последующим обжигом во временно сооружаемых напольных или камерных печах.

Напольная печь периодического действия представляла собой сложенные в бурт чередующиеся слои известняка и каменного угля. Снаружи бурт обкладывали крупными кусками известняка и обмазывали глиной, перемешанной с соломой. Под буртом устраивали очаг, в который укладывали дрова для розжига печи. При отсутствии каменного угля в бурте известняка устраивали очаг с очелками для прохождения огня и газов. Часто напольные печи устраивали так, что тремя стенами их служил пласт известняка или мела, а четвертую (фасадную) выкладывали из кусков известняка на глиняном или известковом растворе.

Обжиг известняка в напольной печи длился до двух недель. Известь выгружали и тщательно сортировали вручную, так как брак, т. е. недожог извести, доходил до 35 % общего количества. Расход топлива при этом составлял 600.. 800 кг на 1 т извести.

Камерная печь периодического действия отличалась от напольной тем, что стенки камеры выкладывали из кирпича и в своде ее устраивали отверстия для выхода дымовых газов.

Второй этап развития производства извести, продолжавшийся до начала XX в., характеризовался применением для обжига непрерывно действующих многокамерных (кольцевых) и шахтных немеханизированных печей. При этом для бесперебойного обеспе-

чения печей известняком или мелом организовывали механизированное карьерное хозяйство.

Кольцевую печь непрерывного действия выполняли в виде замкнутого кольцевого канала, условно разделенного на 16 камер.

Шахтная немеханизированная печь представляла собой установленную вертикально цилиндрическую шахту. Обжигаемый материал размером 100 ... 200 мм загружался сверху в шахту слоями в пересыпку со слоями кускового короткопламенного твердого топлива (кокса, антрацита). Загружаемые сверху материалы по мере выгрузки извести из нижней части печи опускались и печь догружалась снова до нормального уровня. Воздух на горение поступал снизу за счет тяги, создаваемой шахтой или соединенной с ней дымовой трубой, нагревался за счет теплоты опускающейся горячей извести и поступал в зону обжига подогретым.

Таким образом, в кольцевых и немеханизированных шахтных печах использовалась теплота остыивающих и отходящих из печи газов, в связи с чем они были экономичнее действующих периодически однокамерных и напольных печей.

Третий этап развития производства извести наступил после Великой Октябрьской социалистической революции, в годы первых пятилеток. В 1929—1930 гг. началось строительство полностью механизированных шахтных пересыпных печей конструкций треста «Трубострой», а затем конструкции института «Росстромпроект», переименованного позднее в Союзгипрострому.

Шахтные печи производительностью 100 ... 450 т/сут, оборудованные механизмами для автоматической загрузки и выгрузки материалов и управляемые с пульта, продолжают строиться на предприятиях в текущей пятилетке.

Первые *вращающиеся печи* для выпуска извести появились в нашей стране в 1930—1940 гг. в бумажной, химической и металлургической промышленности, а первая печь диаметром 2,5 м и длиной 46 м производительностью 112 т извести в сутки — в промышленности строительных материалов. В 1957 г. для выпуска строительной извести введены в эксплуатацию вращающиеся печи размером 2,5×60 м производительностью 140 т/сут и размером 3×50 м, оборудованные подогревателем сырья, производительностью 250 т/сут.

В настоящее время в различных отраслях народного хозяйства внедряются вращающие печи производительностью 300 ... 600 т/сут.

Выросла концентрация известкового производства. Появились предприятия большой мощности: в промышленности строительных материалов 300 ... 400 тыс. т извести в год, в черной металлургии — более 1 млн. т, в химической промышленности — более 1,6 млн. т в год.

Научно-технический прогресс в промышленности строительных материалов, перевод производства на интенсивный путь развития, успешное решение задач, стоящих перед отраслью, в большой мере зависят от активного участия в этой деятельности молодых

квалифицированных рабочих. КПСС и Советское правительство много внимания уделяют подготовке квалифицированных рабочих. В нашей стране создана широкая сеть профессионально-технических училищ и учебных комбинатов. В соответствии с Основными направлениями реформы общеобразовательной и профессиональной школы, постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О дальнейшем развитии системы профессионально-технического образования и повышении ее роли в подготовке квалифицированных рабочих кадров» (1984 г.) в профессионально-технических училищах каждый будущий молодой рабочий должен воспитываться как активный строитель коммунизма, рачительный хозяин с присущими рабочему классу революционной идеологией, моралью, интересами, коллективистской психологией, высокой культурой труда, поведения, быта.

ГЛАВА I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗВЕСТИ, ЕЕ ПРИМЕНЕНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ

§ 1. Виды извести и ее использование

Виды извести. Известь производят из природных кальциево-магниевых горных пород, состоящих из карбоната кальция CaCO_3 , карбоната магния MgCO_3 и примесей в виде песка и глины. При нагреве в печи кальциево-магниевых пород до температуры $900 \dots 1300^\circ\text{C}$ они разлагаются на смесь оксидов кальция CaO , магния MgO и углекислый газ CO_2 . Продукт обжига помимо чистых оксидов всегда содержит некоторое количество других веществ (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3), а также их соединений с CaO и носит название извести. Углекислый газ называют также углекислотой.

По назначению известь разделяют на строительную и технологическую. Первую используют в строительстве как вяжущее вещество, вторую — в технологических процессах, например, при получении силикатного кирпича, силикатных бетонов, выплавке стали.

По зерновому составу выпускают известь комовую, дробленую, молотую и порошкообразную. Комовую известь получают обжигом в печи карбонатного сырья; дробленую фракции 0 ... 3 мм — измельчением комовой извести в дробилках; молотую — помолом комовой или дробленой извести, а также совместным помолом этих видов извести с металлургическими шлаками, золой топлива, кварцевым песком; порошкообразную — гашением комовой извести.

По виду основного оксида (CaO или MgO) известь подразделяют на кальциевую, магнезиальную и доломитовую. Кальциевая известь содержит 40 ... 96% CaO и до 8% MgO и получается путем применения для обжига известняка или мела с низким содержанием доломита. Магнезиальная известь содержит 50 ... 85% CaO и до 20% MgO , доломитовая известь — 50 ... 85% CaO и до 40% MgO . Магнезиальную и доломитовую известь производят обжигом доломитизированных известняков и доломита в печах кипящего слоя.

По условиям твердения строительная известь подразделяется на воздушную, твердеющую только в воздушно-сухой среде, и гидравлическую, способную твердеть, наращивать прочность и сохранять ее как на воздухе, так и в воде. Последнюю получают при умеренном (до температуры $1100 \dots 1200^\circ\text{C}$) обжиге

карбонатных пород с высоким (9 ... 21 %) содержанием глинистых веществ и последующем помоле полученного продукта.

На ряде предприятий промышленности стройматериалов и химической промышленности выпускают *гашеную известь*. Ее получают путем соединения камовой воздушной извести с водой и выпускают в виде порошка (гидратная известь), известкового теста, известкового молока. Производство гашеной извести в данном учебнике не рассматривается.

Применение извести. Известь используют в качестве вяжущего вещества для приготовления строительных растворов.

Известковые строительные растворы применяют при кирпичной и каменной кладках (кладочные растворы) и отделке стен зданий (штукатурные растворы). Строительная воздушная известь пригодна для сооружений, не подвергающихся действию воды (например, надземных). Используя гидравлическую известь, получают водостойкие строительные растворы.

В качестве вяжущего вещества известь применяют в тонко измельченном виде.

Основное количество выпускаемой извести (около 75 %) используется для технологических целей, например, в промышленности строительных материалов для изготовления силикатного кирпича и силикатных бетонов.

Силикатный кирпич производят из быстрогасящейся воздушной кальциевой извести, ячеистый и тяжелые силикатные бетоны — из среднегасящейся воздушной кальциевой извести. Более стойкие и долговечные изделия из ячеистого бетона получают при использовании в качестве вяжущего вещества гидравлической извести.

Металлургическая промышленность — крупнейший потребитель негашеной извести, где она необходима для выплавки стали в конверторах, электрических дуговых и мартеновских печах, для агломерации руд, производства ферросплавов.

В большом количестве известь применяют при производстве химических продуктов: гипохлорита кальция, рапного оксида магния, карбида кальция, хлорной извести, кальцинированной соды, бертолетовой соли. Известь служит необходимым реагентом во многих химических процессах.

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

Известковым раствором обрабатывают кожу животных, ткани, сырьевые материалы для производства клея. Молотой известью и известняком нейтрализуют кислые почвы.

§ 2. Основные требования к негашеной извести

Требования к важнейшим свойствам извести, применяемой в строительстве в качестве вяжущего материала и технологического компонента в промышленности строительных материалов, приведены в ГОСТ 9179—77 «Известь строительная. Технические условия».

Свойства строительной воздушной извести определяются главным образом количеством содержащихся в ней активных CaO и MgO : чем выше содержание активных оксидов, тем лучше качество извести.

Воздушную негашеную известь без добавок выпускают со Знаком качества и трех сортов: 1, 2 и 3-й. В воздушной кальциевой негашеной извести со Знаком качества и 1-го сорта должно быть активных оксидов $\text{CaO} + \text{MgO}$ 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%.

Известь кальциевую, магнезиальную и доломитовую негашеную молотую с добавками выпускают 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, т. е. распада частицы (молекулы) на несколько более простых частиц (атомов, ионов), характеризуется содержанием в извести углекислоты CO_2 . Содержание 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 содержания 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 быть такой тонкости помола, чтобы остаток на сите № 02 не превышал 1%, на сите № 008 — 10%.

По времени гашения воздушную негашеную известь всех сортов подразделяют на быстрогасящуюся (не более 8 мин), среднегасящуюся (не более 25 мин) и медленногасящуюся (более 25 мин). Время гашения извести — это интервал (в мин) от момента добавления воды в известь до начала снижения максимальной температуры смеси в сосуде.

Строительная гидравлическая известь подразделяется на два вида: слабогидравлическую и сильногидравлическую. Содержание активных $\text{CaO} + \text{MgO}$ при активной MgO до 6% в слабогидравлической извести допускается в пределах 40...65%, в сильногидравлической — 5...40%. Содержание углекислого газа CO_2 должно быть не более: в первой — 6%, во второй — 5%.

Тонкость помола извести должна соответствовать остатку частиц не более: на сите № 02 — 1,5%, № 008 — 15%. Предел прочности при сжатии образцов из слабогидравлической извести через 28 сут твердения не менее 1,7 МПа, из сильногидравлической извести — не менее 5 МПа.

Комовую негашеную известь, применяемую при конверторном способе выплавки стали, производят во вращающихся и шахтных печах. Известь, полученную первым способом, подразделяют 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 MgO для обоих сортов — $(8 \pm 3)\%$; содержание 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 — $(5 \pm 2)\%$; время гашения извести по методике, приведенной в ГОСТ 22688—77, для обоих сортов — не более 5 мин. Размер кусков извести должен быть 10...30 мм, при этом содержание кусков размером менее 10 мм не должно превышать по массе 10%.

Известь, полученная в шахтных печах, должна удовлетворять следующим требованиям: содержание активных $\text{CaO} + \text{MgO}$ — не менее 88%; не более: MgO — 3%, SiO_2 — 2%, S — 0,06%, P — 0,1%, потери при прокаливании — 10%. Время гашения извести — до 5 мин.

Негашеная известь, применяемая для выплавки стали в электрических дуговых печах, должна отвечать следующему химическому составу: CaO — 88...93%, MgO — до 2%, SiO_2 — до 2%, $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ — до 3%, S — до 0,1%, CO_2 — 3...5%.

При мартеновском способе производства стали применяют известь, содержащую 40...50% CaO и минимальное количество серы, фосфора и кремнезема.

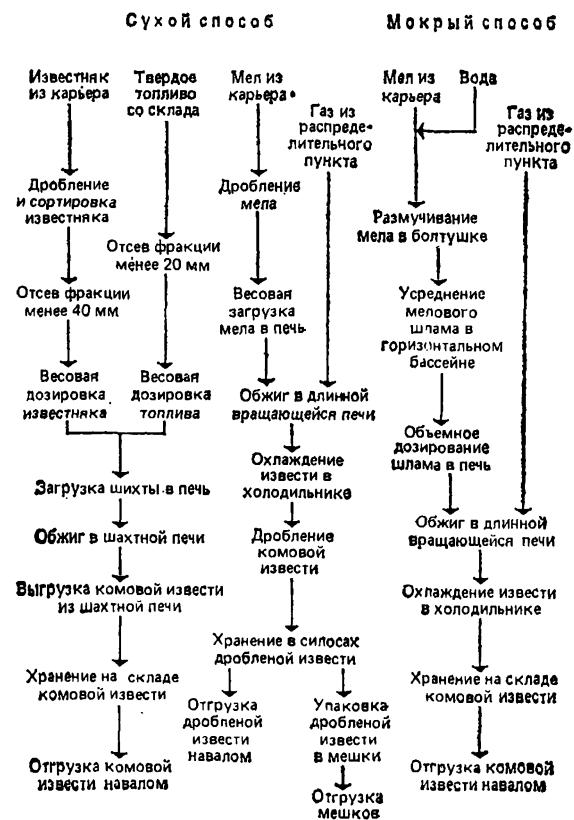
К составу и свойствам извести, используемой в химической промышленности, предъявляют специфические требования. Например, для производства карбида кальция и гипохлорита кальция требуется известь с содержанием CaO не ниже 95% при минимальном содержании примесей. Для получения соды применяют известь с активными $\text{CaO} + \text{MgO}$ 80...88%, для производства сахара — известь с содержанием активных $\text{CaO} + \text{MgO}$ 88...92% и остаточной углекислоты CO_2 — 3...5%.

§ 3. Способы производства комовой и дробленой извести

Процесс производства извести состоит из следующих основных операций: добычи сырья; его переработки (дробления, сортировки, размучивания); дозирования сырья и топлива и подачи их в обжиговую печь; обжига сырья (получения комовой извести); измельчения извести (изготовления дробленой извести).

В зависимости от того, каким способом готовят сырье к обжигу, различают сухой и мокрый способы производства извести. При сухом способе все операции выполняют, используя материалы естественной влажности, при мокром способе сырье измельчают и интенсивно перемешивают, добавляя определенное количество воды, до образования водной суспензии — шлама (см. схему I).

Схема I
Принципиальные технологические схемы производства комовой и дробленой извести сухим и мокрым способами



Сухой способ производства. При этом способе выбор технологической схемы и типа оборудования зависит от химического состава, влажности, механической прочности и других свойств сырья. Известь производят из известняков, доломитов и мела карьерной влажностью до 25%.

При обжиге известняков средней прочности и прочных в виде фракций с размерами кусков 180 ... 120, 120 ... 80, 80 ... 40 мм применяют шахтные печи; фракции 40 ... 20 мм — короткие вращающиеся печи, оборудованные запечными подогревателями сырья; фракции 20 ... 5 мм — длинные вращающиеся печи; фракций 25 ... 12 и 12 ... 3 мм — печи кипящего слоя. Мягкие известняки и мел влажностью до 25% в виде фракций 40 ... 20 мм и 20 ... 5 мм обжигают в длинных вращающихся печах.

Мокрый способ производства. При таком способе мел карьерной влажностью более 25% измельчают (размучивают) с водой до получения сметанообразной массы (шлама) влажностью 37 ..

... 44 %. После гомогенизации (усреднения) в горизонтальном бассейне меловой шлам насосами перекачивают в длинную вращающуюся печь на обжиг. Главный недостаток мокрого способа — повышенный расход топлива на обжиг в связи с необходимостью испарения воды шлама. Поэтому мокрый способ применяют в том случае, когда сырье из-за его высокой исходной влажности невозможно обжечь сухим способом.

Контрольные вопросы

1. Из каких оксидов состоит известь? 2. По каким признакам различают известь воздушную и гидравлическую? 3. Для каких целей используют известь в строительстве? 4. В чем состоит отличие доломитовой извести от магнезиальной? 5. Какие требования предъявляет ГОСТ 9179—77 к воздушной негашеной кальциевой извести 1-го сорта? 6. Каким дополнительным требованиям должна отвечать воздушная кальциевая негашеная известь, выпускаемая с государственным Знаком качества? 7. Чем отличается сухой способ производства извести от мокрого? 8. Какой тип печного агрегата широко применяют при обжиге известняка сухим способом?

ГЛАВА II. СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕПЛОТЕХНИКИ

§ 4. Способы передачи теплоты

Передача теплоты от одного тела (вещества) к другому называется теплообменом и осуществляется различными его видами: теплопроводностью, конвективным и лучистым теплообменом.

Теплопроводность — это теплообмен, при котором материал или газ передает теплоту через свою толщу за счет колебательных движений атомов, молекул или частиц, образующих кристаллическую решетку. Этот вид теплообмена осуществляется в условиях тесного соприкосновения между отдельными частицами тела и неравенства температур в отдельных точках тела или пространства. Количество передаваемой путем теплопроводности теплоты зависит от коэффициента теплопроводности материала λ_m , который измеряют в $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{град})$. Например, при передаче теплоты через стенку чем меньше коэффициент теплопроводности материала $\lambda_{ст}$, тем меньше теплоты уйдет через стенку. Высокий коэффициент теплопроводности имеют металлы, низкие — воздух, теплоизоляционный кирпич. С увеличением температуры и особенно влажности коэффициент теплопроводности для многих материалов возрастает.

Конвективный теплообмен — процесс переноса теплоты в неравномерно нагретой сыпучей, газообразной или жидкой среде, проходящий вследствие движения среды и ее теплопроводности. Количество передаваемой при этом теплоты характеризуется коэффициентом теплоотдачи a , который выражается в $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{град})$. С ростом скорости движения среды числовое значение a 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 теплота от продуктов сгорания топлива ($t=500 \dots 1000^\circ\text{C}$) к кускам известняка передается преимущественно конвективным теплообменом. Внутри куска теплота передается теплопроводностью, поэтому чем меньше куски сырья, тем быстрее происходит их прогрев и тем ближе их температура к температуре газов.

В кипящем слое частицы материала и продукты сгорания топлива энергично перемешиваются, что ускоряет теплообмен. Размеры частиц материала составляют от 3 до 10 мм, поэтому времени на их подогрев требуется мало и теплопроводность не ограничивает процесс теплообмена. Передача теплоты зависит

в основном от конвективного теплообмена, по которому и ведут расчет процесса.

Во вращающейся печи теплота от газов к материалу передается путем теплопроводности, конвективного и лучистого теплообмена. В первом случае теплота передается в момент соприкосновения кусков материала с нагретой до более высокой температуры футеровкой печи. Движущиеся в печи раскаленные газы передают часть своей теплоты поверхности слоя кускового материала конвективным теплообменом. Излучением теплота в основном передается в зоне обжига между более нагретым факелом и поверхностью перемещающегося материала.

§ 5. Топливо для производства извести

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

природное твердое (антрацит, каменные и 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 CaO , сроки и температуру гашения), 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 Н₂, кислород О₂, сера S, азот N₂. 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 Б = A^p + W^p, называя *балластом топлива*.

Содержание элементов, составляющих топливо, относят к его количеству и выражают в процентах, 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 С^g.

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 (C).

При нагреве 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 теплоты, выделяющейся 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 м³ и выражают в килоджоулях (кДж). Теплоту сгорания рабочей, горючей и сухой массы топлива соответственно обозначают Q^p , Q^r , Q^c .

Различают высшую Q_b и низшую Q_n теплоту сгорания топлива. Высшая теплота сгорания Q_b определяется количеством теплоты, выделяющейся 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 и 0°C.

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

Для сопоставления различных видов топлива пользуются понятием *условное топливо*. За условное принимается топливо, теплота сгорания которого равна 29 300 кДж/кг.

Виды топлива. Металлургический кокс — лучшее топливо для шахтных пересыпных печей. Он почти не имеет летучих веществ и при сгорании дает мало золы. Средний состав кокса (размером >25 мм): С^r=96,5%; Н^r=0,4%; О^r+Н^r=2,1%; S^r=1%; V^r=1%; W^p=4%; А^r=10%; Q_{нр}=27 900 кДж/кг.

В шахтных пересыпных печах применяют также коксики, представляющий собой мелкие фракции (15...25 мм) металлургического кокса. Средний состав коксика: С^r=95%; Н^r=0,5%; S^r=0,5%; О^r+Н^r=3%; W^p=10...20%; А^c=10...15%; V^r=5...8%; Q_{нр}=21...23,1 МДж/кг.

Ископаемые угли — продукт разложения растительных остатков; их разделяют на антрациты, каменные и бурье угли. Угли классифицируют по маркам, классам и группам. 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. Класс угля определяет размер кусков данной фракции. Его обозначают так: П — плита, К — крупный, О — орех, М — мелкий, С — семечко. Группа угля характеризует его зольность.

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 $Q_{n,p}=21\,000 \dots 30\,000$ кДж/кг. Антрацит горит коротким пламенем, бездымно и не спекается.

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

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

Антрацит Донецкого бассейна поставляют следующих групп зольности (A^c): 1-я группа — до 8%; 2-я — 8 ... 10%, 3-я — 10 ... 12,5%, 4-я — 12,5 ... 16%.

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 — 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 $Q_{n,p}=10\,500 \dots 12\,600$ кДж/кг.

Бурые угли сжигают в шахтных печах с выносными топками.

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 классифицируют по маркам. Для промышленных печей применяют топочный мазут 40В, 40, 100В, 100 (буква В означает, что мазут со знаком качества). Вязкость условная¹ (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%;

¹ Вязкость характеризует текучесть и измеряется вискозиметром. При этом сравнивают время истечения из вискозиметра 200 см³ мазута, подогревенного до температуры 80 °С, с временем истечения 200 см³ воды при температуре 20 °С. Если на истечение мазута затрачено времени, например, в 10 раз больше, чем на истечение воды, то считают, что вязкость мазута при температуре 80 °С равна 10 градусам условной вязкости (сокращенно 10 ВУ).

марки 100В — 0,05%; марки 100 — 0,14%. Плотность мазута марок 100В и 100 при температуре 20 °С не более 1,015 г/см³.

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

Температура вспышки¹ 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 застывания² 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, марок 100В и 100 — не менее 40, 53 МДж/кг; высокосернистого мазута марок 40В, 40, 100В, 100 — 39,9 МДж/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* состоят главным образом из метана CH₄ (90 ... 98%) и тяжелых углеводородов. При смешивании с воздухом 4,5 ... 13,5% природных газов образуются взрывоопасные смеси. Термоплота сгорания природных газов Q_{нР}=33 500 ... 41 900 кДж/м³. *Искусственные газы* в больших количествах получают на коксохимических заводах в качестве побочного продукта при производстве металлургического кокса или на установках полукоксования. Коксовый газ состоит из метана, водорода, оксида углерода и балласта. Термоплота сгорания коксового газа Q_{нР}=14 660 ... 20 100 кДж/м³.

§ 6. Горение топлива

Горение топлива представляет собой процесс химического соединения горючих элементов топлива с кислородом воздуха, приводящий к выделению большого количества теплоты и света. Чтобы топливо (или горючая смесь) воспламенилось без источника огня, это топливо необходимо нагреть до определенной температуры, т. е. *температуры воспламенения*. Для горючих газов она составляет, °С: водорода — 600, оксида 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 225 ... 250 °С, древесина — 250 ... 300, бурый уголь — 250 ... 450, каменный уголь — 400 ... 500, мазут — 550 ... 600, кокс — 600 ... 700, антрацит — 650 ... 700 °С. При

¹ *Температура вспышки мазута* — температура, при которой пары мазута образуют с окружающим воздухом смесь, вспыхивающую при поднесении к ней пламени.

² *Температура застывания мазута* — температура, при которой жидкость теряет свою подвижность и переходит в твердое состояние.

температуре среды $800 \dots 1000^{\circ}\text{C}$ 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 несторевших горючих элементов: сажистого углерода С, оксида углерода CO, водорода H₂, метана CH₄, содержащихся в отходящих газах печей. Например, 1 м³ CO уносит из печи с дымовыми газами 12,645 МДж теплоты, H₂ — 11,7 МДж, CH₄ — 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. Химический недожог топлива зависит также от вида применяемого топлива, конструкции горелочного устройства и организации процесса горения в печи. В шахтных печах потери теплоты от химического недожога топлива составляют, %: при работе на твердом топливе в пересыпку — 2 ... 5, на газообразном топливе — 5 ... 15, на мазуте — 10 ... 20; во вращающихся печах — 0,8 ... 2; в печах кипящего слоя — 0,5 ... 1.

Неполное горение топлива происходит также в результате механического недожога твердого топлива. Причины механического недожога твердого топлива — использование в шахтных печах слишком мелкого топлива, которое проваливается в межкусковом пространстве шихты, и слишком крупного, не успевающего полностью сгореть в пределах зон обжига и охлаждения. Механический недожог топлива практически отсутствует при использовании топлива с размерами кусков, равными размерам кусков известняка (мела). Потери теплоты от механического недожога топлива — 3 ... 10 %.

Количество воздуха, необходимого для полного сгорания единицы топлива, и образовавшихся при этом продуктов горения подсчитывают по формулам, приведенным в специальной литературе. Для полного сгорания топлива практически требуется несколько большее количество воздуха, чем необходимо теоретически. Отношение этих двух величин называется коэффициентом избытка воздуха и обозначается греческой буквой α (альфа).

Различные виды топлива в зависимости от конкретных условий и типа печи удается сжигать при разных коэффициентах избытка воздуха: газообразное при $\alpha=1,05 \dots 1,3$; жидкое — 1,1 ... 1,25; твердое кусковое — 1,05 ... 1,6. Сжигание топлива с большими значениями α невыгодно, так как температура в печи снижается, а расход топлива на обжиг увеличивается.

Температура горения топлива — важная характеристика процесса горения. Различают теоретическую (определенную по формулам) и действительную температуру горения. Действительную температуру горения измеряют с помощью приборов: оптических, радиационных или цветовых пиromетров. Действительная температура всегда ниже теоретической, так как топливо сгорает не полностью и часть теплоты расходуется на нагрев материала, на химические реакции при обжиге и потери через кладку печи или топку.

§ 7. Движение газов

Давление и вакуум (разрежение). Земля окружена атмосферой, которая оказывает давление на все тела, находящиеся на ней. Атмосферное давление измеряется барометром. При технических измерениях пользуются единицей измерения, называемой паскалем (Па).

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: $P_{\text{абс}} = P_{\text{атм}} + P_{\text{изб}}$. Избыточное давление измеряется манометром, напорометром. Вакуумом или разрежением называется давление, которое ниже атмосферного. Разрежение измеряют тягомером, вакуум — вакуумметром.

Скорость движения и объемный расход газов. Объем газов, протекающих через какое-либо поперечное сечение канала (газохода, трубопровода) в единицу

времени, называется *объемным расходом газов* и измеряется в м³/с. При движении газов скорость потока в каждой точке поперечного сечения канала отличается от соседней. Это явление обусловлено трением как между частицами движущегося газа, так между газом и стенками канала.

Средней скоростью потока v , м/с, называется условная скорость, полученная как частное от деления секундного расхода газа V_c на площадь поперечного сечения канала F , м²:

$$v = V_c / F.$$

Среднюю скорость движения газов измеряют чашечным анемометром; расход газа — ротационным счетчиком или расходомером переменного перепада давлений, состоящим из измерительной диафрагмы, дифференциального манометра и вторичного прибора; расход воздуха — расходомером переменного перепада давлений; расход воды — водометром.

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 — паскалях.

§ 8. Естественная и искусственная тяга

Для обеспечения процесса горения топлива необходимо зону горения печи бесперебойно снабжать воздухом и непрерывно отводить из нее продукты горения. Подача воздуха и отвод продуктов горения могут осуществляться разрежением, создаваемым дымовой трубой, т. е. естественной тягой. Тяга S возникает в результате разности плотности нагретых дымовых газов $\rho_{д,г}$ и холодного наружного воздуха ρ_v и зависит от высоты трубы $H_{тр}$:

$$S = H_{тр}g (\rho_v - \rho_{д,г}),$$

где g — ускорение свободного падения (9,81 м/с²). Чем выше труба и плотность воздуха (ниже его температура), тем больше тяга, развиваемая трубой. Создаваемое дымовой трубой разрежение невелико (200 ... 400 Па) и поэтому достаточно лишь в период растопки и пуска печей небольшой мощности.

Пуск и вывод на рабочий режим печей большой мощности осуществляют *искусственной тягой*.

Подачу в печной агрегат воздуха для горения топлива и создание в печи искусственной тяги осуществляют центробежными вентиляторами.

Центробежный (радиальный) вентилятор (рис.1) состоит из спирального кожуха 1 (улитки) со всасывающим 6 и нагнетательным 5 патрубками и рабочего колеса 3, насаженного на вал 4. Рабочее колесо снабжено лопатками 2, наружные концы которых загнуты по направлению вращения (у вентиляторов высокого давления лопатки загнуты вперед).

При вращении колеса 3 развиваются центробежные силы, под действием которых воздух отбрасывается к периферии. В результате этого в приосевой области кожуха вентилятора создается разрежение, а в периферийной — давление. Сжатый воздух выходит через прямоугольный нагнетательный патрубок 5, а наружный засасывается вентилятором через патрубок 6.

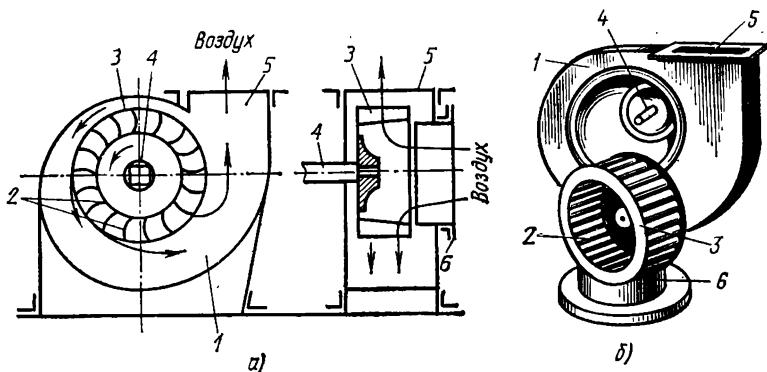


Рис. 1. Центробежный вентилятор:
а — схема, б — детали; 1 — кожух, 2 — лопатки, 3 — рабочее колесо, 4 — вал,
5, 6 — патрубки

Для подачи в печь воздуха применяют центробежные вентиляторы Ц8-18, ВДН, ВГДМ. В аспирационных установках используют центробежные вентиляторы ЦП7-40.

Дымососами называются центробежные вентиляторы, применяемые для перемещения запыленных дымовых газов с высокой температурой (200 ... 300 °C).

Дымососы отличаются от вентиляторов усиленными деталями колеса, футеровкой по образующей спирального кожуха и применением водяного охлаждения подшипников.

Дымососная установка (рис. 2) включает в себя дымосос одностороннего всасывания и приводной электродвигатель

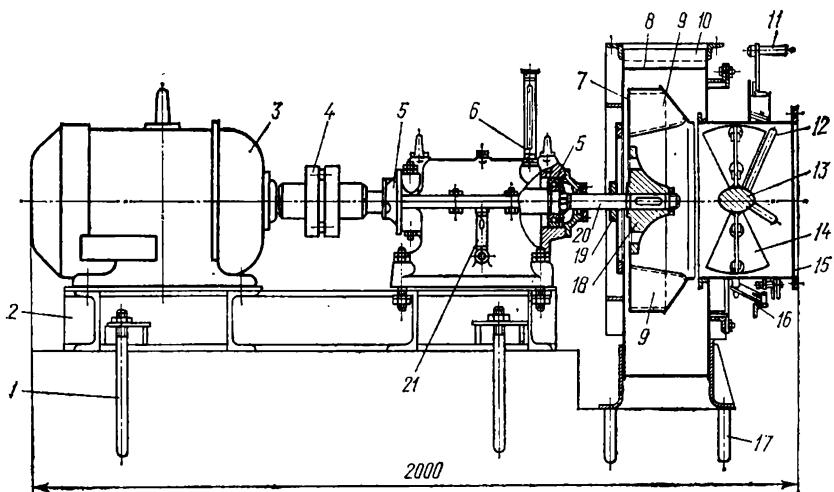


Рис. 2. Дымососная установка:
1, 17 — болты, 2 — рама, 3 — электродвигатель, 4 — муфта, 5 — подшипники, 6 — термометр, 7 — диск, 8 — спиральная камера, 9 — лопатка, 10, 15 — патрубки, 11 — рукоятка, 12 — крепление, 13 — рассекатель, 14 — поворотная лопасть, 15 — механизм поворота лопаток, 18 — рогор, 19 — уплотнение, 20 — вал, 21 — уровнемер

3, установленный на сварной металлической раме 2, которая болтами 1 прикреплена к фундаменту. Дымосос состоит из спиральной камеры (кожуха) 8 и рабочего колеса (крыльчатки), укрепленного на валу 20. Камера болтами 17 присоединена к фундаменту.

В рабочее колесо дымососа входят ротор 18 и диск 7 с лопатками 9. Диск 7 насажен на втулку ротора. К диску равномерно по его окружности прикреплены или приварены лопатки. Ротор укреплен на валу 20, который с большой частотой вращается в подшипниках 5, охлаждаемых водой. В месте выхода вала 20 из камеры 8 предусмотрено сальниковое уплотнение 19. Вращение вала электродвигателя 3 передается валу дымососа через муфту 4. Температуру охлаждающей воды контролируют термометром 6, уровень масла — уровнемером 21.

Дымовые газы поступают в дымосос через всасывающий патрубок 15 и выбрасываются под давлением через нагнетательный патрубок 10. Производительность дымососа регулируют осевым направляющим аппаратом, который размещен в патрубке 15. Аппарат состоит из рассекателя 13, расположенного на креплениях 12, и восьми лопастей 14, одновременно поворачивающихся на любой угол с помощью тяг механизма поворота 16. Направляющим аппаратом управляют вручную рукояткой 11 или исполнительным механизмом, соединенным тягами с механизмом поворота 16. Во втором случае производительность дымососа можно регулировать дистанционно с пульта управления или автоматически регулятором, воздействующим на исполнительный механизм.

Для создания искусственной тяги в шахтных и вращающихся печах применяют дымососы одно- и двустороннего всасывания серии ДН.

§ 9. Тепловой баланс и коэффициент полезного действия печного агрегата

Получаемая в печи теплота от сгорания топлива, а также физическая теплота, вносимая с воздухом и сырьем, расходуется на нагрев материала и газов, реакцию диссоциации карбонатов кальция и магния, испарение влаги сырья, потери теплоты 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 потерей части топлива (с кусками несгоревшего твердого топлива) и неполным его сгоранием.

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

$$q_t + q_v + q_m = q_{\text{дис}} + q_{n.v} + q_{m.n} + q_{x.v} + q_{o.g} + q_n + q_{o.c} + q_{u.p},$$

где q_t — теплота сгорания топлива; q_v — теплота, поступающая с воздухом, q_m — теплота, поступающая с материалом (с сырьем); $q_{\text{дис}}$ — теплота, затраченная на диссоциацию CaCO_3 и MgCO_3 ; $q_{n.v}$ — теплота, затраченная на испарение влаги сырья; $q_{m.n}$ — потери теплоты с механическим недожогом топлива; $q_{x.v}$ — потери теплоты с химическим недожогом топлива; $q_{o.g}$ — потери теплоты с отходящими газами; q_n — потери теплоты с выгружаемой известью; $q_{o.c}$ — потери теплоты в окружающую среду; $q_{u.p}$ — потери теплоты с уносом пыли.

Тепловой коэффициент полезного действия (КПД) агрегата η_a представляет собой отношение количества теплоты, израсходованной на диссоциацию мате-

риала $q_{дис}$ и испарение влаги сырья $q_{и.с.}$, к общему количеству теплоты, внесенной в агрегат с топливом q_t , воздухом q_v и материалом q_m :

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

Тепловой КПД печи характеризует степень использования теплоты, выделяемой топливом при его сжигании в печи, и тем самым ее эффективность как теплового агрегата. Наиболее высоким тепловым КПД отличаются шахтные пересыпные печи (75 ... 85 %), а самым низким — длинные вращающиеся печи без внутривечных теплообменных устройств (35 ... 50 %).

Тепловой КПД печи определяют по результатам ее теплового баланса.

Контрольные вопросы

1. Какой вид передачи теплоты является главным при температуре газов более 1000 °C?
2. Перечислите химический состав твердого топлива.
3. Назовите предельную зольность твердого топлива, допускаемую при производстве извести в шахтных пересыпных печах.
4. Какое топливо называют условным?
5. В чем состоят преимущества применения газообразного и жидкого топлива по сравнению с твердым?
6. Что такое коэффициент избытка воздуха?
7. От чего зависит естественная тяга в печи?
8. Какие машины применяют для принудительной подачи в печь воздуха и отвода из нее газов?
9. Назовите основные статьи теплового баланса печного агрегата.
10. Как определяют КПД печного агрегата?

ГЛАВА III. КАРБОНАТНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗВЕСТИ

§ 10. Характеристика карбонатного сырья

Карбонатные породы. К этим породам относятся осадочные образования, состоящие из минералов карбонатной группы (кальцита, магнезита, доломита), и примесей.

Кальцит $CaCO_3$ имеет белую и серую окраску. Твердость кальцита по минералогической шкале 3; плотность 2720 ... 2800 кг/м³. Кальцит растворяется в кислотах; в воде его растворимость незначительная. Кальцит обнаруживается эффектом «всплытия» при воздействии на него 10%-ным раствором соляной кислоты.

Магнезит $MgCO_3$ окрашен в желтый, коричневый или серый цвет, имеет стеклянный блеск. Твердость магнезита — 3,75 ... 4,25, плотность — 2900 ... 3100 кг/м³.

Доломит — минерал белого, серого, бурого или зеленоватого цвета со стеклянным блеском. Твердость — 3,5 ... 4, плотность 2800 ... 2900 кг/м³. Доломит содержит 54% $CaCO_3$ и 46% $MgCO_3$.

Обычная примесь в карбонатных породах — это кремнезем в свободном состоянии (кварц, халцедон, опал). В связанном виде кремнезем SiO_2 и глинозем Al_2O_3 в виде алюмосиликатов входят в состав таких примесей, как глины, полевые шпаты и слюды. Соединения железа находятся в примесях в виде карбонатов (сидерита $FeCO_3$), сульфидов (pirита), свободных оксидов (магнетита, гематита) и в составе других примесей (глауконита).

Из прочих примесей распространены: органическое вещество (углистое и битуминозное), гипс, фосфорит, соединения щелочных металлов, марганца, титана, фтора. Сумма оксидов $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ 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. Горные породы карбонатной группы, состоящие из кальцита (редко из арагонита) и некоторого количества минеральных примесей, называются известняками. К ним относятся карбонатные породы с содержанием углекислого кальция CaCO_3 не менее 70%.

В природе встречаются известняки самой разнообразной окраски: белой, серой, желтой, зеленоватой, бурой, красноватой, черной и пестрой. Цвет известняка зависит от примесей. Желтоватый, бурый, красный и коричневый цвета известняка определяются содержанием оксидов железа и марганца; серый и черный — примесей битуминозных смол и углистых веществ; зеленоватый — оксидных соединений железа. Запах известняка говорит о значительном содержании в нем органических остатков.

Известняки классифицируют по структуре, т. е. 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). Плотность мрамора — 2600 ... 2800 кг/м³; предел прочности при сжатии — 80 ... 120 МПа; теплопроводность 2,9 ... 3,27 Вт/(м·град); карьерная влажность — до 2%.

У плотных известняков — тонкозернистая структура; плотность — 2400 ... 2600 кг/м³; 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 ракушечник, известняковые туфы и оолитовые известняки.

Ракушечник сложен из остатков крупных раковин (размером 2 ... 3 см); плотность — до 1000 кг/м³; пористость — 50 ... 60%; 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 сцепленных зерен кальцита (диаметром до 0,05 мм), внутри которых часто находятся песчинки; отличается он низким пределом прочности при сжатии (16 ... 20 МПа). Плотность оолитового известняка — 1800 ... 2200 кг/м³; влажность — 6 ... 8%.

К землистым известнякам относится мел. Его особенности — рыхлость, тонкозернистость, отсутствие слоистости. Плот-

ность мела — 1300 ... 2000 кг/м³; предел прочности при сжатии 0,4 ... 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 подразделяют на следующие виды:

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

известняк чистый слабо доломитизированный с содержанием $MgCO_3$ 2 ... 7%;

известняк чистый доломитизированный с содержанием $MgCO_3$ 8 ... 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, которая необходима 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 8 ... 12% называются *слабо мергелистыми известняками*, а получаемая из них известь — *слабогидравлической*. При содержании глинистых примесей 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; плотность — 2700 ... 2800 кг/м³; 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. 1).

Для производства воздушной кальциевой извести используют карбонатные породы классов А и Б, воздушной магнезиальной —

Таблица 1. Классы карбонатных пород для производства строительной извести в зависимости от химического состава

Химический состав	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж
Углекислый кальций (CaCO_3), %, не менее	92	86	77	72	52	47	72
Углекислый магний (MgCO_3), %, не более	5	6	20	20	45	45	8
Глинистые примеси ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$), %, не более	3	8	3	8	3	8	20

классов В и Г, воздушной доломитовой — классов Д и Е, а гидравлической — класса Ж.

Карбонатную породу поставляют 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).

Известь для производства конвертерной стали получают, используя фракционированный известняк. По техническим условиям фракционированный известняк в зависимости от химического состава подразделяется на два сорта — 1-й и 2-й, от зернового состава на два класса — 1-й и 2-й.

Фракционированный известняк 1-го сорта должен содержать не менее 53,5% CaO (95,5% CaCO_3) и не более 1,1% MgO (2,3% MgCO_3); 1% SiO_2 ; 1,5% ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$); 0,03% S; 0,06% P; 2-го сорта — не менее 53% CaO (94,7% CaCO_3) и не более 1,2% MgO (2,51% MgCO_3); 1,5% SiO_2 ; 1,5% ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$); 0,05S; 0,06% P. Допускается в известняке до 4,5% MgO (9,4% MgCO_3) при условии, если сумма CaO+MgO 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. 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 используют известняк и мел следующего химического состава (в %): CaCO_3 — 96 ... 98; MgCO_3 — 0,2 ... 2; SiO_2 — нерастворимый остаток — 0,2 ... 1; R_2O_3 — 0,1 ... 0,8; CaSO_4 — 0,1 ... 0,5.

Сахарная промышленность предъявляет высокие требования к качеству карбонатного сырья. Для обжига применяют фракциони-

рованный известняк (мел) следующего химического состава, %: CaCO_3 — не менее 96; MgCO_3 — не более 1,8 (1); SiO_2 + нерастворимые примеси — не более 0,75 (2); R_2O_3 — не более 1,2 (1); CaSO_4 — не более 0,25 (0,05); щелочи — не более 0,25 (0,25).

§ 11. Складирование топлива и сырья

Складское хозяйство предприятия, изготавливающего известь, состоит из открытых или закрытых площадок, емкостей и хранилищ. Промежуточные (складские) емкости позволяют предприятию накапливать в них 2...3-недельный запас сырья и 3...4-недельный запас твердого топлива для бесперебойной работы основного технологического оборудования.

Складирование твердого топлива. Фракционированное твердое топливо поступает на склад завода по железной дороге в саморазгружающихся полувагонах. Топливо хранят в штабелях на бетонированных площадках, которые должны содержаться в чистоте и порядке. Твердое топливо со склада подают стационарными ленточными конвейерами, грейферными кранами, опрокидными вагонетками или скреперными установками. Перед загрузкой в расходный бункер целесообразно подвергать это топливо грохочению для отсева фракции менее 20 мм. Это позволяет загружать в печь топливо необходимого фракционного состава, что повышает производительность печей, снижает расход топлива на обжиг и улучшает качество извести.

Склады твердого топлива оборудуют противопожарным инвентарем, ящиками с песком, подводят водопроводную сеть. Кокс, антрацит и тощий каменный уголь не самовозгораются, поэтому при их штабелировании специальные меры не предусматриваются.

Складирование мазута. Мазутное хозяйство (рис. 3) включает в себя приемные емкости 2 для слива мазута, мазутохранилище, мазутную насосную станцию, трубопроводы мазута и паропровод. Мазут поступает на склад в железнодорожных или автомобильных цистернах. В цистерне 1 мазут перед сливом разогревают паром, проходящим через змеевики, или паром, подаваемым непосредственно в цистерну. Подогретый до температуры 60 °C мазут сливают в приемные емкости 2, из которых он насосными установками 6 перекачивается в резервуары 3 мазутохранилища. При перекачивании мазут очищается от механических примесей в фильтрах 7 и 5 грубой и тонкой очистки. В резервуарах мазут подогревается паром, подаваемым в змеевики. Из резервуаров 3 мазут насосными установками 11 под давлением 0,8 МПа по кольцевой системе трубопроводов 4 подается к печам. При этом мазут проходит фильтры 8 тонкой очистки и подогревается паром в поверхностных подогревателях 9 до температуры 100...115 °C.

Мазутохранилище обеспечивают химическими огнетушителями или ящиками с песком и другим противопожарным инвентарем. Загоревшийся мазут тушат паром, химической пеной, песком. Паропровод мазутохранилища в нескольких местах снабжен патруб-

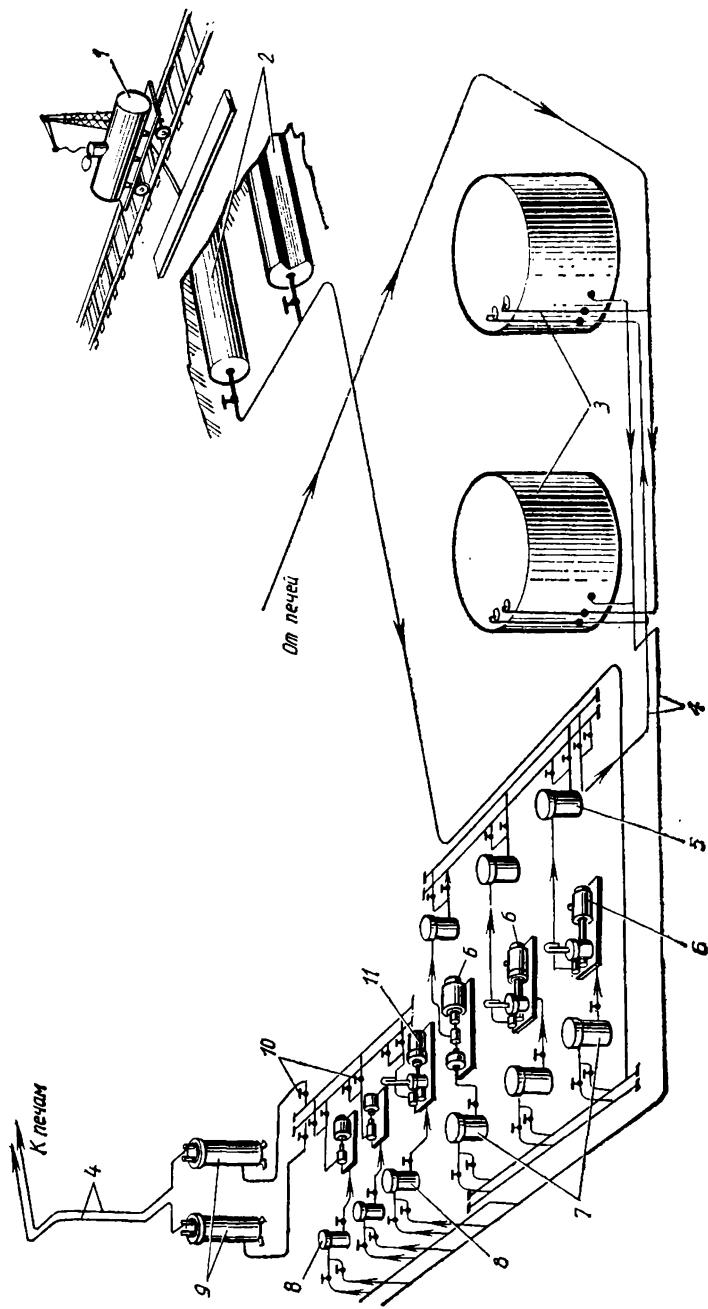


Рис. 3. Схема мазутного хозяйства с наземным мазутохранилищем:
 1 — железнодорожная цистерна, 2 — приемные емкости, 3 — резервуары, 4 — трубопроводы, 5, 7, 8 — фильтры, 6, 11 — насосные установки, 9 — подогреватели, 10 — краны тановки

ками с задвижками для выпуска пара в емкости (резервуары).

Газоснабжение. Предприятие снабжают газом от газораспределительной станции (ГРС), располагаемой на отводе магистрального газопровода (давление газа 0,6 ... 1,2 МПа), или от городской газораспределительной сети через газораспределительный пункт (ГРП). На ГРС или ГРП давление газа снижают до 0,03 0,3 МПа и учитывают его расход. Давление газа перед горелочными устройствами печей регулируют местными газорегуляторными установками (ГРУ), располагаемыми в цехах.

Складирование сырья. Большинство предприятий по производству извести промышленности строительных материалов расположено вблизи карьеров, где добывают карбонатное сырье. Автосамосвалами его доставляют в дробильно-сортировочное отделение (ДСО) завода и после дробления и грохочения ленточными конвейерами распределяют по приемным бункерам печей.

Предприятия металлургической, химической, пищевой промышленности, а также ряд заводов промышленности строительных материалов и стройиндустрии (например, при производстве силикатного кирпича) используют привозной фракционированный известняк, доставляемый на приемный склад преимущественно железнодорожным транспортом. Со склада к приемным бункерам печей известняк доставляют мостовыми грейферными кранами; опрокидными вагонетками, которые откатывают маневровыми лебедками МОЛ-1 и МОЛ-2; стационарными ленточными конвейерами.

Типовой склад сырья и твердого топлива большой вместимости (рис. 4) протяженностью 100 ... 130 м имеет бетонированный пол и стеки и оснащен двумя мостовыми кранами 2 длиной 32 м и грузоподъемностью 10 т, с помощью которых сырье и топливо загружают в приемные бункера 3. Одной стороной склад примыкает к приемным бункерам 3 печей (или дробильно-сортировочного отделения), а противоположной — к эстакаде 1 с железнодорожным путем. Сырье складируют в средней части площадки, а топливо — с обеих сторон от сырья.

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

Организация работы на складах сырья и твердого топлива должна отвечать следующим требованиям: все работы по выгрузке и штабелированию кусковых материалов должны быть полностью механизированы; производительность применяемых механизмов — превышать производительность обслуживаемых агрегатов на 10... ... 20%; организация ремонта средств механизации — предусматривать возможность непрерывной подачи материалов со склада (за счет использования резервных механизмов); средства механизации должны быть надежными, удобными и безопасными в управлении.

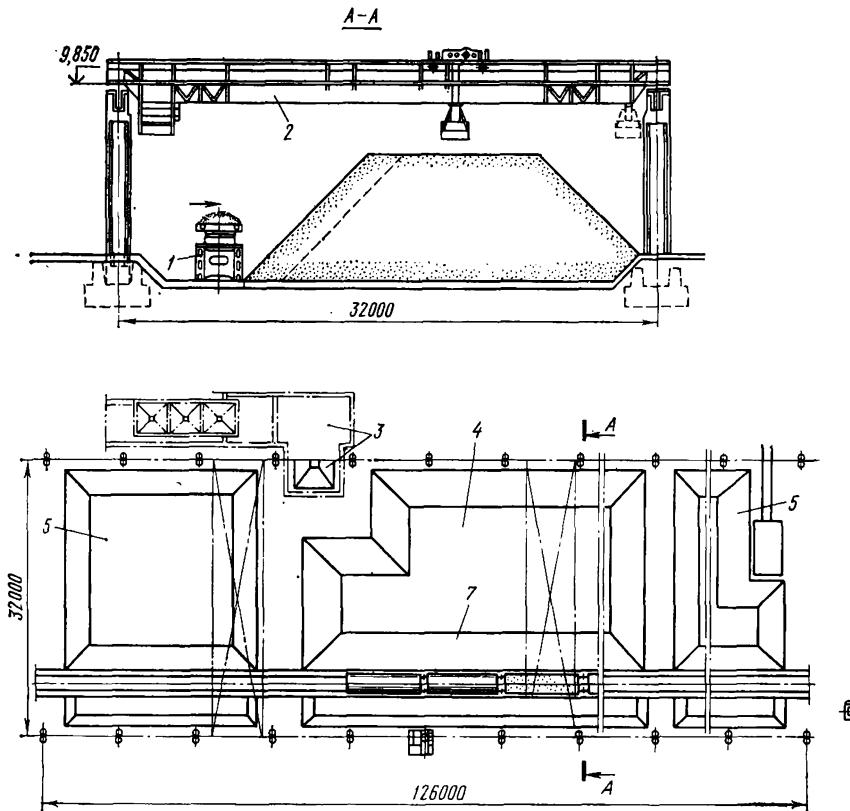


Рис. 4. Склад известняка и твердого топлива:
 1 — эстакада, 2 — мостовой кран, 3 — приемные бункера печей, 4 — место хранения известняка, 5 — место хранения угля, 6 — лебедка, 7 — траншея для выгрузки известняка из саморазгружающихся вагонов

Контрольные вопросы

1. Какую горную карбонатную породу называют известняком?
2. Назовите химический состав глинистых примесей.
3. Каким техническим требованиям должно отвечать карбонатное сырье класса А по ОСТ 21-27-76?
4. Перечислите фракции карбонатного сырья, используемые для выпуска извести в соответствии с ОСТ 21-27-76.
5. Какие требования по срокам хранения предъявляют к складам топлива и сырья?

ГЛАВА IV. ПЕРЕРАБОТКА, ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ДОЗИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ, ОЧИСТКА ВОЗДУХА И ГАЗОВ ОТ ПЫЛИ

§ 12. Переработка материалов

К основным процессам переработки сырьевых материалов (известняка, мела), извести и твердого топлива относятся их измельчение и сортировка.

Для получения необходимых фракций известняка или мела горные породы после разрушения в карьере дробят и сортируют в одну или несколько стадий, используя дробильные и сортировочные машины. Одностадийную схему применяют в том случае, когда исходный материал не содержит большого количества мелких фракций. В противном случае перед второй стадией дробления устанавливают грохот, отсеивающий материалы, размеры которых равны выходной щели дробилки второй стадии.

Общие сведения об измельчении материалов. Измельчением называется процесс превращения крупных кусков материала в мелкие под действием внешних сил. Они должны быть достаточными для преодоления внутренних сил сцепления 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) — 500...1000. Машины для грубого измельчения называются дробилками, а тонкого — мельницами.

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 соответственно состоит из грубого помола — измельчения материала до размера частиц 0,3...0,1 мм и тонкого помола — до размера 0,1...0,001 мм.

Размеры 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 используют также размучивание в воде.

При производстве извести применяют щековые, конусные, валковые и молотковые дробилки (рис. 5). В щековых дробилках раздавливание и частичное истирание материала происходят между неподвижной 1 и подвижной 3 щеками. Щековые дробилки применяют для крупной и средней стадии дробления известняков. Конструктивно машины подразделяют на щековые дробилки с простым движением щеки и щековые дробилки со сложным движением щеки.

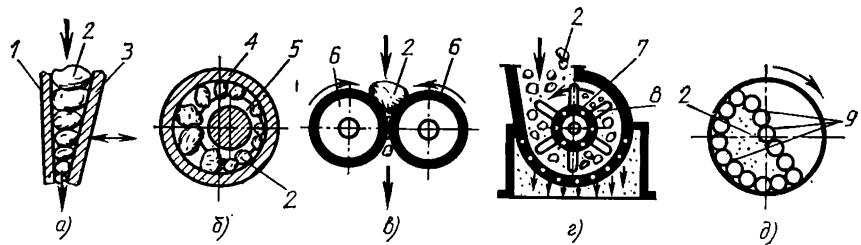


Рис. 5. Схемы работы дробильно-помольных машин:
а — щековых дробилок, б — конусных дробилок, в — валковых дробилок, г — дробилок ударного действия, д — шаровых мельниц; 1, 3 — щеки, 2 — материал, 4, 5 — конусы, 6 — валки, 7 — ротор, 8 — молотки (била), 9 — шары

В конусных дробилках раздавливание и истирание материала происходит между неподвижным наружным 4 и вращающимся внутренним 5 конусами. Преимущества этих дробилок заключаются в высокой производительности, непрерывном процессе измельчения, постоянных размерах продуктов дробления, недостатки — в сложной конструкции и высокой стоимости. Поэтому их редко применяют при производстве извести.

В валковых дробилках материалы измельчаются раздавливанием и частичным истиранием между вращающимися на встречу один другому зубчатыми валками 6. Валковые дробилки используют для измельчения мела, извести и каменного угля.

В молотковых дробилках материал измельчается вследствие ударов по кускам быстровращающихся молотков 8, одних кусков материала о другие куски, футеровку и колосники. Применяются эти машины для дробления извести, мела, известняка средней твердости, угля.

Мельницы подразделяют на быстроходные ударного действия и тихоходные.

Быстроходные мельницы ударного действия аналогичны по конструкции молотковым дробилкам и работают по принципу удара и отчасти истирания. Эти мельницы применяют при производстве известняковой муки для сельского хозяйства, молотого мела.

Тихоходные мельницы измельчают материал при его вращении методами удара и частично истирания свободно падающими мелющими телами (шарами 9, цилиндрами, стержнями). Из тихоходных распространены трубные (барабанные) шаровые мельницы, применяемые для помола извести.

Установки для измельчения и обогащения мелового сырья используют для приготовления мелового шлама. Они работают по принципу размучивания мела в большом количестве воды и механического истирания его вращающимися боронами. При производстве извести применяют установки с резервуаром диаметром 6...12 м.

Конструкции и эксплуатация оборудования для измельчения материалов рассмотрены в предыдущем издании данного учебника.

Общие сведения о сортировке материалов. На многих участках производства материал сортируют по размеру зерен (кусков). Разделение материалов производится механическим способом или грохочением. Его применяют перед дроблением, а также в промежутке между первичной или вторичной стадиями дробления. Грохочение выполняют сортировочными машинами (грохотами). В этих машинах используют три вида поверхностей грохочения: параллельные колосники, листы со штампованными или просверленными отверстиями (решета) и проволочные плетеные ткани (сетки или сита). В последнее время наряду с металлическими применяют более стойкие резиновые и капроновые сита.

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. Этот коэффициент зависит от размера отверстий сита в свету и их формы, угла наклона грохота, скорости продвижения по нему материала, влажности материала, количества глинистых примесей.

При производстве извести широко применяют инерционные грохоты. В зависимости от насыпной массы применяемого материала их подразделяют на три типа: Л — легкий (насыпная масса до 1400 кг/м³), С — средний (до 1800 кг/м³) и Т — тяжелый (до 2800 кг/м³).

§ 13. Транспортирование и дозирование материалов

Для транспортирования и дозирования известняка, мела, извести, каменного угля, шлама применяют машины непрерывного и периодического транспорта. Машины непрерывного транспорта перемещают материалы и штучные грузы непрерывным потоком на сравнительно большие расстояния (до 2 км) по определенной траектории. Машины периодического транспорта перемещают материалы определенными порциями-дозами на коротком участке пути и называются дозаторами или питателями.

К машинам непрерывного транспорта относятся ленточные, пластинчатые, ковшовые, винтовые конвейеры. Для транспортирования жидкостей используют центробежные насосы.

Ленточные конвейеры применяют для непрерывного перемещения крупно- и мелкокускового известняка, мела и каменного угля. В конвейерах используют прорезиненные и стальные ленты. Первые выпускают шириной 300...2000 мм. Стандартные ленты работают надежно лишь при температуре -25...+50°C. По специальному заказу изготавливают ленты для работы при температуре до 100°C. Стальные ленты выпускают шириной 400...600 мм, их применяют при температуре 120...350°C.

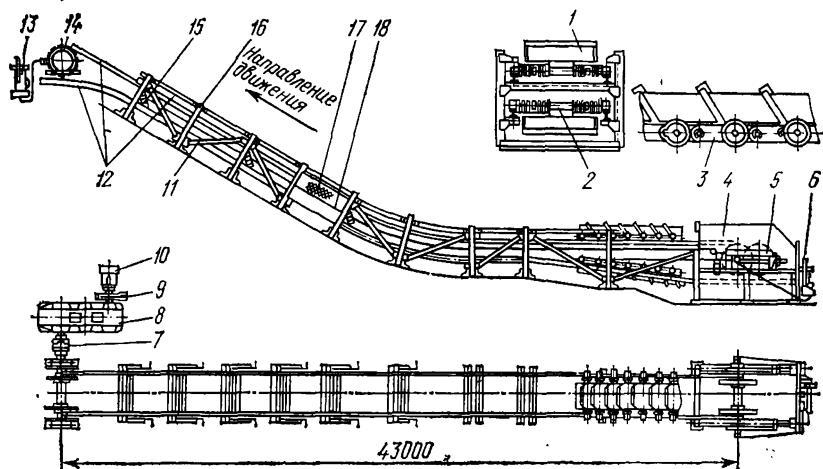


Рис. 6. Пластинчатый конвейер:

1 — лоток, 2 — тележка, 3 — цепь, 4 — кожух, 5 — винтовое устройство, 6, 13 — смазочные устройства, 7 — муфта, 8 — редуктор, 9 — тормоз, 10 — электродвигатель, 11 — раскос, 12 — контршины, 14 — приводное устройство, 15 — ловитель цепи, 16 — рама, 17 — ограждение, 18 — блокировка

Пластинчатые конвейеры служат для горизонтального и наклонного транспортирования горячей (до температуры 150 °C) кромовой извести от выгрузочных устройств печей на склад. Пластинчатый конвейер СМЦ-611Б (рис. 6) включает в себя ходовую часть, натяжной и приводной механизмы, металлоконструкцию.

Ходовая часть состоит из пластинчатых лотков 1, тележек 2 с катками и тяговых цепей 3. Лотки соединены между собой втулочной тяговой цепью 3. Такой же цепью соединены тележки 2 с катками. Лотки изготавливают из листовой стали. Они могут быть плоскими или желобчатыми, с боковыми вертикальными стенками или без них. Ходовая часть конвейера перемещается по нижнему и верхнему рельсам и фиксируется сверху контршинами 12.

Натяжной механизм состоит из винтового устройства 5, коробчатого кожуха 4 и смазочного устройства 6. Приводной механизм включает в себя приводное устройство 14, заключенное в защитный кожух, муфту 7, редуктор 8, тормоз 9, электродвигатель 10, смазочное устройство 13. Металлоконструкция конвейера состоит из поперечных рам 16 с ловителями 15 цепи, раскосов 11 и ограждений 17. Канатная блокировка 18 обеспечивает немедленную остановку конвейера рабочим в аварийной ситуации.

Параметры пластинчатого конвейера СМЦ-611Б: длина — до 100 м, ширина лотков — 400...800 мм, скорость движения — 0,2...0,75 м/с, производительность — 50...150 т/ч.

Ковшовые конвейеры (элеваторы) предназначены для вертикального перемещения мелкокусковых и пылеватых материалов. Тяговым органом элеватора служит бесконечная цепь с жестко закрепленными на ней ковшами. Конвейеры бывают одно- или двухцепные. Ковши для транспортирования извести, мела выполня-

няют глубокими. Скорость движения цепных конвейеров — 1...1,25 м/с. Производительность цепного элеватора ЦГ-200 — 20 т/ч.

Винтовые конвейеры транспортируют сухие мелкозернистые и пылевидные материалы — известь, известняк, мел. Конвейер состоит из металлического корпуса или желоба с герметично закрывающейся крышкой, внутри которого в торцовых подшипниках вращается лопастный вал. Вал приводится во вращение электродвигателем через редуктор и муфту с частотой 40...80 об/мин. Материал из загрузочной воронки лопастями вала перемещается к разгрузочному люку. Длина винтовых конвейеров — 40 м, диаметр винтов — 400 мм.

Центральный насос для подачи шлама из бассейнов во вращающиеся печи состоит из спирального корпуса, внутри которого вращается рабочее колесо (турбина), всасывающего и нагнетательного патрубков. Шлам под давлением 0,3...0,6 МПа через нагнетательный патрубок поступает в шламопровод. Шламовый насос с объемной подачей 200 м³/ч развивает давление 0,6 МПа.

К машинам периодического действия относятся электровибрационные, качающиеся и ленточные дозаторы.

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. 7) 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 тока возбуждения в электроприводе.

Питатели изготавливают с шириной лотка 0,5...1,5 м и длиной 1,6...4 м. Производительность питателей при насыпной плотности материала 1,5...2 т/м³ — 50...650 т/ч. Мощность электровибрационного привода — 0,5...8 кВт.

Качающиеся питатели (рис. 8) применяют для подачи как крупных, так мелких материалов. 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.

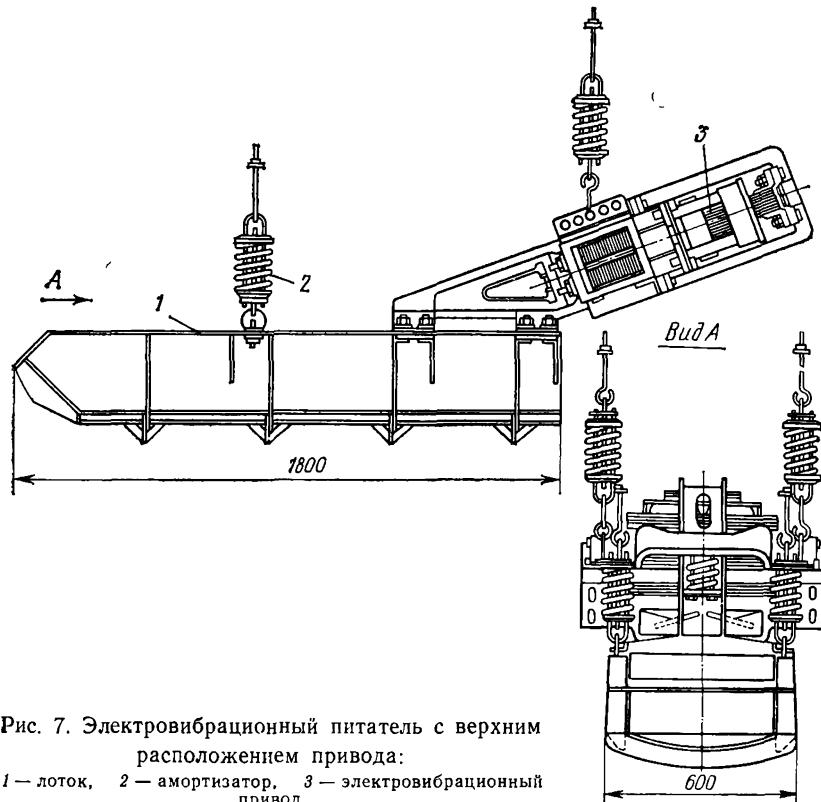


Рис. 7. Электровибрационный питатель с верхним расположением привода:
1 — лоток, 2 — амортизатор, 3 — электровибрационный привод

Производительность качающихся питателей — 4...55 м³/ч. Ее изменяют, регулируя ход лотка путем перестановки пальца шатуна в одно из четырех положений.

Производительность тяжелого питателя при насыпной плотности 2,6 т/м³ — до 55 м³/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 дозаторы широко применяют при подаче кусковых материалов (известняка, извести) в обжиговые печи и оборудование для измельчения материалов. Дозаторы оснащают резиновой или металлической лентой. Дозатор СБ-111 (рис. 9) выпускают в одно- и двухагрегатном исполнении. Двухагрегатные дозаторы применяют для материалов, склонных к зависанию в бункерах. При производстве извести используют одноагрегатные дозаторы, которые в случае применения плохо текущих материалов комплектуют виброворонками.

Дозатор состоит из весового конвейера 22, приемной воронки 12 и привода. Приемная воронка присоединена к бункеру материала.

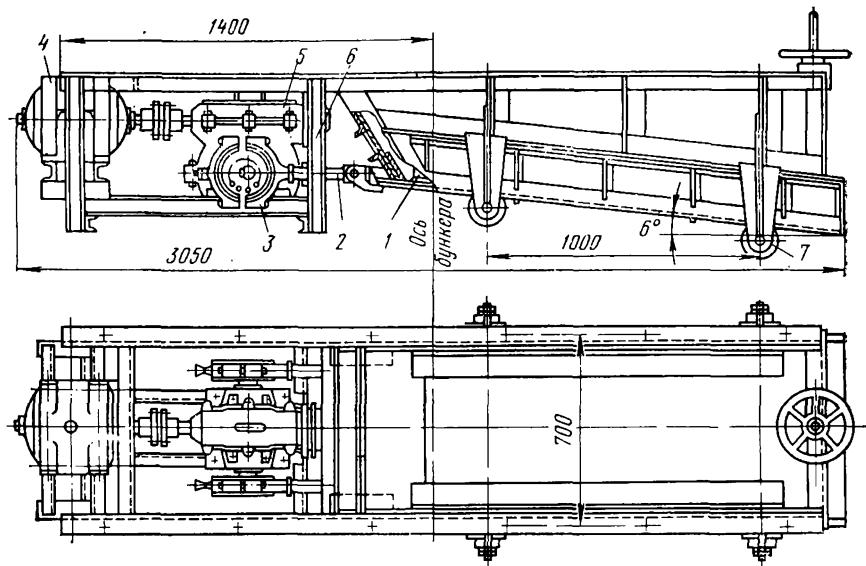


Рис. 8. Качающийся питатель:
1 — наклонный лоток, 2 — шатун, 3 — дебаланс, 4 — электродвигатель, 5 — редуктор, 6 — рама, 7 — ролик

Весовой конвейер включает в себя раму с роликами 17, резиновую ленту 19, приводной 18 и натяжной 20 барабаны. Натяжение ленты регулируют винтом 21. Весовой конвейер прикреплен к приемной воронке 12 в трех точках: двумя шарнирными подвесками 14 и через преобразователь усилия 1 к кронштейнам 13 и 15. Привод смонтирован на раме конвейера и состоит из электродвигателя 11 постоянного тока со встроенным тахогенератором 10, тиристорного преобразователя 8, редуктора 23 и двух цепных передач 16.

Дозатор работает следующим образом. Масса материала M , находящегося на ленте 19, воспринимается преобразователем 1. Его электрический сигнал, пропорциональный массе материала на ленте, поступает в прибор 2. В этот прибор также поступает электрический сигнал от тахогенератора 10, пропорциональный скорости движения ленты 19. Прибор 2 выдает сигнал, пропорциональный производительности дозатора. Этот сигнал регистрируется прибором 5, отградуированным в т/ч, и одновременно поступает в блок сравнения 3. В этом блоке полученный сигнал сравнивается с сигналом, поступающим от задатчика производительности 4. Если текущая производительность дозатора не равна заданной, то через усилитель 7 на вход преобразователя 8 поступает сигнал рассогласования, который соответственно изменяет частоту вращения электродвигателя 11 и тем самым восстанавливает заданную производительность дозатора.

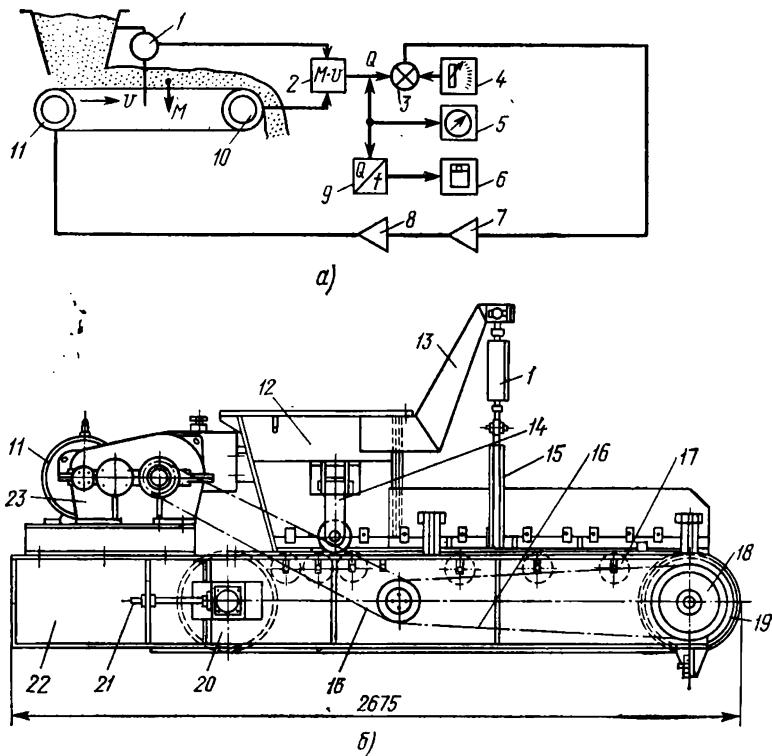


Рис. 9. Схемы ленточного автоматического дозатора СБ-111:
 а — структурная, б — конструктивная; 1, 8 — преобразователи, 2 — прибор для измерения нагрузки, 3 — блок сравнения, 4 — задатчик производительности, 5 — показывающий прибор, 6 — счетчик, 7 — усилитель сигнала, 9 — частотный модулятор, 10 — тахогенератор, 11 — электродвигатель, 12 — приемная воронка, 13 — кронштейны, 14 — шарнирная подвеска, 15 — цепные передачи, 17 — ролик, 18, 20 — барабаны, 19 — лента, 21 — винт, 22 — конвейер, 23 — редуктор

Суммарное количество материала учитывают частотным модулятором 9 и счетчиком 6. В приборе 2 имеется выход для подключения к управляющей вычислительной машине.

Показатели дозатора СБ-III: производительность — 6,3...200 т/ч, класс точности — 2%, ширина ленты — 1200 мм, мощность электродвигателя — 1,6 кВт, масса — 1,9 т, максимальная крупность дозируемого материала — 130 мм.

§ 14. Очистка дымовых газов и воздуха от пыли

В статье 67 Конституции СССР записано: «Граждане СССР обязаны беречь природу, охранять ее богатства». Охрана природы в нашей стране осуществляется по двум направлениям. Это, во-первых, борьба с загрязнением воздуха, воды, почвы путем улавливания и обезвреживания пылегазовыделений и сточных вод. Во-вторых, путем перехода к замкнутым технологическим циклам

производства продукции, свободным от выбросов пыли и газов в атмосферу и загрязнения воды.

Впервые в мире в нашей стране принят ГОСТ 17.2.3.02—78 «Охрана природы», в котором установлены ограничения по содержанию вредных веществ и пыли, выбрасываемых в атмосферу и воду промышленными предприятиями. В соответствии с санитарными нормами СН 245—71 содержание пыли известняка и извести в отходящих газах и аспирационном воздухе, выбрасываемых в атмосферу после очистки в пылеосадительном оборудовании, не должно превышать 100 мг/м³, а в воздухе рабочих помещений — более 6 мг/м³.

Методы очистки газов и воздуха. Пыль образуется при эксплуатации основного технологического оборудования — обжиговых печей, дробилок, грохотов, мельниц, при работе транспортирующих машин — конвейеров, питателей, при погрузочно-разгрузочных работах и т. п. Поэтому заводы оснащают пылеулавливающим оборудованием, которое обеспечивает содержание пыли в выбрасываемых газах в пределах, допускаемых санитарными нормами.

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

механическая очистка, при которой частицы осаждаются под действием силы тяжести, инерционных или центробежных сил с помощью отстойных камер и аппаратов — циклонов;

фильтрование, при котором газы пропускают через тканевые (рукавные) фильтры;

электрическая очистка, при которой взвешенные в газовом потоке частицы осаждаются под воздействием электромагнитного поля высокого напряжения в электрических фильтрах;

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

Эффективность работы пылеосадительного аппарата оценивается коэффициентом полезного действия (КПД) пылеосаждения или степенью очистки газов $\eta_{o,g}$ по формуле

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

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

Степень очистки газов пылеосадительными аппаратами зависит от размера частиц пыли, конструкции аппарата и режима его работы.

Устройство и работа пылеулавливающего и аспирационного оборудования. Отстойные (пылеосадительные) камеры широко применяют для механического осаждения крупных фракций пыли (0,2...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 — 15...20%.

Циклоны используют для более эффективной механической очистки газового потока с размером частиц пыли 5...100 мкм. КПД пылеосаждения циклонов — 55...85%.

Циклон конструкции НИИОГАЗ (рис. 10) состоит из вертикальной цилиндрической части 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 цилиндрической части корпуса и по ней ссыпаются в коническую часть 3. Обеспыленные газы уходят из циклона через трубу 4, улитку 7 и выходной патрубок 6.

Корпус циклона в верхней части 5 снабжен крышкой в виде винтовой линии, что улучшает закручивание потока в циклоне. В нижней части циклона расположен бункер 2 для сбора уловленной пыли и затвор 1.

Диаметр циклонов конструкции НИИОГАЗ — 300...3000 мм, аэродинамическое сопротивление — 400...850 Па. Циклоны НИИОГАЗ объединяют в группы по 2, 4, 6 и 8 шт. В этом случае под ними устанавливают общий бункер для сбора уловленной пыли.

Рукавные фильтры используют для более полного осаждения тонкодисперсной пыли. Степень очистки газов в этих фильтрах — 99...99,6%, аэродинамическое сопротивление фильтров — 0,6...1,9 кПа.

Рукавный фильтр с механическим встряхиванием и обратной продувкой ткани типа ФВК (рис. 11) работает следующим образом. Запыленный воздух поступает в пылеосадительную камеру (бункер) 12 снизу через газоход 11 и затем через патрубки 10 в матерчатые рукава 9, снабженные стальными кольцами 8. В рукахах 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, расположеными

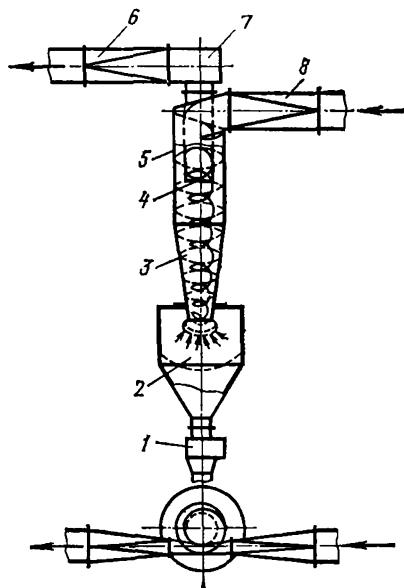


Рис. 10. Схема циклона конструкции НИИОГАЗ:

1 — затвор; 2 — бункер, 3, 5 — части корпуса, 4 — выпускная труба, 6, 8 — патрубки, 7 — улитка

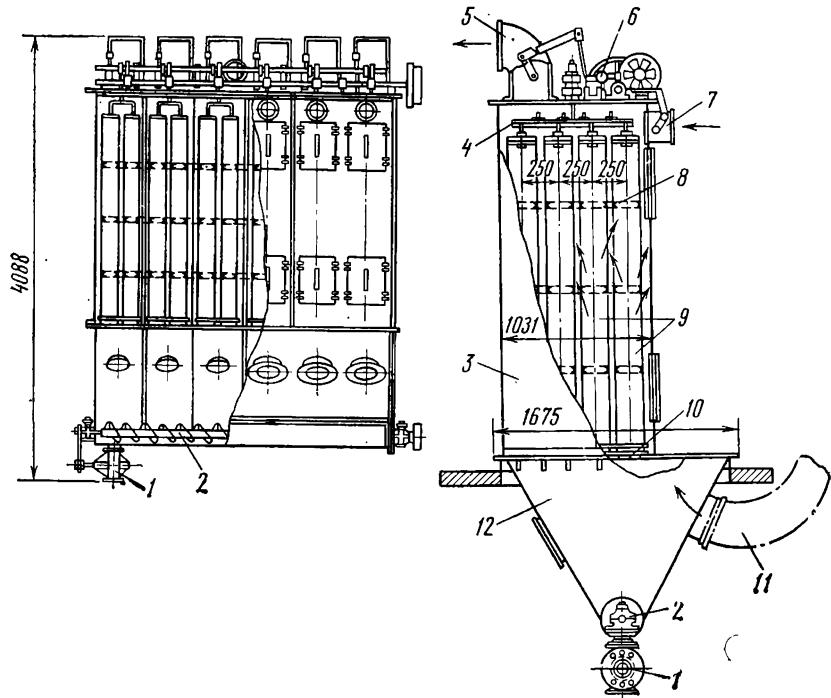


Рис. 11. Рукавный фильтр:
 1 — затвор, 2 — конвейер, 3 — кожух, 4 — штанга, 5 — труба, 6 — рычажный механизм, 7, 10 — патрубки, 8 — кольцо, 9 — рукава, 11 — газоход, 12 — пылеосадительная камера

ными 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 лопастной затвор 1 выгружается винтовым конвейером 2. Фильтр заключен в стальной герметичный кожух 3 прямоугольной формы.

Периодическая обратная продувка рукавов осуществляется вентилятором через патрубок 7 и включается одновременно с началом работы встряхивающего механизма. Период обратной продувки — 8...10 мин.

Рукавные фильтры типа ФВК применяют в одно- и многоступенчатых схемах очистки газов шахтных печей и аспирационного воздуха дробилок, мельниц, силосов, упаковочных машин, участков перегрузки материалов. Диаметры рукавов — 135...220 мм. Фильтровальная ткань рукавов допускает температуру газов в пределах, °С: хлопок — 65, шерсть — 90, нитрон — 135, лавсан — 140, стекловолокно — 300. Степень очистки газов в рукавных фильтрах при работе на известковой пыли достигает 99%.

Наиболее распространены рукавные фильтры производительностью $6700 \dots 35\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Запыленность газов на входе этих фильтров допускается до $15 \text{ г}/\text{м}^3$. Аэродинамическое сопротивление — $0,9 \dots 1 \text{ кПа}$.

Фильтр типа ФРКИ с импульсной обратной продувкой рукавов сжатым воздухом более эффективен и надежен в эксплуатации. Импульсы сжатого воздуха длительностью $0,1 \dots 0,2 \text{ с}$ периодически подают внутрь рукавов во время работы аппарата (без отключения на обратную продувку). При этом рукава раздуваются, разрушая пылевой слой, и пыль ссыпается в бункер. Запыленность газов на входе в аппарат — до $50 \text{ г}/\text{м}^3$, степень очистки — $99,6\%$.

Электрофильтры очищают от тонкодисперсной пыли размером более 2 мкм отходящие газы печей и аспирационный воздух. Преимущество очистки газов электрофильтрами — высокая степень очистки ($96 \dots 99\%$) при низком аэродинамическом сопротивлении аппарата ($0,03 \dots 0,25 \text{ кПа}$). 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).

Процесс пылеосаждения в электрофильтре заключается 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 встряхивающего механизма. Осажденная пыль накапливается в бункере, откуда она периодически удаляется. В трубчатом электрофильтре газы пропускаются внутри труб снизу вверх.

Пластинчатый электрофильтр (рис. 12) представляет собой герметичную камеру 4, в которой на равном расстоянии одна от другой установлены металлические пластины 2 с натянутыми между ними проводами. Они служат 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, перемещаясь вдоль пластин горизонтально, пересекают магнитное поле. Частицы пыли, получая от коронирующих электродов отрицательный заряд, оседают на пластинах с положительным зарядом.

Пластины периодически очищаются встряхивающим механизмом, и осевшая на них пыль ссыпается в расположенные под

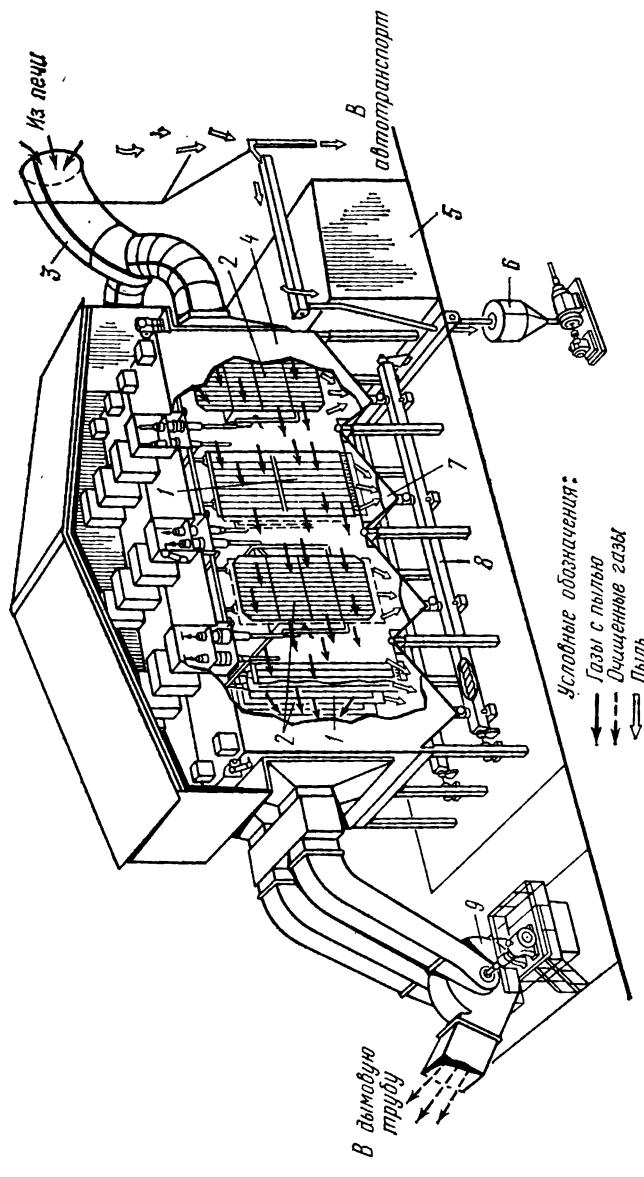


Рис. 12. Пластиничатый четырехпольный горизонтальный электрофильтр.
 1 — коронирующие электроды, 2 — пластины, 3 — бункер, 4 — трубопровол, 5 — камера, 6 — помещение для электроаппаратуры, 6, 7 — бункера, 8 — конвейер, 9 — дымосос

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.

Унифицированные горизонтальные электрофильтры типов УГ и УГТ (температурные) представляют собой двух-, трех- и четырехпольные аппараты для очистки от пыли неагрессивных газов с температурой до 250 (типа УГ) и 425°C (типа УГТ). Допускаемая

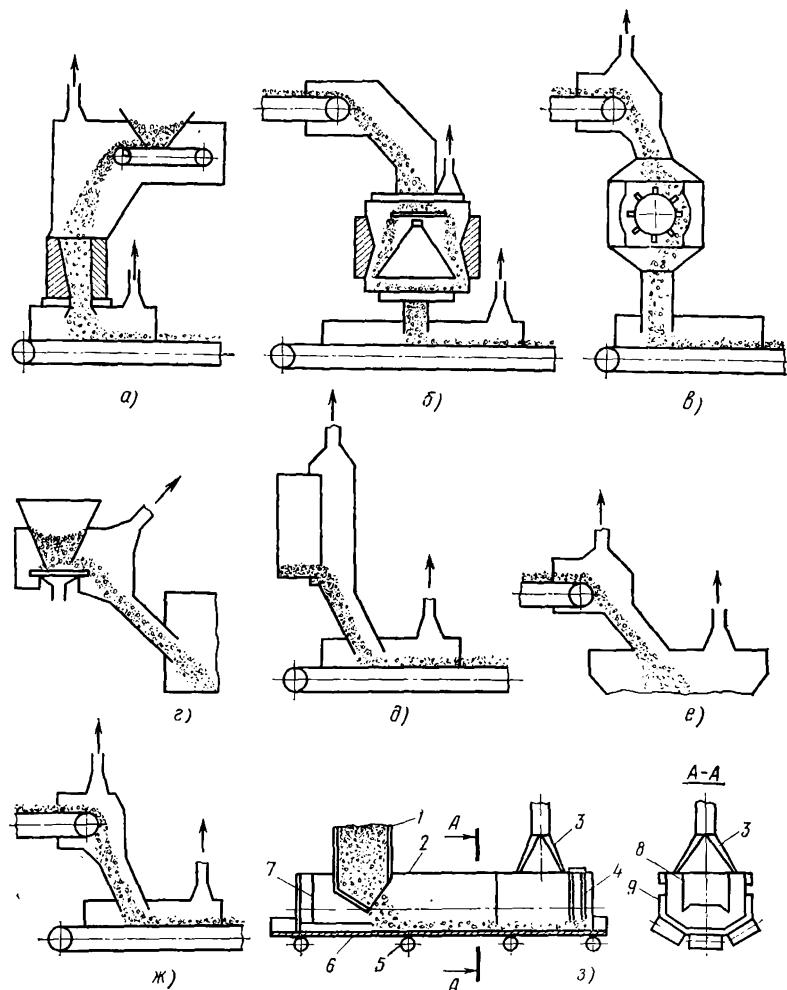


Рис. 13. Схемы укрытий оборудования и участков перегрузки материалов:

а — щековой дробилки, б — конусной дробилки, в — молотковой реверсивной дробилки, г — участка перегрузки из дискового питателя во вращающийся барабан, д — то же, из барабана на конвейер, е — то же, с конвейера в бункер, ж — то же, с конвейера на конвейер, з — то же, загрузки конвейера; 1 — желоб, 2 — укрытие, 3 — местный отсос, 4 — фартук, 5 — ролики, 6 — лента конвейера, 7, 8 — внутренние стеки укрытия, 9 — уплотнения

максимальная запыленность газа — 30 г/м³. Производительность — 36...300 тыс. м³/ч.

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 окончательно очищается в электрофильтре. Для эффективной работы трубчатого электрофильтра электроуды очищаются встряхивающим механизмом и периодически промываются водой. На время промывки водой в течение 10 мин в электрофильтр прекращают подачу газа и электроэнергии.

Электрофильтры-скруббера СМС-4 и СМС-6,2 эксплуатируются на шахтных известообжигательных печах предприятий по производству соды.

Степень очистки газов от тонкодисперсной пыли — 99%.

Аспирационные установки используют для очистки воздуха до предельной остаточной концентрации пыли.

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

Для эффективного обессыливания технологического оборудования и участков перегрузки материалов их оснащают укрытиями, снабженными отсасывающими трубопроводами. На рис. 13 показаны схемы укрытий наиболее распространенного оборудования и участков перегрузки материалов.

Контрольные вопросы

1. Какой тип дробильного оборудования наиболее часто применяют при переработке известняков?
2. Назовите тип конвейера, применяемого для транспортирования горячей комовой извести.
3. Перечислите основные характеристики ленточного дозатора типа СБ-111.
4. Для какой ступени очистки запыленных газов применяют циклоны?
5. В чем преимущества тканевых фильтров с импульсной обратной продувкой рукавов?
6. Какими преимуществами очистки запыленных газов обладают электрофильтры?

ГЛАВА V. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССАХ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗВЕСТИ ИЗ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД

§ 15. Физико-химические процессы

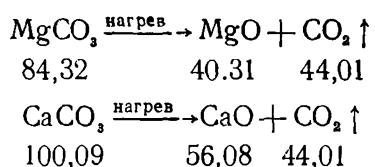
По характеру термообработки сырьевых материалов выделяют следующие стадии: сушку, подогрев, обжиг и охлаждение.

Сушка карбонатного сырья происходит при его нагреве до температуры 200 °C и сопровождается удалением из материала свободной влаги. При этом материал внешне не изменяется.

Подогрев сырья в зависимости от его вида осуществляют нагревом до температуры 200...710 °C (доломита) или 200...900 °C (известняка, мела). Нагрев известняка и доломита в указанном

интервале температур сопровождается выгоранием органических примесей, частичным растрескиванием, увеличением объема на 2...4% и снижением предела прочности на сжатие на 40...70%. Нагрев комового мела, наоборот, сопровождается повышением его предела прочности на сжатие до 20 МПа.

Обжиг карбонатного сырья выполняют его нагревом до температуры 710...900 °C (доломита) или 900..1300 °C (известняка, мела). При этом происходит термическая диссоциация карбонатов магния и кальция (декарбонизация), которая представляет собой химическую реакцию, протекающую с поглощением теплоты, и может быть схематически (с учетом молекулярных масс) записана в следующем виде:



Карбонаты разлагаются на оксиды магния MgO и кальция CaO (известь) и углекислый газ CO₂, который улетучивается.

При полном разложении карбоната магния для получения 1 кг MgO теоретически требуется 84,32/40,31 = 2,09 кг MgCO₃.

При полном разложении карбоната кальция для получения 1 кг CaO теоретически требуется 100,09/56,08 = 1,786 кг CaCO₃.

Количество теплоты, которое затрачивают для полного разложения при атмосферном давлении и условной температуре 20 °C 1 кг MgCO₃, равно 1300 кДж, для разложения 1 кг доломита — 1550 кДж, 1 кг CaCO₃ — 1780 кДж.

Теоретически для получения 1 кг MgO расходуют 1300 × 2,09 = 2715 кДж, 1 кг доломитовой извести — 2965 кДж, 1 кг CaO — 1780 × 1,786 = 3185 кДж.

Практически на 1 кг продукта затрачивают больше теплоты, значение которой определяется тепловым КПД печи. Например, для получения 1 кг CaO используют примерно 4000 кДж теплоты в шахтной печи и приблизительно 9000 кДж в длинной врашающейся печи.

Охлаждение извести осуществляют снижением ее температуры от 710 до 100...40 °C (магнезиальной и доломитовой) или от 900 до 100...40 °C (кальциевой). При охлаждении отдельные куски извести растрескиваются. Химических реакций не происходит.

§ 16. Влияние режимных параметров процесса обжига на производительность печи и качество извести

Производительность печи и качество извести во многом определяются режимными параметрами процесса обжига. Важнейшим параметром является средняя температура в зоне обжига печи, называемая *температурой обжига*. В основном она зависит от расхода топлива на 1 т извести, выпускаемой печью.

При одной и той же температуре обжига время полной декарбонизации кусков сырья различного размера неодинаково. Например, при температуре обжига 1000 °C время полной декарбонизации известняка размером 120 мм составляет 8,5 ч; 80 мм — 5,5 ч; 40 мм — 3 ч; 20 мм — 1,2 ч. Из этого примера следует, что при низкой температуре обжига крупные куски сырья не успевают обжечься полностью и в них образуется недожог, т. е. неразложившийся CaCO_3 .

Недожог извести $G_{\text{нед}}$, %, определяют по остаточной углекислоте CO_2 в извести, %:

$$G_{\text{нед}} = 100,09 / 44,01 \text{CO}_2 = 2,27 \text{CO}_2.$$

Недожог извести — это брак продукции и поэтому его содержание ограничено стандартом в зависимости от сорта извести остаточной CO_2 , допускаемой в пределах 3 ... 11 %.

Недожог легко обнаружить, взяв в руки комовую известь: куски извести с недожогом тяжелее по сравнению с полностью обожженными. Расколом кусок такой извести, можно увидеть ядро серого цвета, состоящее из CaCO_3 .

С увеличением температуры обжига растет скорость декарбонизации сырья, т. е. время его обжига уменьшается. Так, если скорость декарбонизации CaCO_3 при температуре обжига 950 °C принять за единицу, то при 1050 °C она увеличится в 1,8 раза, а при 1150 °C — в 4 раза. Соответственно сократится время обжига сырья и возрастет производительность печи.

Следовательно, чем выше температура обжига и меньше размер кусков обжигаемого сырья, тем выше производительность печи.

Температуру обжига повышают до предела, который устанавливают в зависимости от чистоты карбонатного сырья, вида и зольности топлива, требований к качеству извести, типа печи, применяемых огнеупоров. Превышение предельной температуры обжига нарушает технологический режим работы печи и сопровождается выпуском некачественной извести.

По величине предельной температуры обжига различают три режима обжига карбонатных пород: мягкий, средний и жесткий.

Мягкий обжиг характеризуется температурным интервалом 900 ... 950 °C для печи кипящего слоя, 950 ... 1050 °C — для шахтной печи, 1150 ... 1250 °C — для вращающейся печи. При таком обжиге чистого известняка или мела и использовании мало-зольного топлива образуются пористые, пронизанные мелкими трещинами легкие куски извести, раскалывающиеся при слабом ударе. Это объясняется тем, что при обжиге сырья объем его кусков уменьшается незначительно (10 ... 12 %). После погружения извести в воду она быстро и полностью вступает с ней в химическую реакцию гидратации (гашения) с выделением большого количества теплоты, что сопровождается быстрым разогревом и даже кипением жидкости. Такая известь содержит 80 ... 92 % актив-

ных $\text{CaO} + \text{MgO}$. Размер кристаллов CaO — менее 1 мкм. Время гашения 1 ... 2 мин, температура гашения 80 ... 90 °C. Преимущество мягкого обжига — выпуск быстрогасящейся извести, недостаток — низкая производительность печи.

При среднем обжиге чистого известняка или мела (температура обжига 950 ... 1000 °C в печи кипящего слоя, 1100 ... 1250 °C — в шахтной печи, 1250 ... 1350 °C — во вращающейся печи) и работе на малозольном топливе объем кусков сырья уменьшается на 15 ... 20 %. Куски извести отличаются менее пористой и более плотной структурой, что объясняется преобладанием в ней более крупных кристаллов CaO . Известь бурно реагирует с водой. Содержание в ней активных $\text{CaO} + \text{MgO}$ — 80 ... 92 %, время гашения — 3 ... 10 мин, температура гашения — 80 ... 85 °C.

Средний обжиг устанавливают при выпуске строительной извести и при этом получают быстро- и среднегасящуюся известь 1-го и 2-го сортов при расчетной производительности печи.

Жесткий обжиг отличается температурным интервалом 1050 ... 1150 °C в печи кипящего слоя, 1300 ... 1400 °C — в шахтной печи, 1400 ... 1500 °C — во вращающейся печи. При жестком обжиге чистого известняка или мела и применении малозольного топлива объем кусков сырья уменьшается на 40 ... 42 %, в результате чего получается известь незначительной пористости и высокой плотности. Кристаллы CaO в ней в десятки и сотни раз крупнее, чем в извести, полученной при мягком обжиге. Такие кристаллы CaO , т. е. размером более 10 мкм, медленно гасятся водой и образуют *пережог извести*. Известь содержит 80 ... 90 % активных $\text{CaO} + \text{MgO}$, время гашения 8 ... 15 мин, температура гашения 75 ... 85 °C. Жесткий обжиг применяют при выпуске конверторной извести. Его преимущество — повышенная производительность печи, недостаток — получение извести с пережогом.

Таким образом, при обжиге чистого карбонатного сырья и использовании малозольного топлива производят высокоактивную известь с различными сроками гашения. Известь отличается кремово-белым цветом.

§ 17. Влияние минеральных примесей на качество извести, выбор режима обжига и производительность печи

Влияние минеральных примесей на качество извести. Одним из источников появления в извести примесей служит сырье, другим — топливо.

Примесь доломита. При получении кальциевой извести доломит является примесью. Декарбонизация доломита происходит в две стадии: вначале при температуре выше 710 °C разлагается MgCO_3 , а затем при температуре выше 900 °C — CaCO_3 . Обжиг примесей доломита в шахтной или вращающейся печи при температуре выше 1100 °C приводит к такому уплотнению структуры образовавшейся MgO , что она не реагирует с водой в обычных

атмосферных условиях в течение нескольких месяцев. При автоклавной обработке силикатобетонных изделий MgO быстро гасится, вызывая брак изделий. В связи с этим содержание MgO в строительной извести ограничено до 5%.

Примесь кремнезема SiO_2 . Он входит в состав сырья и золы твердого топлива и вступает в химическую реакцию с CaO с момента ее образования в печи. При этом получается новый минерал — двухкальциевый силикат, или белит, представляющий собой тугоплавкое соединение (не образует жидкой фазы при температуре до $1400^{\circ}C$). Белит медленно гасится. Он снижает температуру и скорость гашения извести, а также уменьшает в ней активную CaO .

Примеси оксидов Fe_2O_3 и Al_2O_3 . Эти оксиды содержатся в сырье и золе твердого топлива. Взаимодействие оксидов с CaO при температуре выше $1100^{\circ}C$ сопровождается образованием новых соединений в виде расплава низкой вязкости. Расплав обволакивает зерна активной извести, заполняет ее поры, способствует росту кристаллов CaO . В результате оксиды железа и алюминия не только связывают активную известь в новые минералы, которые медленно гасятся, но и способствуют резкому уплотнению структуры извести, ее пережогу, что замедляет время гашения извести до 25...40 мин. Пережог извести внешне представляет собой ошлакованные и оплавленные утяжеленные темноватые куски извести с плотной структурой.

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.

Примесь серы S. Сера в виде сульфата кальция $CaSO_4$ в небольшом количестве содержится в карбонатном сырье, в значительном количестве — в золе твердого топлива. Особенно много серы в мазуте. В газообразном топливе сера встречается редко. Сера, содержащаяся в печных газах в виде SO_2 , вступает в контакт с поверхностью частиц извести, образуя сульфиты и сульфаты кальция и снижая тем самым количество активной CaO . Сульфиты и сульфаты кальция способствуют появлению расплава при более низкой температуре, что ускоряет образование пережога извести.

Следовательно, присутствие в карбонатном сырье примесей кремнезема, железа, алюминия и серы приводит при его обжиге к образованию медленно гасящейся извести, в которой часть CaO находится в связанном виде. Количество связанного оксида кальция приближенно определяют, умножив на четыре количество содержащихся в сырье глинистых примесей. Известь с примесями может иметь сероватый, желтоватый или коричневый оттенок.

Примеси органического происхождения. Нефть, битум, смолы полностью выгорают в печи и не влияют на качество и цвет извести.

Влияние минеральных примесей на выбор режима обжига. Карбонатное сырье с содержанием примеси доломита более 12% обжигают в печи кипящего слоя при мягком обжиге. При этом получают MgO в активной форме, т. е. способный гаситься за 25...30 мин в обычных условиях.

Сырье, содержащее более 3% примеси SiO_2 , можно подвергать среднему обжигу, так как белит не образует жидкой фазы до температуры 1400 °C.

Если каждой из примесей Fe_2O_3 , Al_2O_3 и S содержится более 0,5%, то это вызывает пережог извести. В результате карбонатное сырье, содержащее более 2% оксидов, подвергают мягкому обжигу.

Твердое топливо зольностью более 12% при его использовании в шахтной печи в пересыпку вызывает пережог извести. Поэтому при зольности топлива 12...20% и чистом сырье целесообразно установить в печи средний обжиг. В случае зольности топлива более 20% или использовании сырья с содержанием глинистых примесей 5...8% в шахтной печи устанавливают мягкий обжиг.

Влияние минеральных примесей на производительность печи. Примеси доломита и SiO_2 не вызывают существенного изменения производительности печи. Примеси железа, алюминия и серы, а также зольность топлива более 12% приводят к образованию в шахтной печи сваров и зависаний материала, привару шихты к футеровке. Это нарушает аэродинамику шахтной печи и снижает ее производительность.

Аналогично влияют примеси на работу печи кипящего слоя. Производительность вращающейся печи от них практически не зависит.

Контрольные вопросы

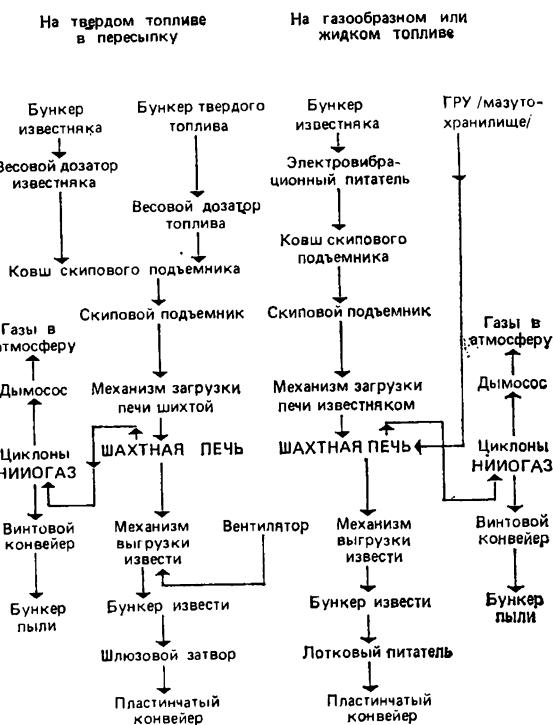
1. Назовите температуру начала полной диссоциации CaCO_3 . 2. Сколько требуется CaCO_3 при его полной диссоциации для получения 1 кг CaO ? 3. Сколько теплоты необходимо затратить на диссоциацию 1 кг CaCO_3 ? 4. Что характеризует остаточная углекислота CO_2 в извести? 5. Поясните роль глинистых примесей сырья в процессе обжига. 6. Каким образом влияет температура обжига на качество извести? 7. Что такое пережог извести и в чем состоит его вредное влияние на качество извести и изготовленные из извести изделия или материалы?

ГЛАВА VI. ОБЖИГ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД В ШАХТНЫХ ПЕЧАХ

§ 18. Технологические схемы производства извести в шахтных печах

Производство комовой извести на технологической линии, включающей шахтную печь, работающую на твердом топливе в пересыпку, осуществляют по схеме II.

Схема II
**Принципиальные технологические схемы производства извести
в шахтных печах**



Порцию известняка массой 1 ... 3 т фракции 120 ... 80 или 80 ... 40 мм из бункера весовым дозатором сырья загружают в ковш скрапового подъемника. Одновременно весовым дозатором топлива в ковш подают порцию антрацита фракции 100 ... 50 мм или 50 ... 25 мм массой 75 ... 240 кг. Составленная в заданном соотношении смесь сырья и твердого топлива называется *шихтой*.

Скраповой подъемник поднимает ковш на верх печи, после чего шихта из него ссыпается в приемную воронку механизма загрузки, который периодически загружает печь шихтой и равномерно распределяет куски сырья и твердого топлива по поперечному сечению шахты.

Опускаясь в шахте, известняк сузится и подогревается до температуры начала декарбонизации (900°C) за счет теплопередачи от движущихся снизу вверх печных газов, которые при этом охлаждаются и покидают шахту, снизив свою температуру с $950 \dots 1000$ до $110 \dots 150^{\circ}\text{C}$. Газы отводятся из верхней части шахты под воздействием искусственной тяги (разрежения) величиной $1,5 \dots 2$ кПа, создаваемой дымососом, соединенным с патрубками или коробом печи трубопроводом (газоходом).

Продолжая опускаться, карбонатное сырье обжигается при температуре 1000 ... 1400 °C, поддерживаемой в печи теплотой, которая выделяется горящими кусками твердого топлива, распределенного между кусками известняка.

Газообразные продукты обжига поднимаются по шахте, а образовавшаяся комовая известь опускается, охлаждаясь поднимющимся по шахте холодным воздухом. Куски извести, охлажденные до температуры 100 ... 40 °C, механизмом выгрузки сбрасываются в бункер, затем проходят шлюзовой затвор, который предотвращает выбивание из печи запыленного воздуха, и поступают на пластинчатый конвейер, который транспортирует комовую известь на склад.

Воздух для горения топлива нагнетается под давлением 4 ... 6,5 кПа вентилятором в шахту через механизм выгрузки.

Отходящие из печи газы очищаются от пыли в циклонах конструкции НИИОГАЗ и затем выбрасываются дымососом в атмосферу. Уловленная пыль из бункера циклонов винтовым конвейером периодически выгружается в бункер пыли.

На предприятиях, использующих содержащуюся в печных газах углекислоту CO₂, вместо циклонов применяют электрофильтрскруббер. Газы после электрической и мокрой очистки направляют в установку для выделения CO₂.

При обжиге карбонатного сырья в *шахтной печи, работающей на газообразном или жидкоком топливе*, известняк фракции 120 ... 80 или 80 ... 40 мм загружают в ковш скрапового подъемника электровибрационным питателем (т. е. путем объемного дозирования).

Топливо из газораспределительного устройства (ГРУ) под давлением 25 ... 30 кПа доставляется по трубопроводу к установленным в шахте горелкам, смешивается с движущимся снизу вверх в слое известняка воздухом и сгорает, выделяя теплоту.

Мазут в мазутохранилище предварительно подогревают и по кольцевому трубопроводу транспортируют под давлением к шахтной печи. От кольцевого трубопровода мазут по туникому трубопроводу насосом подают в теплообменник, в котором его подогревают до температуры 105 ... 115 °C, а затем в форсунки топочных камер печи. В топочных камерах мазут предварительно газифицируется, после чего он поступает в шахту, смешивается с воздухом и сгорает, выделяя необходимую для обжига теплоту.

Теплота горения топлива расходуется на декарбонизацию сырья и нагрев газов до температуры 1000 ... 1400 °C.

Газообразные продукты обжига, поднимаясь по шахте, отдают опускающемуся известняку часть теплоты и на выходе из печи их температура снижается до 250 ... 350 °C. Искусственная тяга (2,5 ... 3 кПа) создается дымососом, соединенным с верхом шахты коробом для отсоса газов.

Образовавшаяся при обжиге комовая известь опускается к выгрузочному отверстию шахты, охлаждаясь воздухом до температуры 120 ... 80 °C, после чего сбрасывается механизмом выгруз-

ки в бункер, из которого лотковым питателем подается на пластинчатый конвейер.

Воздух для горения газообразного топлива и газифицированного мазута поступает в шахту под действием тяги (разрежения) в печи через механизм выгрузки. Часть воздуха, расходуемого на газификацию мазута в топочных камерах, нагнетается в них вентилятором.

Газы на выходе из печи очищаются в циклонах конструкции НИИОГАЗ. Уловленная пыль винтовым конвейером периодически выгружается из бункера циклонов в бункер пыли.

§ 19. Шахта печи

Устройство шахты. Шахта печи состоит из стального кожуха и кладки. Шахта пересыпных печей может иметь вид полого цилиндра (рис. 14, а) или составленных основаниями двух усеченных конусов (рис. 14, б). Наиболее рациональна цилиндрическая форма шахты с сужением в нижней части, т. е. зоне охлаждения (рис. 14, в).

Круглое поперечное сечение шахты имеет преимущества перед остальными при пересыпном способе обжига, так как способствует равномерному распределению и опусканию кусковых материалов по сечению шахты. У шахты круглого сечения меньшая объемная поверхность, благодаря чему значительно уменьшаются потери теплоты в окружающую среду.

В печах на газообразном и жидкокомплексном топливе применяют эллипсовидное (рис. 14, г) и прямоугольное (рис. 14, д) сечения шахты, что позволяет более равномерно распределять газообразное топливо в слое обжигаемого материала.

Часть общей высоты шахты между уровнем средней нормальной засыпки ее материалом и выгрузочным отверстием называется *рабочей высотой шахтной печи*. При установке в печи отсасывающего короба рабочая высота шахты равна разности уровней между осью короба и выгрузочным отверстием шахты.

Рабочая высота шахты влияет на удельный расход топлива и качество получаемой извести и составляет 17 ... 24 м.

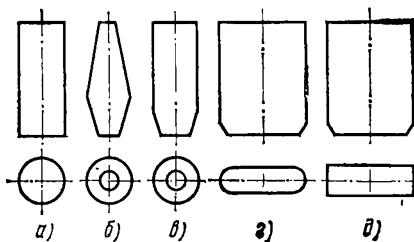


Рис. 14. Конфигурации шахт печей:
а — в виде полого цилиндра, б — составленных большими основаниями двух усеченных конусов, в — цилиндрическая с сужением внизу, г — щелевидная (эллипсовидная) с вертикальными стенками, д — прямоугольная с вертикальными стенками

Оgneупорная кладка печи. Оgneупорная кладка шахтной печи состоит из внутреннего защитного слоя — футеровки и наружного — теплоизоляционного. Футеровка шахты существенно влияет на процесс обжига и его технико-экономические показатели. Чем более тщательно выполнена футеровка и выше качество примененных оgneупоров, тем более высокая температура обжига поддер-

живается в зоне обжига печи и увеличивается время ее эксплуатации. В итоге растет годовая производительность печи и снижаются затраты на выпуск 1 т извести.

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

Шахту печи по высоте условно можно разделить на три технологические зоны: подогрева, обжига, охлаждения. В зоне подогрева (в верхней части шахты) 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 (кислорода, сернистых соединений), имеющих кислый характер. Поэтому применяемые материалы должны быть нейтральными или кислыми, плотными и прочными.

Зона подогрева подвержена колебаниям температуры, особенно значительным в период загрузки шихты. Следовательно, материал футеровки зоны подогрева должен быть достаточно термостойким, т. е. устойчивым к резким колебаниям температуры. Всем этим условиям удовлетворяет шамотный уплотненный доменный кирпич. Толщина футеровки в зоне подогрева — 230 ... 345 мм.

В зоне обжига (в средней части шахты) температура достигает 1300 ... 1400 °С, а в местах скопления твердого топлива и ввода газообразного может быть и выше. Огнеупорность материала футеровки должна быть выше температуры, наблюдаемой в рабочей зоне. Огнеупорные материалы разрушаются даже в том случае, когда их огнеупорность достаточна для нормативной 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 проникают через поры в глубь кирпича, вступая с ним в химическое взаимодействие и разрушая его.

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

В качестве огнеупорных материалов для футеровки зоны обжига применяют шамотный уплотненный доменный и хромомагнезитовый кирпич, а для печей большой мощности — периклазохромитовый кирпич. Толщина футеровки — 345 ... 460 мм и более.

Важная характеристика огнеупорной кладки печей всех типов — стойкость футеровки, которая выражается числом суток службы огнеупорных материалов с момента розжига печи до прекращения подачи в нее сырья и остановки для замены футеровки. Стойкость футеровки в зоне обжига минимальна и для периклазохромитового, магнезитохромитового и хромомагнезитового кир-

пича достигает 2000 сут, шамотного уплотненного доменного — 1100 сут, шамотного для футеровки известеобжигательных печей — 700 сут, шамотного общего назначения — 330 сут. Частые остановки печей из-за отсутствия сырья, топлива, отключения электроэнергии вызывают преждевременный выход футеровки из строя.

В зоне охлаждения в нижней части шахты материал футеровки подвергается механическому и химическому воздействию раскаленной извести и колебаниям температуры. Однако условия его работы значительно легче по сравнению с зоной обжига. Для футеровки зоны охлаждения применяют шамотный уплотненный доменный кирпич. Толщина футеровки — 230 ... 345 мм.

Следующий за футеровкой слой оgneупоров не подвергается столь значительному воздействию среды и служит в основном для теплоизоляции. К основным требованиям, предъявляемым к теплоизоляционным оgneупорным материалам, относятся оgneупорность и теплопроводность. Теплопроводность материала связана с его плотностью. Чем она ниже, тем меньшей теплопроводностью он обладает.

Теплоизоляционный слой футеровки шахты выполняют из шамотных легковесных оgneупоров толщиной 230 ... 460 мм.

Для снижения потерь теплоты через стенки шахты пространство между кладкой и кожухом размером 50 ... 65 мм заполняют керамзитовым гравием, шамотной крошкой, молотым трепелом.

Заслуживает внимание опыт предприятий, которые выполняют кладку печи из оgneупорных блоков толщиной 0,5 м и высотой 0,5 ... 1,45 м. Кожух печи сваривают из листов стали толщиной 8 ... 16 мм.

§ 20. Загрузочное устройство шахтной печи

Конструкция скипового загрузочного устройства. Для загрузки шахтных печей сырьем и твердым топливом применяют скиповое загрузочное устройство (рис. 15), которое включает в себя стационарный скиповой 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 м³ и электрической реверсивной лебедки 8. Ствол подъемника установлен под углом 60 ... 80° к горизонту и опорами 5 прикреплен 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. 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 приямке подъемника. Вокруг приямка или в приямке подъемника устраивают сплошной настил, а приямок ограждают барьером, переднюю часть которого выполняют съемной.

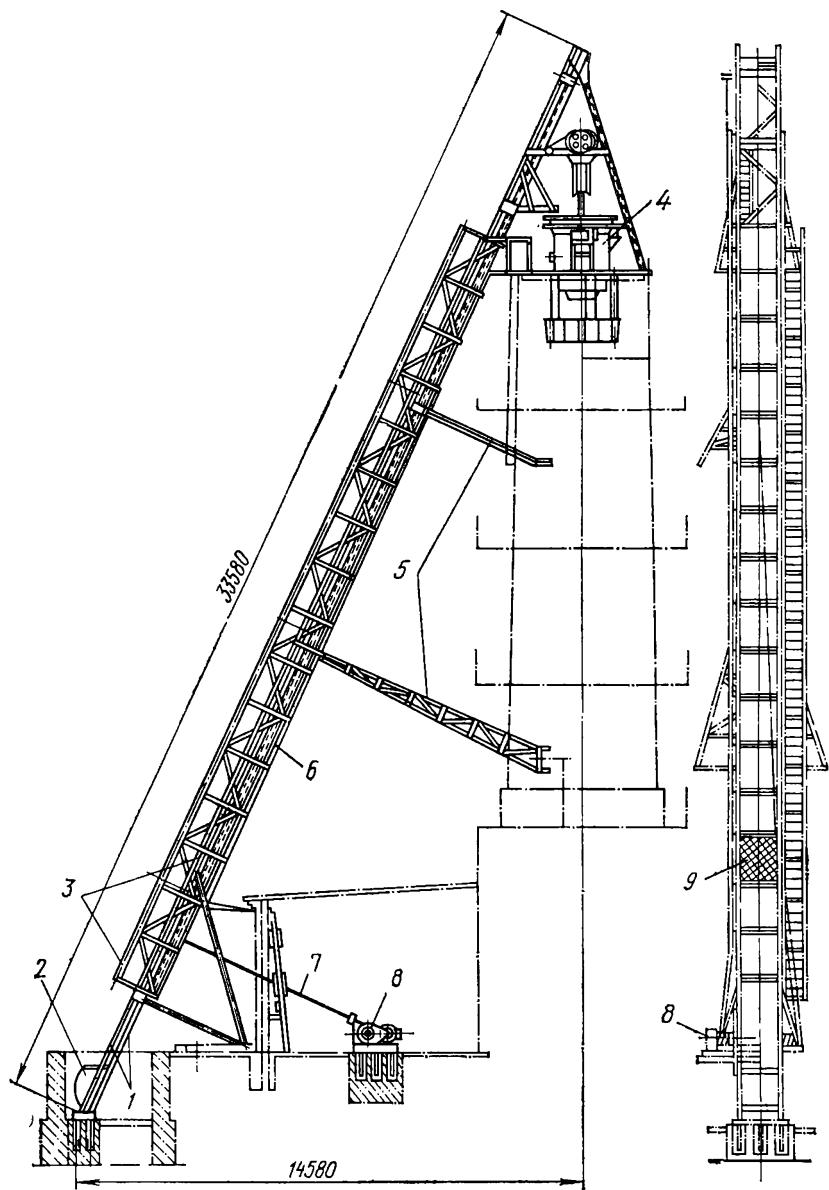


Рис. 15. Скиповое загрузочное устройство шахтных печей:
1 — балки, 2 — ковш, 3 — фермы, 4 — механизм загрузки печи, 5 — опоры, 6 — склоновой подъемник, 7 — канат, 8 — лебедка, 9 — сетка

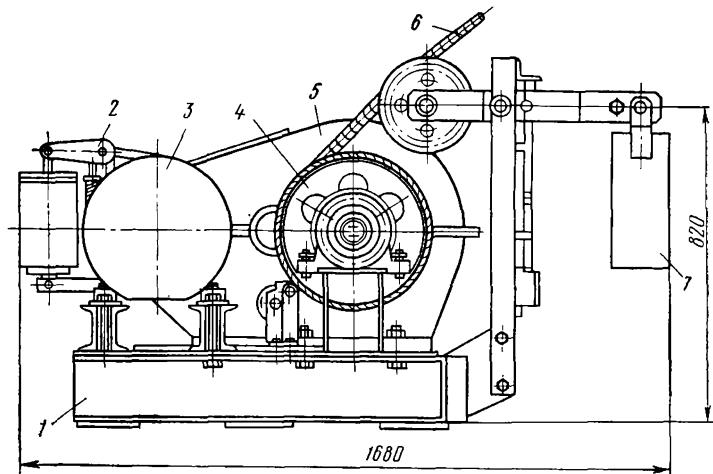


Рис. 16. Лебедка грузоподъемностью 2 т:
1 — рама, 2 — тормоз, 3 — электродвигатель, 4 — барабан, 5 — редуктор,
6 — канат, 7 — выключатель

Лебедка (рис. 16) 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 $0,75 \text{ м}^3$ (рис. 17) укреплен на раме 4, снабженной осями 3, 6 с надетыми на них катками 2, которые перемещаются по направляющим 1 скрепового подъемника.

Механизм загрузки обеспечивает равномерное распределение кусков сырья и твердого топлива по поперечному сечению шахты, загрузку более крупных кусков сырья в приосевую область печей, работающих на газообразном или жидким топливе, а также герметизацию верха печи во время ее загрузки.

Двухклапанный механизм загрузки с распределительным лотком конструкции Союзгипростроя (рис. 18) состоит из корпуса 13; приемной воронки 1, двухклапанного шлюзового затвора с колоколами 2, 4 и распределительного лотка 6, укрепленного на поворотном валу 9. Механизм загрузки корпусом 13 опирается на стальной усеченный конус 11, смонтированный на шахте 10. Выпускное отверстие неподвижной воронки 1 закрыто колоколом 2. Внутри корпуса 13 расположен усеченный конус 12, образующий промежуточную емкость 3, выпускное отверстие которой закрыто колоколом 4. Люк 14 используют во время ремонта механизма загрузки.

Материалы распределяются в шахте 10 поворотным лотком 6, который представляет собой два профилированных листа (ската) из стали разной длины, установленных под углом к валу 9. В нижней части каждого листа выполнено прямоугольное отвер-

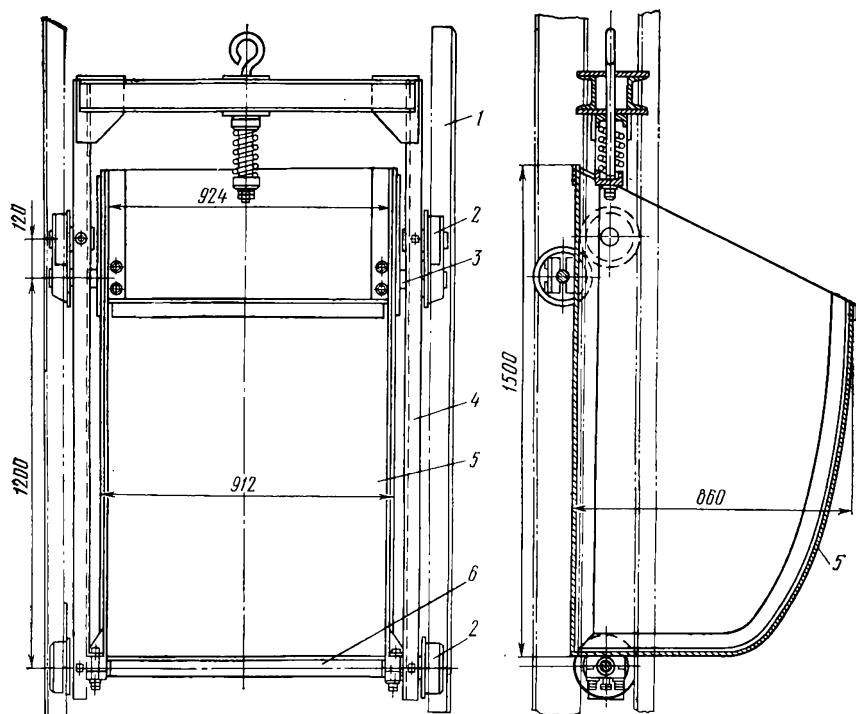


Рис. 17. Ковш скипового подъемника вместимостью 0,75 м³:
1 — направляющая, 2 — катки, 3, 6 — передняя и задняя оси, 4 — рама, 5 — ковш

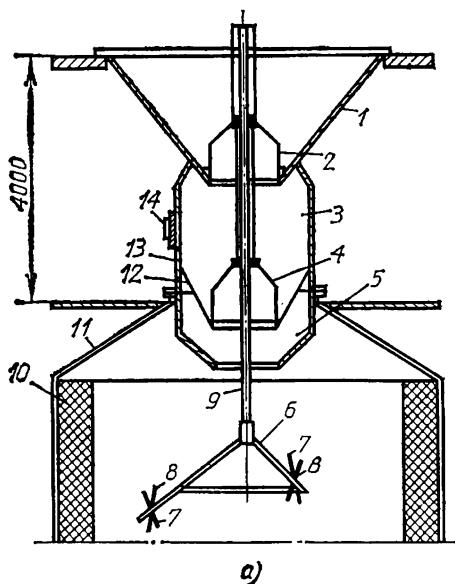
стие. Отбойные пластины 7, 8 установлены под определенным углом к поверхности ската и закреплены на нем ребрами жесткости 16.

Постоянное перекрытие одного из выпускных отверстий механизма загрузки колоколом делает печь во время ее загрузки закрытой герметично.

В механизмах запуска печей производительностью до 200 т/сут включительно колокола 2, 4 поднимают, используя систему канатов, пропущенных через дифференциальные блоки скипового подъемника. Вал 9 с двускатным лотком 6 поворачивается на угол 42° с помощью электродвигателя с редуктором и фиксируется храповым механизмом 15.

Клапаны и вал двускатного лотка в механизме загрузки печи производительностью 450 т/сут приводятся в действие индивидуальными гидроцилиндрами.

Механизм загрузки работает следующим образом. Сырье и твердое топливо (или одно сырье) из приемной воронки 1 при подъеме колокола 2 ссыпается в промежуточную емкость 3, после чего он опускается и закрывает выпускное отверстие воронки 1. При подъеме колокола 4 шихта из емкости 3 через отверстие вы-



образом, чтобы крупные куски поступали преимущественно в приосевую область шахты.

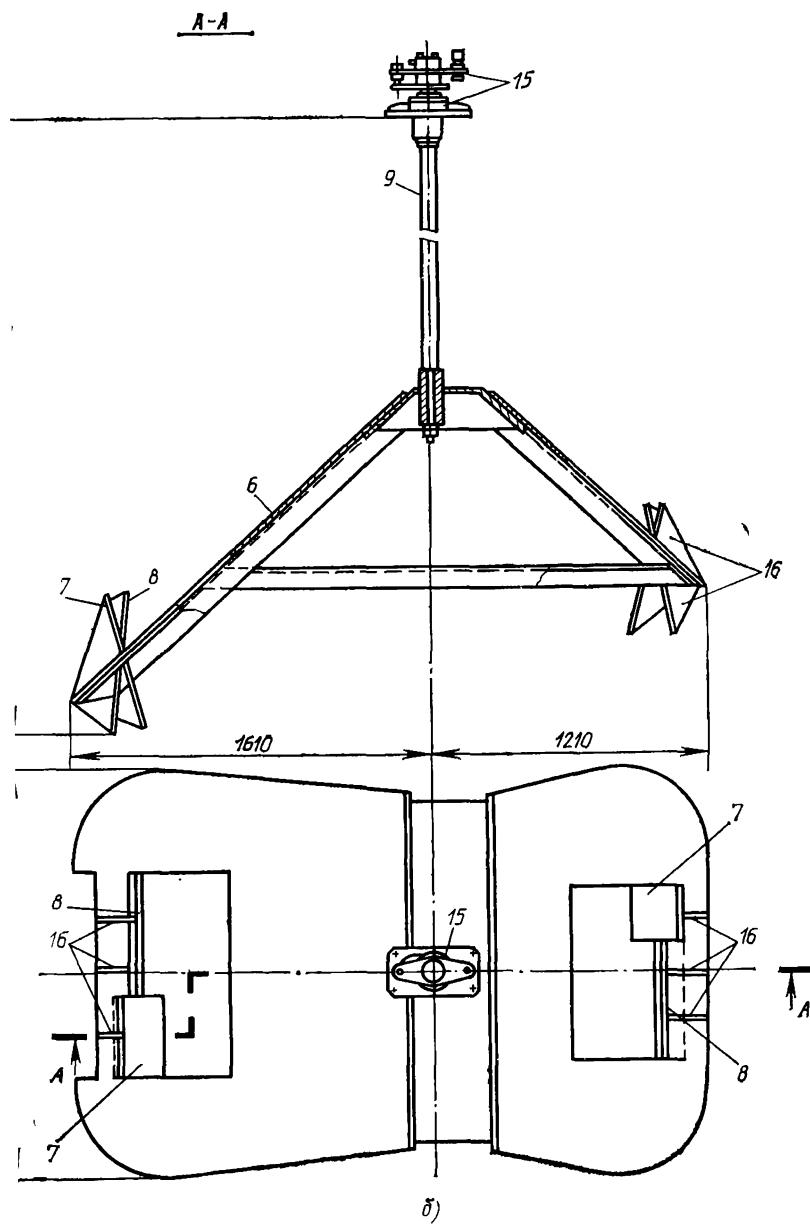
Загрузочное устройство работает следующим образом (рис. 19). Лебедка 15 с помощью стального каната, пропущенного через блок 2, транспортирует ковш 1 на верх шахтной печи. При движении вверх по стволу подъемника ковш своим выступом входит в зацепление с зубом ползуна 16, поднимая с помощью каната и шкивов 3, 4 колокол 8. При этом шихта, находящаяся в приемной воронке механизма загрузки, просыпается в промежуточную емкость, выпускное отверстие которой закрыто колоколом 10. Выйдя из зацепления с ползуном 16, ковш 1 продолжает подниматься по стволу подъемника, а колокол 8 под действием силы тяжести опускается, плотно закрывая выпускное отверстие воронки.

При дальнейшем движении вверх ковш входит в зацепление с ползуном 17 и с помощью каната, блоков и шкивов 5, 6 поднимает колокол 10 в верхнее положение. Куски сырья и твердого топлива под действием силы тяжести ссыпаются из промежуточной емкости на скаты лотка 12. Выйдя из зацепления с ползуном 17, ковш продолжает движение вверх, а колокол 10 опускается, закрывая выпускное отверстие промежуточной емкости механизма загрузки.

Грузы 9, 13, 14 регулируют натяжение канатов. Поднявшись на горизонтальный участок направляющих ствола подъемника, ковш воздействует на конечный выключатель, опрокидывается и высыпает шихту в приемную воронку механизма загрузки. Выключатель разрывает цепь питания электродвигателя лебедки 15 и через реле времени включает электродвигатель 7, который с по-

ходной емкости 5 поступает на двускатный лоток 6, после чего колокол 4 опускается и плотно закрывает выпускное отверстие емкости 3, а лоток 6 поворачивается вокруг оси на угол 42°. При движении кусков твердого топлива и сырья по поверхности каждого ската лотка они перемешиваются, а затем разделяются пластинами 7, 8 и вырезом в скате на три потока: в периферийную, приосевую и промежуточную области шахты. В результате твердое топливо равномерно распределяется по поперечному сечению шахты.

В случае загрузки в печь одного сырья отбойные пластины устанавливают таким



ис. 18. Двухклапанный механизм загрузки с распределительным лотком
конструкции Союзгипропрома:

— общий вид, 6 — двускатный лоток механизма загрузки печи производительно-
стью 450 т/сут; 1 — приемная воронка, 2, 4 — колокола, 3, 5 — емкости, 6 — лоток,
8 — отбойные пластины, 9 — вал, 10 — шахта, 11, 12 — усеченные конуса, 13 —
корпус, 14 — люк, 15 — храповой механизм, 16 — ребра жесткости

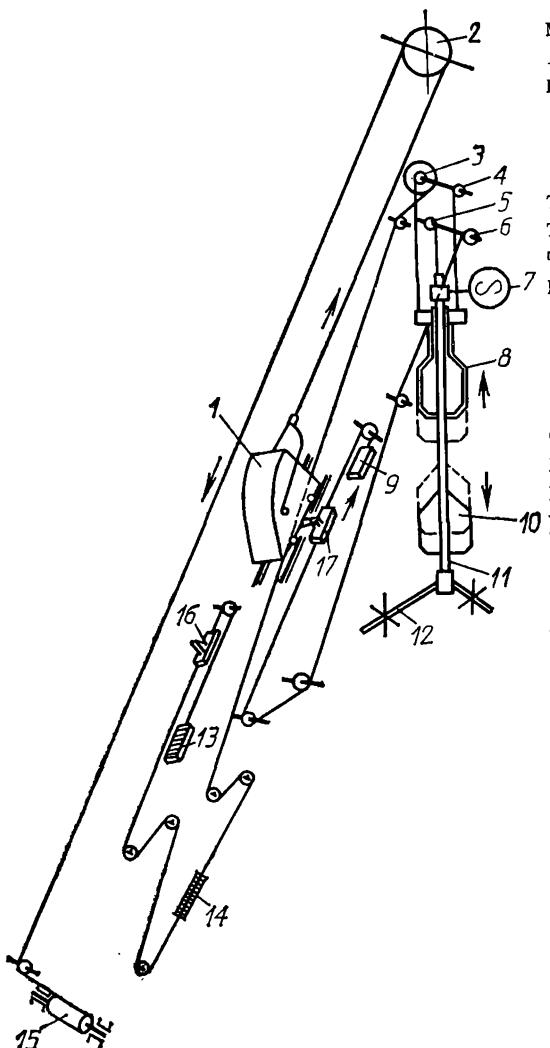


Рис. 19. Схема работы загрузочного устройства шахтной печи:

1 — ковш, 2 — блок, 3—6 — шкивы, 7 — электродвигатель, 8, 10 — колокола, 9, 13, 14 — грузы, 11 — вал, 12 — лоток, 15 — лебедка, 16, 17 — ползуны

стояние между ними в направлении от центра к краям каретки увеличивается. Опорами для катков служат рельсовые балки 3. По оси печи над решеткой установлена полая балка-рассекатель 5, которая воспринимает часть давления столба материала и симметрично распределяет его по обе стороны решетки. Механизм выгрузки заключен в металлический кожух, снабженный с противоположных сторон люками 4, которые дают возможность обслуживать и ремонтировать механизм.

мощью редуктора и вала 11 поворачивает лоток 12 на необходимый угол.

По возвращении ковша в нижнее положение он наполняется сырьем и топливом и после нажатия пусковой кнопки начинает движение вверх по стволу подъемника.

§ 21. Выгрузочное устройство шахтной печи

Выгрузочное устройство включает в себя механизм выгрузки извести, промежуточный бункер и устройство для герметизации механизма выгрузки.

Выгрузочное устройство с движущейся решеткой конструкции Союзгипрострома (рис. 20) состоит из механизма выгрузки с приводом, бункера 2 извести и трехшлюзового затвора 1.

Механизм выгрузки представляет собой колосниковую решетку, укрепленную на сварной каретке 9, которая перемещается возвратно-поступательно с помощью опорных катков 8. Колесники 10 расположены на каретке наклонно и имеют клинообразную форму, в связи с чем рас-

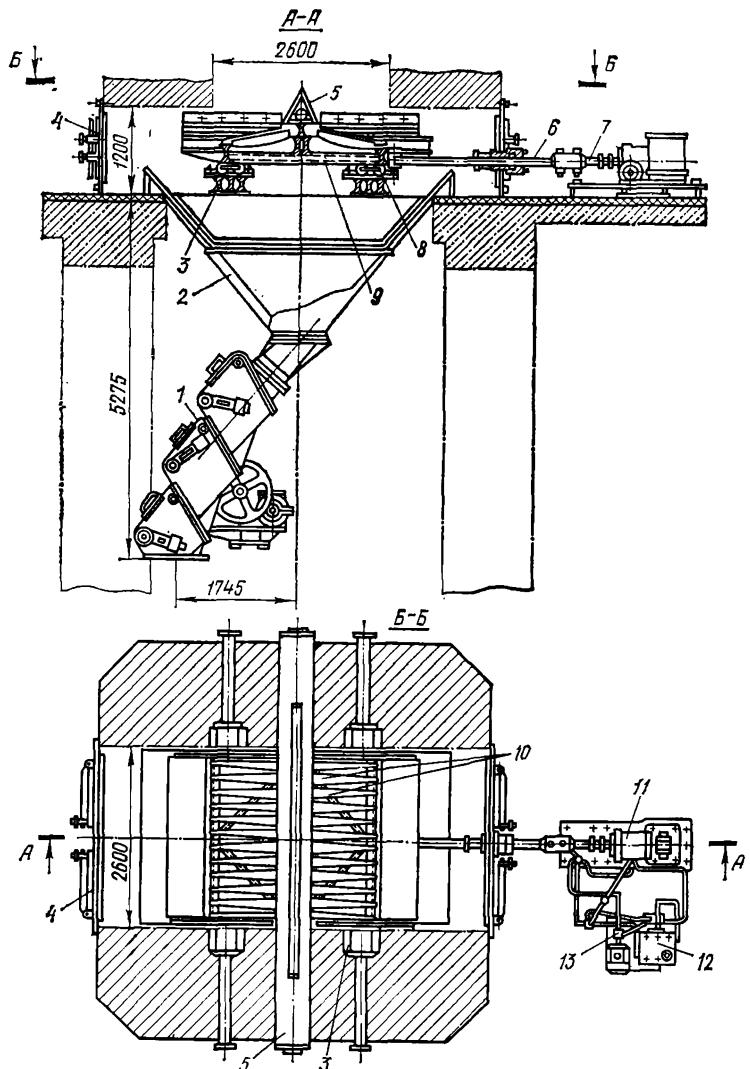


Рис. 20. Выгрузочное устройство с движущейся решеткой конструкции Союзгипростроя:

1 — затвор, 2 — бункер известки, 3 — балка, 4 — люк, 5 — балка-рассекатель, 6 — штанга, 7 — шток, 8 — каток, 9 — каретка, 10 — колосники, 11 — рабочий цилиндр, 12 — бак, 13 — гидронасос

При возвратно-поступательном движении каретки мелкие куски извести пропадают в щели между колосниками, а крупные, сползая по наклонным колосникам,сыпаются то с одной, то с другой стороны решетки в бункер 2 и через переходную течку и шлюзовой затвор 1 поступают на конвейер. Ход решетки регулируют в пределах 0 ... 150 мм.

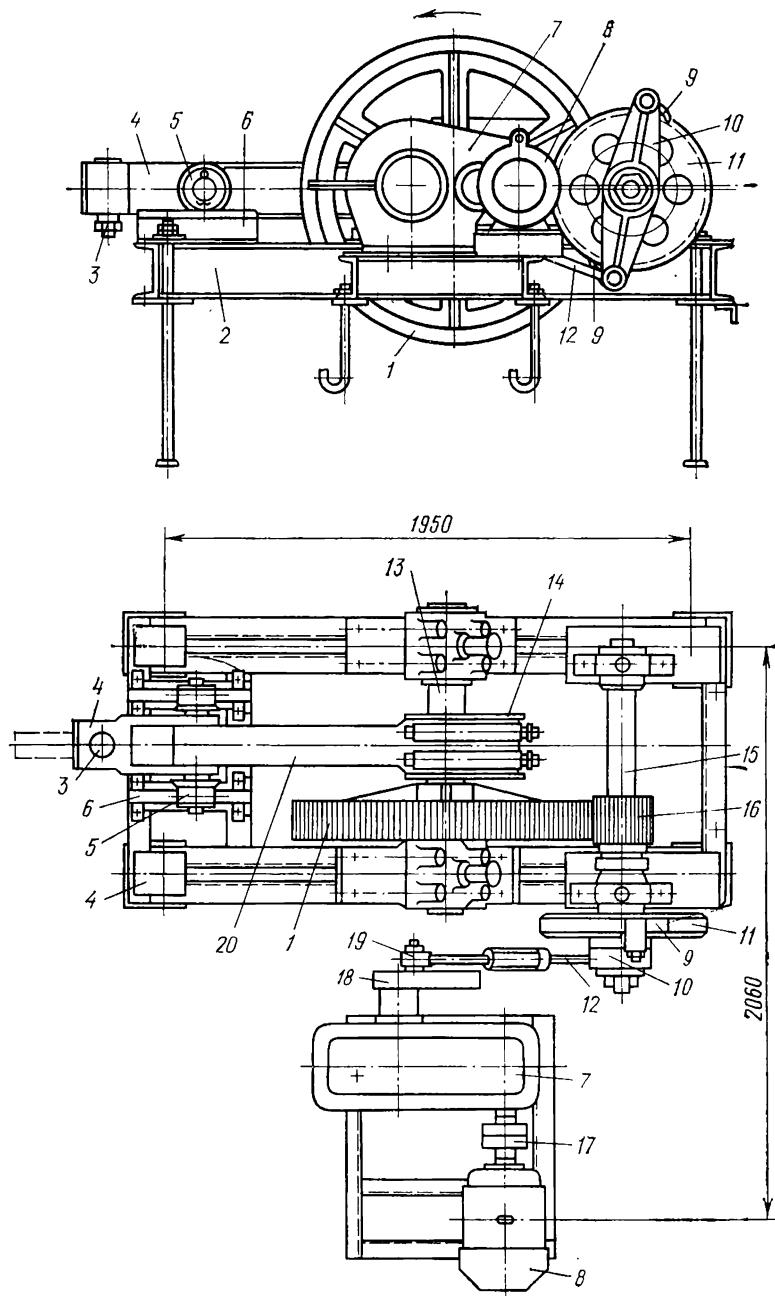


Рис. 21. Электромеханический привод:

1, 16 — шестерни, 2 — рама, 3 — клин, 4 — вилка, 5 — ролик, 6 — направляющая, 7 — редуктор, 8 — электродвигатель, 9 — собачки, 10 — коромысло, 11 — храповое колесо, 12 — тяга, 13, 15 — валы, 14 — дебаланс, 17 — муфта, 18 — шайба, 19 — палец, 20 — шатун

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

Электромеханический привод (рис. 21) включает в себя храповой вариатор, электродвигатель 8, муфту 17 и редуктор 7 с эксцентриковой шайбой 18.

Храповой вариатор состоит из сварной рамы 2 с закрепленными на ней в подшипниках дебалансовым валом 13 и ведущим валом 15, большой 1 и малой 16 шестерен, шатуна 20, дебаланса 14, храпового колеса 11, собачек 9 и коромысла 10. Вариатор с помощью регулируемой по длине тяги 12, пальца 19 и шайбы 18 соединен с выходным валом редуктора 7.

При работе электродвигателя 8 тяга 12 поворачивает коромысло 10 на определенный угол, который регулируется эксцентрикитетом шайбы 18. В зависимости от угла поворота коромысло перемещает собачки 9 на 0,5; 1; 2; 3; 4 зуба храпового колеса 11. При обратном ходе коромысла собачки поворачивают храповое колесо на угол, который пропорционален количеству захваченных зубьев. Угол поворота храпового колеса через ведущий вал 15, шестерни 1, 16, дебалансный вал 13 и дебаланс 14 преобразуется в линейное перемещение шатуна 20. Таким образом, средняя скорость шатуна 20 пропорциональна эксцентрикитету шайбы 18.

Шатун 20 опорными роликами 5 перемещается по направляющим 6 и с помощью соединительной вилки 4 и клина 3 передает движение штанге механизма выгрузки.

Требуемый эксцентрикитет шайбы 18 устанавливают вращением винта, который перемещает палец 19 в пазах шайбы. При регулировании эксцентрикитета собачки 9 в конце хода коромысла должны переходить за зуб храпового колеса не более чем на 1,5... ... 2 мм. Необходимое положение собачек достигается изменением длины тяги 12. Эксцентрикитет дебаланса 14 изменяют, вращая винт червячной передачи, которой он снабжен. При этом ход шатуна можно изменять в пределах 0...150 мм.

Гидравлический привод (рис. 22) 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, гидробака 13, предохранительного сливного клапана 4, пластинчатого фильтра 5, крана управления 6, двухходового направляющего гидrorаспределителя 17, регулятора потока 15, манометра 16 и соединительных трубопроводов 12. Шток 8 соединен со штангой механизма выгрузки втулками 7 и двумя клиньями с гайками.

Гидропривод работает по принципу жесткой схемы с регулированием подачи масла на сливе с помощью регулятора потока 15. Клапан 4 поддерживает необходимое постоянное давление масла, подаваемого в гидроцилиндр 10, слива в бак 13 избыточное масло, поступающее от гидронасоса 3. Гидrorаспределитель 17 переключается краном управления 6, который в свою очередь

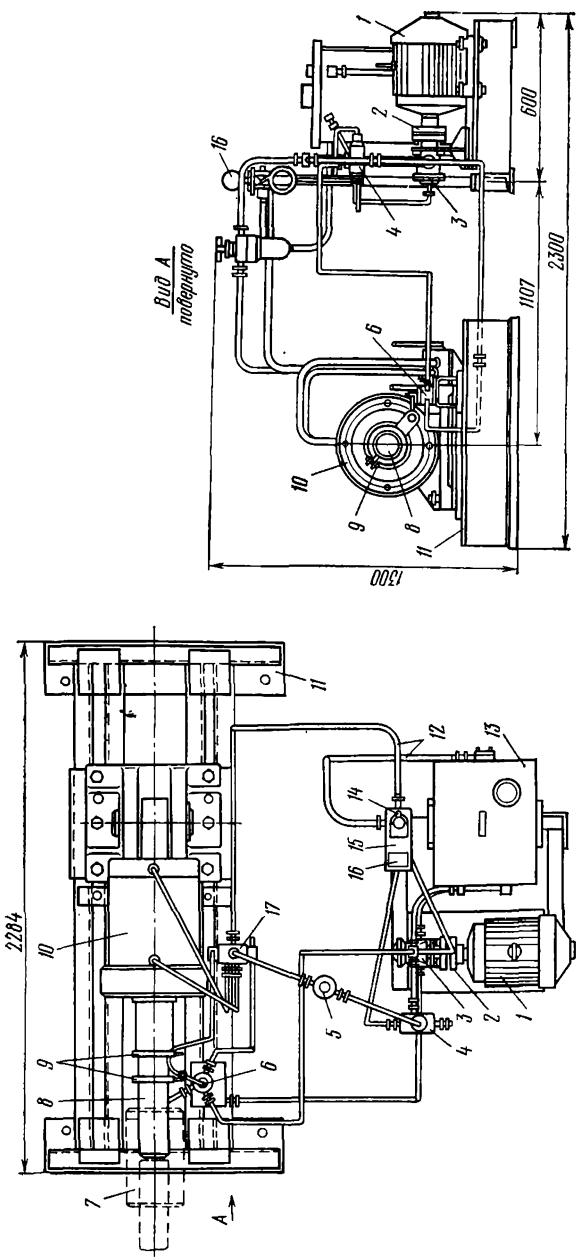


Рис. 22. Гидравлический привод:
 1 — электропривод, 2 — муфта, 3 — втулка, 4 — насос, 5 — клапан, 6 — кран управления, 7 — фильтр, 8 — шток, 9 — хомуты-
 ограничители, 10 — гидроцилиндр, 11 — рама, 12 — бак, 13 — бик, 14 — рычаг дросселя, 15 — регулятор потока, 16 — ма-
 териал, 17 — гидрораспределитель

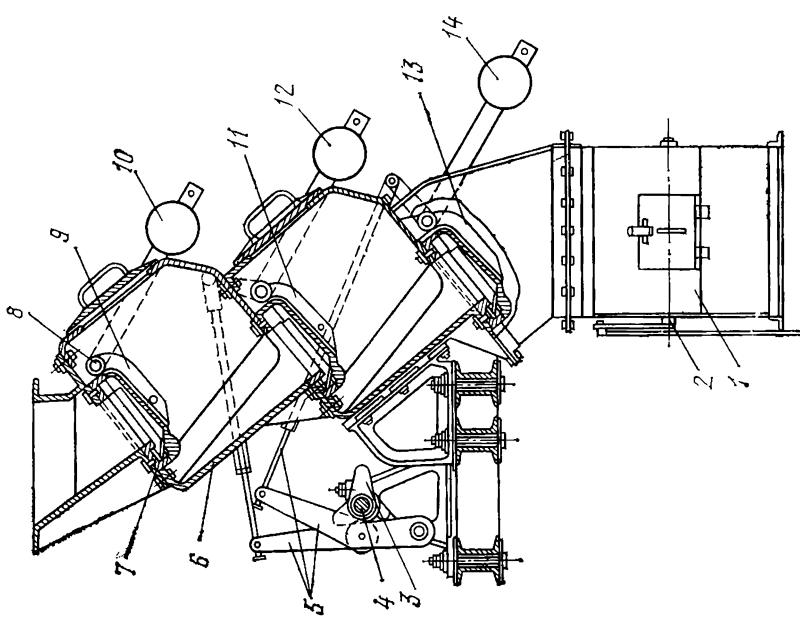
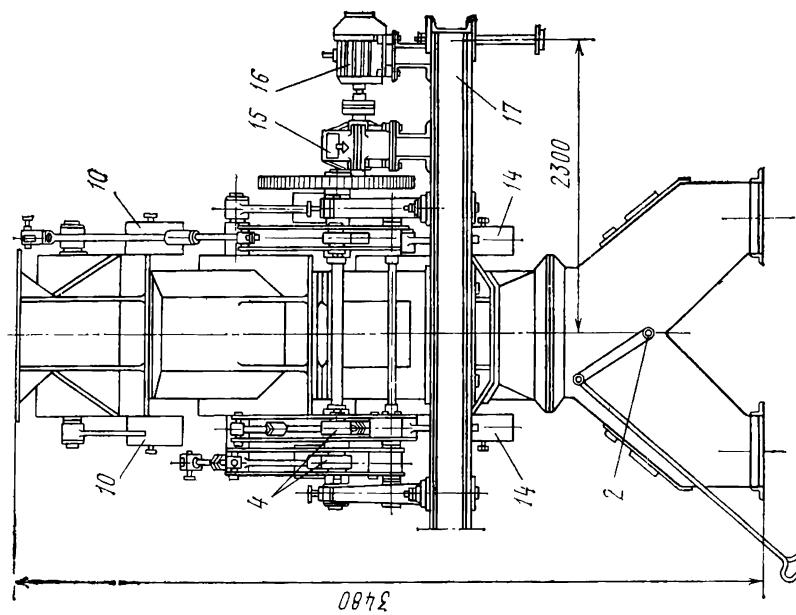


Рис. 23. Шлюзовой затвор:
 1 — тяга, 2 — шнек, 3 — кулачок, 4 — ось, 5 — тяги, 6 — камера, 7 — горловина, 8 — ось клапана, 9, 11, 13 — клапана, 10, 12, 14 — противовесы, 15 — редуктор, 16 — электродвигатель, 17 — рама

переключается штоком 8 в его крайних положениях с помощью хомутов-ограничителей 9.

Средняя скорость движения штока пропорциональна перепаду давления масла на поршне гидроцилиндра. Этот перепад изменяют дросселированием масла на сливном трубопроводе 12 с помощью регулятора потока 15. Таким образом, изменяя положение рычага 14, можно в широком диапазоне плавно изменять среднюю скорость движения штока гидроцилиндра. Ход штока в пределах 0 ... 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 хомутов-ограничителей 9 вдоль штока 8.

Бункер 2 извести (см. рис. 20) представляет собой сваренное из листовой стали емкость в форме пирамиды, широкая часть которой сообщается с механизмом выгрузки, а узкая соединена течкой с трехшлюзовым затвором 1.

Трехшлюзовой затвор (рис. 23) состоит из трех последовательно соединенных камер 6, снабженных клапанами 9, 11, 13 с приводом зажимами. Противовесы 10, 12, 14 плотно прижимают клапаны к горловинам 7 камер, не пропуская известь и воздух в другие камеры. Клапаны последовательно открываются тягами 5, соединенными с кулачками 3 переключающего механизма. Они закреплены на оси 4, получающей вращение от электродвигателя 16 через червячный редуктор 15.

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

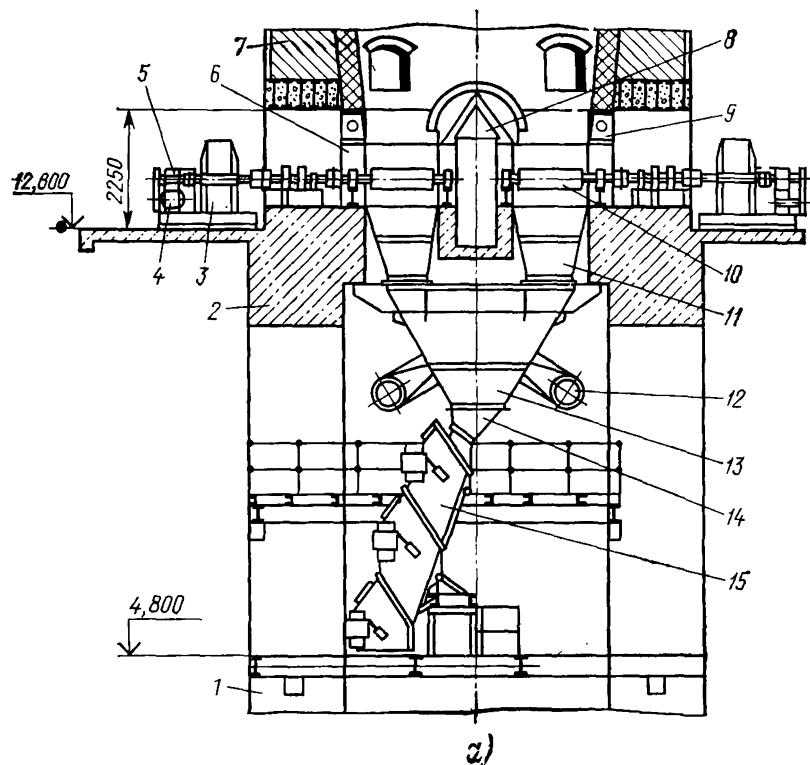
Клапаны затвора могут открываться и закрываться электрическими исполнительными механизмами, а также гидро- или пневмоприводами.

Поворотный шибер 2 направляет поток извести по течке 1 на рабочий или резервный конвейер. Затвор герметизирует нижнюю часть шахты печи при давлении воздуха до 6 кПа. Цикл открывания затворов механизма — 20 ... 40 с и регулируется частотой вращения кулачкового вала. Мощность электродвигателя 1 кВт.

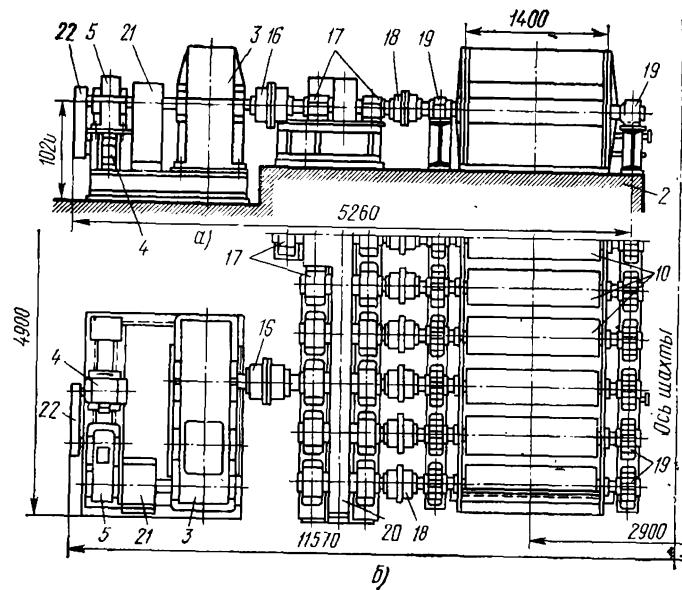
Выгрузочное устройство с врачающимися валками (рис. 24) включает в себя механизм выгрузки с приводом вала, бункер и трехшлюзовой затвор.

Механизм выгрузки с врачающимися валками 10 выполнен в виде двух секций, расположенных по обе стороны от балки-рассекателя 8. Каждая секция состоит из десяти зубчатых валков 10 диаметром 0,4 м и длиной 1,5 м, расстояние между торцами зубьев

Рис. 24. Выгрузочное устройство с врачающимися валками:
а — общий вид, б — механизм выгрузки с приводом (левая секция); 1 — колонна, 2 — фундаментная плита, 3, 5 — редукторы, 4 — электродвигатель, 6 — окно, 7 — шахта, 8 — балка-рассекатель, 9 — балка, 10 — валок, 11, 13 — бункера, 12 — коллектор, 14 — течка, 15 — шлюзовой затвор, 16, 18, 21 — муфты, 17, 19 — подшипники, 20 — шестерни, 22 — клиновременная передача



а)



б)

ев которых равно 60 мм. Зубцы валков выполнены из марганцовистой стали. Оси валков вращаются в подшипниках 19, снабженных водяным охлаждением, оси шестерен 20—в подшипниках 17.

Каждые пять валков работают от самостоятельного привода, состоящего из электродвигателя 4 мощностью 1 кВт, клиноременной передачи 22, двух последовательно соединенных редукторов 5, 3 и муфт 21, 16, 18. Вращение ведущего валка через шестерни 20 передается остальным четырем, причем в секции каждая пара валков вращается навстречу одна другой с частотой, которая регулируется в пределах 0...0,135 об/мин. Максимальной частоте вращения валков соответствует производительность механизма 675 т извести в сутки. Механизм выгрузки оборудован системой централизованной смазки.

Под опорными балками 9 предусмотрены окна 6, через которые оси валков выведены наружу печи. Окна заложены кирпичом. Для удобства обслуживания отдельных сборочных единиц механизма под балкой-рассекателем 8 устроен коридор.

Воздух нагнетается в печь вентилятором через коллектор 12. Механизм выгрузки герметизируют трехшлюзовым затвором 15.

Механизм выгрузки с вращающимися валками надежен в работе. Благодаря раздельному регулированию частоты вращения валков каждой секции механизма материал равномерно отбирается по поперечному сечению печи. Вращающиеся зубчатые валки легко дробят как крупные куски извести, так и комья сваров.

§ 22. Устройство и работа шахтных пересыпных печей

В шахтных печах, работающих на твердом топливе пересыпным способом, в нашей стране выпускается более половины общего количества извести.

Таблица 2. Показатели шахтных пересыпных печей конструкции Союзгипрострома

Показатели	Производительность, т/сут			
	50	100	200	450
Высота печи, м:				
рабочая	18,2	17,0	19	24
строительная	27,2	30,0	34,6	45
Внутренний диаметр шахты, м	2,5	3,2	4,3	6,13
Полезный объем шахты, м ³	89	127	265	666
Съем извести:				
с 1 м ² поперечного сечения, т/м ² в сутки	10,2	12,5	13,8	15,2
с 1 м ³ полезного объема, т/м ³ в сутки	0,56	0,785	0,75	0,676
Расход условного топлива, кг/т	133	152,5	133	129
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	16	15	13	10
Температура, °С:				
отходящих газов	120	145	120	110
выгружаемой извести	80	80	80	80

Шахтные печи конструкции Союзгипростроя отличаются значительной рабочей высотой шахты 17...24 м и достаточной теплоизоляцией корпуса, что обеспечивает высокую экономичность процесса обжига (табл. 2).

Умеренный съем извести в сутки с единицы поперечного сечения (1 м^2) зоны обжига и единицы полезного объема (1 м^3) шахты позволяет организовать средний обжиг с минимальным содержанием пережженной извести и высоким (80...85%) содержанием активных оксидов кальция и магния, обеспечивает необходимую длину зоны подогрева, низкую температуру отходящих газов и, следовательно, относительно небольшой удельный расход топлива на обжиг.

Шахтные пересыпные печи производительностью 100 и 200 т извести в сутки показаны на рис. 25. Шахта в зонах обжига и подогрева имеет в свету круглое поперечное сечение, которое в зоне охлаждения, постепенно уменьшаясь, переходит в квадратное.

Кладка шахты в зоне обжига состоит из футеровки 2 (слой хромомагнезитового кирпича ХМЗ-1 толщиной 345 мм), слоя 3 шамотно-каолинового легковесного кирпича ШКЛ-1,3 толщиной 345 мм и слоя 4 теплоизоляционной засыпки керамзитовым гравием фракций 5...10 или 10...20 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 заменять футеровку зоны обжига при ремонте печи, не нарушая футеровки зоны подогрева, срок службы которой больше.

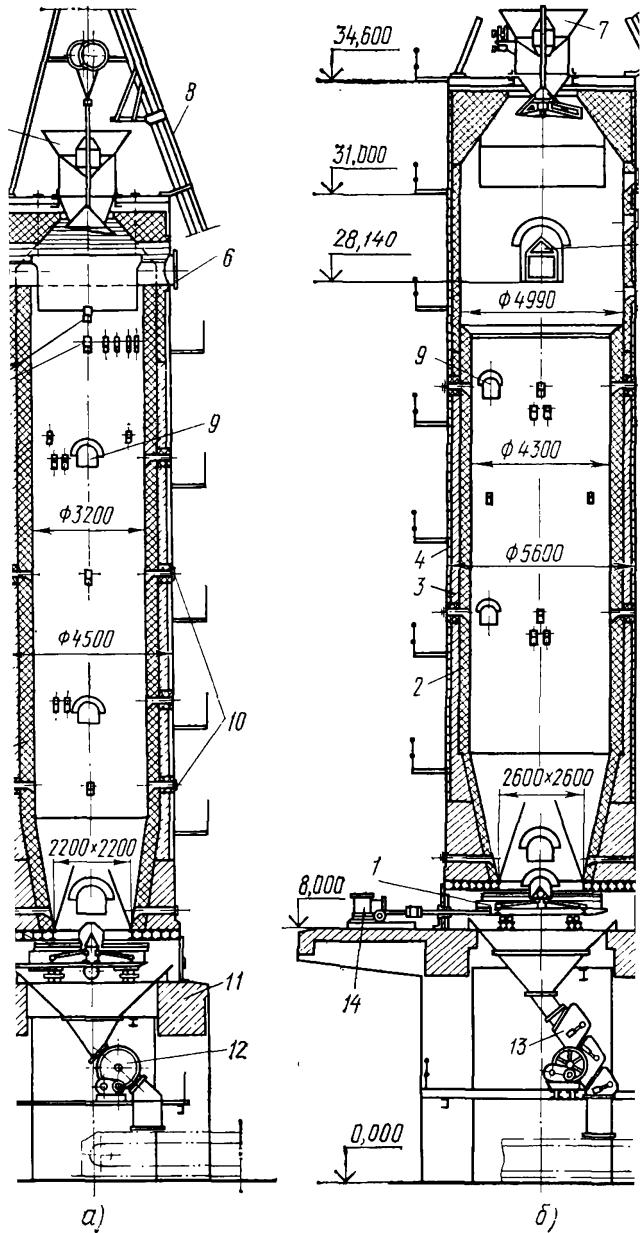
В корпусе шахты печей предусмотрено по высоте три люка 9 для загрузки печи материалами в период ее подготовки к пуску и во время ремонта. В верхней части шахты выполнены отверстия 5 для установки измерительных преобразователей КИП. В зоне обжига шахты предусмотрены два ряда гляделок 10 для контроля режима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

Сыре и топливо загружают в печь с помощью скрапового подъемника 8 и автоматического дозатора. Загрузка материалов в печь полностью автоматизирована и производится по сигналу уровнемера шихты, что позволяет поддерживать уровень шихты в заданных пределах. Механизмы загрузки 7 печей — двухклапанные с поворотной чашей.

Из печи производительностью 100 т/сут газы отсасываются с двух сторон шахты через патрубки 6, из печи производительностью 200 т/сут — через металлический короб 15, сообщающийся с шахтой нижней частью. Короб находится постоянно под слоем известняка, что значительно снижает подсос холодного воздуха в печь через механизм загрузки.

На печах предусмотрена очистка отходящих газов от пыли с помощью шести циклонов НИИОГАЗ типа ЦН-15.

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



пересыпные печи конструкции Союзгипрострому прои:
тельностью 100 т/сут (а) и 200 т/сут (б):
1 — футеровка, 2 — слой легковесного кирпича, 4 — слой тег-
5 — отверстия, 6 — патрубок, 7 — механизм загрузки, 8 — подъ-
ни, 11 — фундаментная плита, 12, 13 — затворы, 14 — привод, 15-

Известь выгружается механизмом выгрузки 1 с приводом 14. Герметизация нижней части печи производительностью 100 т/сут осуществляется барабанным затвором 12, у печи производительностью 200 т/сут — трехшлюзовым затвором 13. Воздух под решетку нагнетается вентилятором ВВД-8у (для печи производительностью 100 т/сут) и ВВД-10 (200 т/сут).

Печи конструкции Союзгипростроя производительностью 100 т/сут комплектуют также механизмом загрузки с поворотным двускатным лотком (см. рис. 18), дымососом ДН-12,5 ($Q=18$ тыс. м³/ч, $H=4,2$ кПа, $N=75$ кВт). Вместо барабанного затвора устанавливают качающийся питатель КТ-5, который автоматически поддерживает необходимый для герметизации низа печи уровень извести в бункере извести.

Шахтная пересыпная печь конструкции Союзгипростроя производительностью 450 т/сут (рис. 26) представляет собой цилиндрическую шахту, установленную на железобетонной плите 3, которая четырьмя колоннами 2 опирается на фундамент. В зонах обжига 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 из периклазохромитового кирпича ПХСОТ толщиной 380 мм, а в верхней части зоны подогрева и зоне охлаждения — шамотного доменного кирпича ШУД-37 толщиной 345 мм. Цокольная часть 4 шахты выложена из шамотного кирпича общего назначения. Телловая изоляция шахты состоит из слоя 6 шамотного кирпича 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 теплоты отходящих газов и низкий удельный расход условного топлива (129 кг на 1 т извести).

Печь загружают известняком и коксом с помощью автоматического ленточного дозатора, скиповых подъемников 13 и двухклавишного механизма загрузки 14 с распределительным лотком 26.

Подъемник 13 оборудован двумя ковшами вместимостью 3 м³ каждый, которые перемещаются 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, уменьшив 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.

Новое в конструкции механизма загрузки печи — 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. 27) укреплена на опорной конструкции (плите) 3 крюками 2.

Известь равномерно отбирается по поперечному сечению шахты и выдается на пластинчатые конвейеры выгрузочным устройством с врачающимися валками 15 (см. рис. 26).

В шлюзовом затворе 1 вместо рычажно-кулачкового механизма для открывания клапанов использованы 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 6,5 кПа. Отходящие газы удаляются из печи через два патрубка 10 и после мокрой очистки от твердых примесей направляются компрессором в технологический цех для использования содержащейся

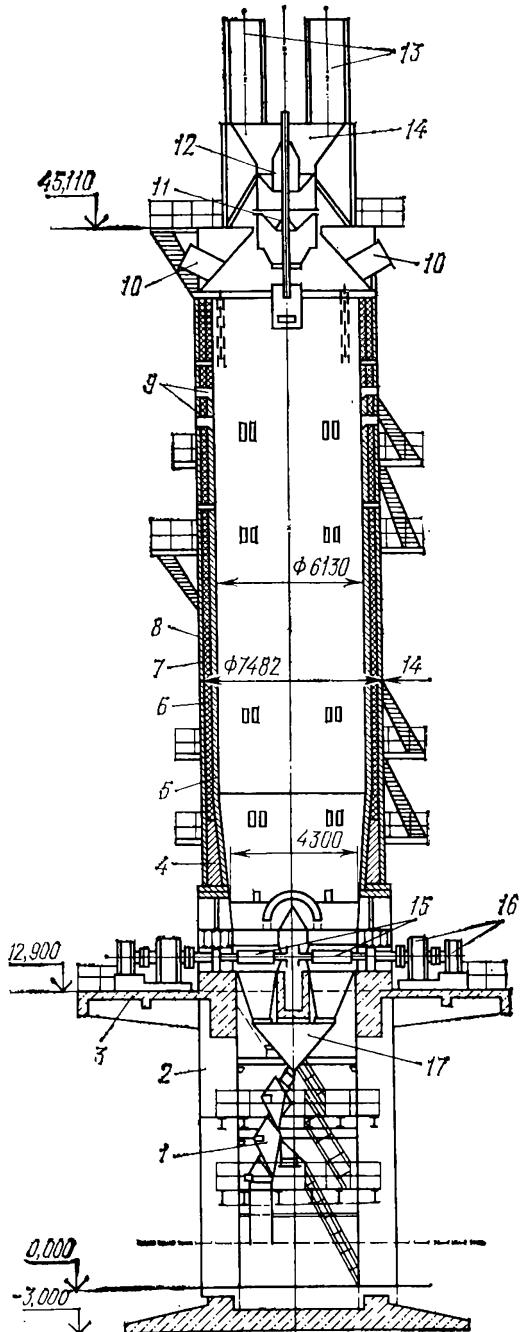
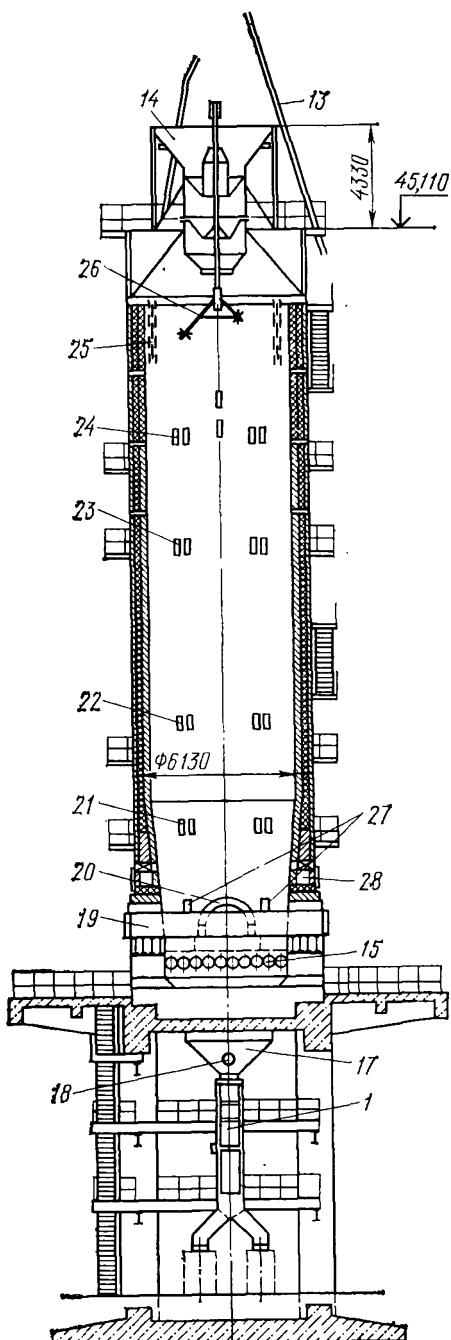


Рис. 26. Шахтная пересыпная печь конструкции 1 — затвор, 2 — колонна, 3 — фундаментная плита, 4 — мотного кирпича, 7 — слой теплоизоляционной засыпки, шихты, 10, 18 — патрубки, 11 — конус, 12 — колокол, 14 — привод валков, 17 — бункер извести, 19 — балка-отверстия для установки измерительных преобразователей



Союзгипрострома производительностью 450 т/сут:
цокольная часть шахты, 5 — футеровка, 6 — слой шахты,
8 — кожух, 9 — отверстия для преобразователей уровня,
13 — подъемник, 14 — механизм загрузки, 15 — валки,
рассекатель, 20, 28 — люки, 21 — гляделка, 22—24, 27 —
лай КИП, 25 — цепная завеса, 26 — лоток

в них углекислоты.

В корпусе шахты предусмотрены люки 20, 28, отверстия 9 для установки преобразователей радиоактивного указателя уровня материала в шахте, гляделки и отверстия 22—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 шахты, система дистанционного управления оборудованием и механизмами печи, автоматическая аппаратура для измерения температуры, давления и состава печных газов.

§ 23. Эксплуатация шахтных пересыпных печей

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

Сушка кладки печи. Общий срок сушки кладки печи состоит из трех периодов: периода

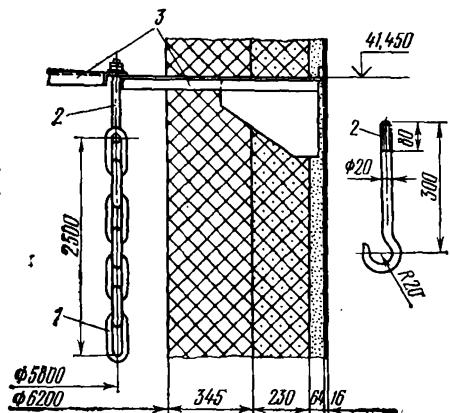


Рис. 27. Цепная завеса:
1 — цепь, 2 — крюк, 3 — опорная конструкция

Температуру дымовых газов в шахте на уровне первого ряда гляделок поддерживают 50 ... 90°C.

Второй период сушки — той же продолжительности. Температуру нагревающих газов поддерживают 120 ... 160°C. Для этого сушку ведут при закрытом механизме загрузки и открытой дымовой трубе. Подачу воздуха ограничивают, частично прикрывая люки механизма выгрузки.

В третьем периоде частично прикрывают шибер дымовой трубы и температуру на уровне первого ряда гляделок постепенно повышают до 500°C. После этого сушку кладки считают законченной и приступают к постепенному охлаждению печи.

На время ее охлаждения закрывают люки механизма выгрузки, гляделки и шибер дымовой трубы. Первые сутки печь охлаждается за счет потерь теплоты в окружающую среду и подсоса холодного воздуха через неплотности гляделок, люков. На вторые сутки шибер и гляделки слегка приоткрывают и печь доводят до полного охлаждения. Резкое охлаждение печи из-за возможного повреждения футеровки не допускается. Поэтому в период охлаждения нельзя продувать печь вентилятором или дымососом.

Пуск печи. Перед розжигом и пуском печи после монтажа, ремонта или длительной остановки начальник цеха, механик, сменный мастер и обжигальщик тщательно осматривают и проверяют футеровку печи, а также оборудование всей технологической линии от склада сырья и топлива до склада извести. Проверяют дымосос и вентилятор печи, загрузочные и выгрузочные устройства, осматривают электроаппаратуру и контрольно-измерительные приборы; проверяют запас сырья и топлива, а также материалы, необходимые для розжига печи.

При осмотре скипового подъемника проверяют лебедку, ее крепление к фундаменту, электромагнитный тормоз и аварийный выключатель при ослаблении каната, количество и качество масла в редукторе. Канат должен быть без оборванных проволок,

вентиляции печи, предварительного подогрева и окончательной сушки.

Первый период длится 1 ... 2 сут. Закладывают известняком из балку-рассекатель, решетку механизма выгрузки, открывают полностью загрузочное устройство и дымовую трубу и на защитном слое раскладывают костер из дров. Для этого выбирают крупные, не очень сухие поленья. После розжига костра поддерживают его умеренное горение, впуская в печь воздух через открытые люки механизма выгрузки.

смазан, правильно уложен в канавках блоков и на барабане лебедки. Ковш очищают от материала, проверяют его катки и оси, крепление каната к ковшу. Направляющие балки подъемника должны быть без повреждений, а сетки ограждений — без разрывов.

В механизме загрузки колокола должны быть исправны и плотно прилегать к выпускным отверстиям. Редуктор привода поворотного лотка должен быть заполнен смазочным материалом. В механизме выгрузки с движущейся решеткой не должно быть повреждений каретки, прогоревших колосников решетки. Решетку очищают от застрявшего материала, разбивая при этом свары материала металлической штангой.

Электромеханический привод должен быть надежно прикреплен к раме, а рама — к фундаменту. В редуктор, масленки валов и дебаланса заливают смазочный материал. Зубья у шестерен должны быть без поломок.

При осмотре гидравлического привода обращают внимание на состояние сальниковых уплотнений, надежность крепления хомутов-ограничителей на штоке. В гидросистеме не должно быть течи масла. Гидронасос и гидросистему проверяют пробным пуском в работу. Исправный насос работает без стука. Места сочленения с механизмом выгрузки должны быть герметичны. В бункере извести не должно быть материала.

В шлюзовом затворе проверяют поворотный шибер. В редукторе и на поверхностях трения должен быть смазочный материал.

При осмотре выгрузочного устройства с вращающимися валками проверяют механизм выгрузки и его привод, герметичность люков и места сочленения механизмов. Зубчатые валки, их подшипники, зубчатые передачи в каждой секции механизма выгрузки, клиноременная передача привода должны быть исправны. В подшипники централизованной смазочной системы механизма выгрузки заливают смазочный материал.

Рабочие места оборудуют противопожарными средствами, аптечкой и средствами 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 механизм выгрузки, а затем дровами. Перед этим закрывают люки механизма выгрузки и удаляют от них людей. Далее поверх кусков извести выкладывают в клетку 5 ... 10 м³ сухих поленьев размером около 1 м. В середину клетки закладывают изготовленный из ветоши фитиль. Его конец выводят наружу через гляделку. Поленья дров выкладывает рабочий, находящийся в шахте печи. Он работает под наблюдением рабочего, находящегося у вспомогательного загрузочного люка. Дрова загружают в печь небольшими порциями (15 ... 20 поленьев).

Уложенные дрова пропитывают керосином, нефтью или мазутом, которые подают в ведрах через вспомогательный люк и равномерно выливают по всей поверхности загруженных дров так, чтобы пропитать им все поленья и фитиль. Пропитывать дрова по мере выкладки в шахте недопустимо, так как при этом образуются ядовитые взрывоопасные пары и работать в шахте опасно.

Окончив пропитку дров, заделывают оgneупорным кирпичом 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 включают дымосос. Затем проверяют разрежение печи, которое на уровне нижних гляделок должно составлять 50 ... 70 Па. Воздух поступает в шахту через открытые люки механизма выгрузки печи. Если печь не оснащена дымососом, то необходимое разрежение создается дымовой трубой.

Розжиг печи выполняют с помощью фитиля. При этом следят за тем, как горят дрова и загорается твердое топливо. По мере горения дров шихта в печи оседает и необходимый уровень поддерживают новыми порциями известняка и топлива в соотношении, установленном для 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 °C.

Вывод печи на рабочий режим начинается с пуска вентилятора. Через 18 ... 20 ч после начала розжига делают кратковременную пробную выгрузку материалов из печи. Одновременно продолжают наблюдение за работой печи по показаниям приборов расхода воздуха, разрежения (давления) в печи, температуры отходящих газов, температуры выгружаемой извести, содержания в отходящих газах CO₂, CO и O₂. В печах малой мощности и при отсутствии необходимых приборов за работой печи наблюдают визуально через гляделки.

Спустя 30 ... 36 ч после растопки через нижние гляделки должно быть видно ясное светлое пламя без темных пятен. Это означает, что известь равномерно обожжена по всему поперечному сечению.

После этого приступают к пуску выгрузочного устройства печи. Так как шлюзовой затвор нормально работает при незаполненном известью бункере, то вначале включают в работу шлюзовой затвор, а затем на малую скорость механизм выгрузки. Если число темных пятен в нижнем ряду гляделок резко возрастает, то выгрузку извести временно приостанавливают. Первые порции полученной извести содержат большое количество недожога и поэтому их можно возвратить в печь для повторного обжига.

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

Обжиг известняка. Чтобы при обжиге известняка получить известь заданных свойств и качества в печи устанавливают определенный тепловой режим.

Организация теплового режима. Выделение необходимого для разложения известняка количества теплоты происходит при горении твердого топлива. Шихта содержит 6,5 ... 10,5% топлива. Процесс горения слоя топлива, смешанного с сырьем, 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 выше 200°C из антрацита выделяются водород, метан и летучая сера (летучие вещества). Они наиболее интенсивно выделяются в интервале температур 500 ... 700°C, т. е. в зоне подогрева печи, где кислорода недостаточно для их полного сжигания. Несгоревшие летучие вещества составляют химический недожог твердого топлива. Ввиду высокой теплоты сгорания метана и водорода потеря теплоты с летучими веществами, т. е. химический недожог топлива, при использовании антрацита достигает 8,5% от теплоты полного сгорания антрацита.

Первостепенное значение имеет правильная организация в печи 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°C, а при 127 кг составляет всего 1000°C. Чтобы предотвратить пережог извести, максимальная температура в печи не должна превышать 1200°C. 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 — 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°C зависит от скорости подведения кислорода к топливу, т. е. для данной фракции сырья от давления поступающего воздуха.

При температуре выше 1100°C 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 размера кусков сырья.

По мере выгорания топлива его куски уменьшаются и поэтому часть из них, проваливаясь между комьями извести, выпадает из шахты и не сгорает полностью. Потери от механического недожога минимальны при соотношении размера кусков сырья и топлива 1:1.

Аэродинамический режим шахтной печи. Аэродинамическое сопротивление шахты, т. е. потери напора газов, которые возникают при их движении через заполненную кусковыми материалами шахту, зависит от фракционного состава шихты и скорости 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, 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 40 мм. При этом общее сопротивление шихты составляет 2000...2500 Па. Мелкие фракции известняка в шихте резко увеличивают сопротивление 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 шихты, заполненной материалом, всегда выше в центре, чем на периферии. 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 применяют несовершенные механизмы загрузки (без поворотной чаши и распределительных устройств).

Равномерность движения газов в шахте улучшают путем подачи части воздуха (20...40%) под давлением 5...6 кПа в центральную часть зоны охлаждения печи через дутьевой конус механизма выгрузки.

Зоны шахтной печи и их характеристики. Схема шахтной пересыпной печи с расположением зон и распределением в печи состава и температуры газов изображена на рис. 28.

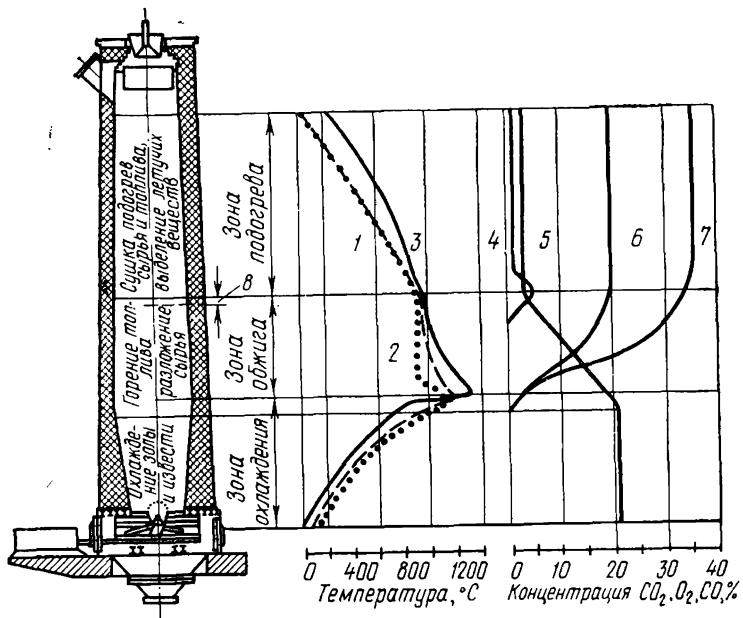


Рис. 28. Расположение зон в шахтной печи, работающей на твердом короткопламенном топливе, распределение по ним температуры материала и газов, состав газообразных продуктов:

1—3 — кривые температуры поверхности кусков сырья, центра кусков (пунктирная), газов, 4—7 — кривые содержания в газах CO, O₂, CO₂ в результате горения топлива, суммарного CO₂, 8 — зона восстановления CO

Зона подогрева печи расположена в верхней части шахты и занимает 55...65% ее полезной высоты. В этой зоне куски твердого топлива и известняка, опускаясь, встречаются с горячими газообразными продуктами обжига и нагреваются ими в конце зоны до температуры 850...900°C (кривая 1). Газы выходят из зоны обжига с температурой 900...950°C и, проходя снизу вверх зону подогрева, охлаждаются до температуры 110...150°C (кривая 3).

В начале зоны подогрева происходят сушка и нагрев шихты, а в конце при температуре 700...800°C завершается процесс газификации топлива с выделением летучих веществ. Чтобы топливо не воспламенялось в зоне подогрева, выходящие из зоны обжига газы должны содержать менее 2% кислорода (кривая 5).

В температурном интервале 700...900°C полностью разлагается содержащийся в известняке углекислый магний и происходит частичное разложение поверхностных слоев углекислого кальция. Выходящие из зоны подогрева газы при правильной организации процесса обжига содержат 36...42% углекислого газа CO₂, 1...3% кислорода O₂ и 0,5...2% оксида 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 основ-

ное количество топлива, развивается максимальная температура его горения и в результате разложения CaCO_3 происходит интенсивное выделение CO_2 (кривая 7).

Температура поверхности кусков известняка (кривая 1) повышается от $850\ldots 900^\circ\text{C}$ в начале зоны обжига до $1100\ldots 1150^\circ\text{C}$ в конце, что необходимо для полного разложения кусков CaCO_3 . Максимум температуры газов (кривая 3) совпадает с границей конца зоны обжига и начала зоны охлаждения, так как в этом месте теплота горения топлива расходуется в основном на подогрев воздуха. Зона горения топлива распространяется, несколько ниже зоны обжига и занимает часть зоны охлаждения извести. Чтобы топливо равномерно выгорало по высоте зоны обжига, воздух должен поступать в количестве, соответствующем коэффициенту избытка воздуха $\alpha=1,05\ldots 1,2$.

При горении углерода топлива помимо CO_2 образуется значительное количество оксида углерода CO . Этому процессу способствует соприкосновение CO_2 с раскаленной поверхностью углерода топлива (твердого остатка). Такие условия создаются в верхней части зоны обжига, где кислорода недостаточно (зона восстановления 8), при неравномерном распределении топлива в слое шихты и повышенном удельном его расходе.

Разбавление слоя топлива инертным материалом способствует дожиганию оксида углерода. Однако процесс сжигания CO никогда не происходит полностью и ухудшается с увеличением содержания в шихте мелочи, которая забивает промежутки между кусками и тем самым препятствует перемешиванию газов.

Зона охлаждения расположена в нижней части печи и занимает $25\ldots 30\%$ ее полезной высоты. В зоне охлаждения куски извести отдают теплоту перемещающемуся навстречу холодному воздуху.

Так как физическая теплота извести достаточна для подогрева воздуха лишь до температуры $600\ldots 700^\circ\text{C}$ (по тепловому балансу), то дальнейший ее подогрев до температуры $1000\ldots 1100^\circ\text{C}$ осуществляется за счет теплоты догорающего топлива. Чтобы воздух поступал в зону обжига с температурой $1000\ldots 1100^\circ\text{C}$, зона горения топлива должна кончаться несколько ниже зоны обжига. Оставшиеся после сжигания топлива зола и известь опускаются к механизму выгрузки, охлаждаясь до температуры $40\ldots 100^\circ\text{C}$ встречным потоком воздуха.

Регулирование процесса обжига. Основные показатели работы печи: производительность по извести, удельный расход топлива и сырья. На эти показатели влияют параметры процесса обжига, важнейшими из которых являются температура обжига, температура отходящих газов, температура выгружаемой извести, скорость и давление (разрежение) газов, их химический состав, химический и минералогический состав известняка.

Заданные параметры процесса обжига поддерживает либо сам обжигальщик, либо они регулируются автоматическими устройствами, которые изменяют соотношение топливо — сырье, фракции-

онный 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, которая для шахтных печей составляет 85...95%.

Сырье и топливо загружают в ковш скрапового подъемника автоматическим весовым дозатором. Первоначальную массу сырья и топлива устанавливают на основании проектных данных печи и теплоты сгорания применяемого топлива.

Если на склад поступает антрацит худшего качества (выше зольность и влажность и ниже теплота сгорания), то делают пересчет дозы, так как для поддержания в печи необходимой температуры расходуют большее количество топлива.

Фракционный состав топлива и известняка. Состав топлива и известняка оказывает большое влияние на температуру обжига в печи и на степень сгорания топлива, т. е. на его удельный расход. Наилучшим считается такое соотношение размеров топлива и известняка, когда применяются идентичные фракции, например, известняк фракции 120...80 мм и антрацит АК фракции 100...50 мм. Удовлетворительные результаты получаются, если размер кусков антрацита не более чем вдвое меньше кусков известняка. Например, допускается применять антрацит сорта АО фракции 50...25 мм и нельзя использовать сортов АМ фракции 25...13 мм, АС фракции 13...6 мм.

Применение для обжига в шахтных пересыпных печах каменных углей с размером кусков меньше 25 мм сопровождается перерасходом топлива на 1 т выпускаемой извести, снижением производительности печи и ухудшением качества извести.

Отрицательно влияет на процесс обжига неодинаковый фракционный состав известняка. Удовлетворительные результаты получают при обжиге известняка фракций, в которых размеры мелких кусков 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.

Если в ходе работы печи количество вводимого в нее топлива изменилось, то соответственно изменяют количество вдуваемого воздуха с помощью регулирующей заслонки, установленной на трубопроводе.

Скорость выгрузки извести. Скорость выгрузки извести из печи можно изменять в широких пределах (1:10), что является важным регулирующим фактором при ведении процесса обжига.

Скорость выгрузки непосредственно связана с производительностью печи и поэтому использовать это регулирующее средство

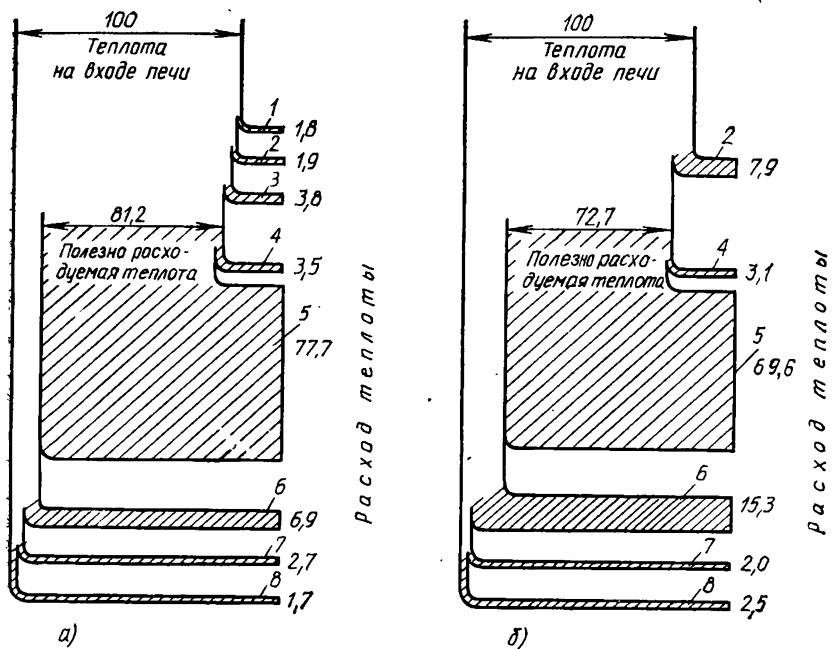


Рис. 29. Диаграммы теплового баланса шахтных печей (показатели в %):
 а — пересыпной, б — работающей на газообразном или жидким топливе; 1 — потери теплоты с летучими веществами, 2 — же, с химическим недожогом топлива, 3 — же, с механическим недожогом топлива, 4 — расход теплоты на испарение влаги материала, 5 — расход теплоты на диссоциацию CaCO_3 и MgCO_3 , 6 — потери теплоты с отходящими газами, 7 — же, в окружающую среду, 8 — же, с известью и золой топлива

можно не более 15 мин, равномерно выгружая известь. При продолжительном изменении скорости выгрузки извести необходимо привести в соответствие с новой производительностью количество вводимого в печь топлива и воздуха.

Тепловой КПД печи. На рис. 29,а изображена диаграмма теплового баланса шахтной пересыпной печи, работающей на коксе фракции 15...60 мм. В качестве сырья использован известняк фракции 40...80 мм. Расход условного топлива на обжиг — 132 кг на 1 т извести. Содержание активных $\text{CaO} + \text{MgO}$ в извести — 85...90%. Из диаграммы следует, что тепловой КПД данной печи η_a , или полезно расходуемая в ней теплота, составляет 81,2%. Потери теплоты с отходящими газами — 6,9%, что свидетельствует о хорошо отрегулированном соотношении топливо — воздух и достаточной протяженности зоны подогрева. В плохо отрегулированной печи потери теплоты с отходящими газами — 10...12%, расход условного топлива при этом увеличивается до 160 кг на 1 т извести и тепловой КПД снижается до 70...72%.

Отклонения от заданного режима обжига и способы их устранения. Отклонения в соотношении расхода топлива и сырья, расхода топлива и воздуха и другие нарушения режима обжига вы-

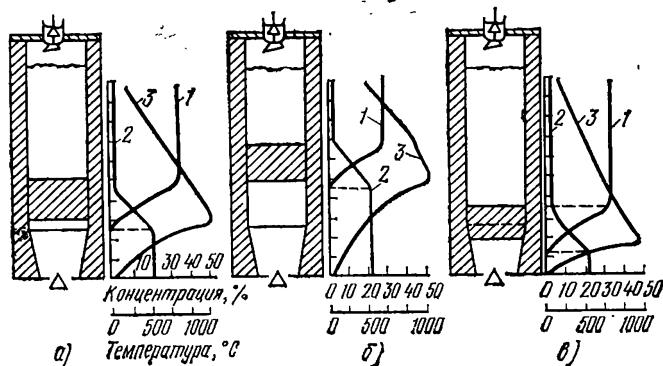


Рис. 30. Влияние расположения зоны обжига на температуру и состав газов в печи:

a — нормальное расположение зоны обжига, *b* — зона обжига смещена вверх, *c* — то же, вниз; 1, 2 — концентрация CO_2 и O_2 , 3 — температура газов

зывают смещение зоны обжига по высоте шахты, что сопровождается изменением температуры отходящих газов и выгружаемой извести, а также концентрации CO_2 и O_2 в отходящих газах. На рис. 30 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 газов, то снижение температуры в зоне обжига связано с перемещением вверх этой зоны. Она может переместиться вверх в результате применения слишком мелких кусков топлива. Для возвращения зоны обжига в нормальное положение временно увеличивают скорость выгрузки извести и догружают печь известняком без топлива. После этого в печь подают топливо нужного размера.

Если температура извести в верхних гляделках снизилась, то причиной является несоответствие соотношения топливо — сырье. Проверяют дозирование топлива и его качество; при необходимости увеличивают дозу топлива, подаваемого в ковш. Если топлива достаточно, то проверяют скорость выгрузки извести. Скорость выгрузки постепенно снижают.

Резко возросла температура в зоне обжига (ослепительно белый накал извести). Прежде всего снижают подачу в печь холодного воздуха, а затем выясняют причины повышения температуры. Проверяют скорость выгрузки извести, повышая ее. Если при этом с известью начинают выгружаться частично несгоревшие куски топлива, то выгрузку сокращают до прежней величины и проверяют дозировку топлива и его качество.

Значительно возросла температура выгружаемой извести. В выгружаемой извести содержатся куски частично несгоревшего топлива. Это говорит о том, что зона обжига опустилась слишком низко. Если температура в зоне снизилась, то проверяют количество вдуваемого в печь воздуха и увеличивают его до требуемого значения. При нормальной температуре в зоне обжига причиной может служить слишком большой размер кусков топлива. Проверяют фракционный состав и дозировку топлива.

Чтобы восстановить положение зоны обжига, временно снижают скорость выгрузки извести и увеличивают количество вдуваемого в печь воздуха. После этого устраняют причину смещения зоны обжига и выгружают известь с нормальной скоростью.

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 регулировать 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 регулируют загрузочное устройство, во втором — механизм выгрузки.

Спекание материала в шахте. При невнимательном обслуживании печи в зоне обжига может развиться температура выше 1300°C, которая приводит к спеканию и зависанию материала в шахте. Спекшаяся масса извести и кусков полусгоревшего топлива создает в шахте своды, препятствующие прохождению известняка. При движении материалов в шахте под сводами образуются пустоты. Все это может произойти и при нормальной температуре обжига, если в печь попадает сырье с большим содержанием глинистых примесей.

Обрушающиеся своды больших размеров могут повредить футеровку печи.

Слабо спекшиеся массы ликвидируют резким увеличением скорости выгрузки извести. Если своды не разрушаются, то их разбивают штангами через отверстия гляделок. При этом прекращают выгрузку извести. Если эти меры оказываются недостаточными, то в течение 1...2 сут охлаждают шахту, 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. Это явление сопровождается ярко-белым накалом извести в месте привара и может быть своевременно обнаружено. Привары

делок.

Остановка шахтной пересыпной печи. 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°C временно выключают дымосос, оставив вентилятор в работе до полной выгрузки материала из печи. После этого останавливают выгрузочное устройство и вентилятор. Печь остывает при работающем дымососе 1...2 сут. При снижении температуры в шахте печи ниже 50°C приступают к ее осмотру.

§ 24. Устройство и работа шахтных печей на газообразном топливе

Применение в шахтных печах природного газа повышает качество извести за счет уменьшения ее пережога, улучшает условия труда обслуживающего персонала и снижает себестоимость извести.

Шахтная печь конструкции ВНИИстрома производительностью 100 т/сут (рис. 31) предназначена для работы на газообразном топливе.

Печь включает в себя склоновое загрузочное устройство с подъемником 5, двухклапанным механизмом загрузки 4 с распределительным лотком, шахту с кладкой 8, установленную на железобетонной плите 11, и выгрузочное устройство с механизмом выгрузки 10. Рабочая высота шахты — 18 м.

Шахта в зонах подогрева и обжига имеет круглое поперечное сечение диаметром в свету 3,2 м, которое в зоне охлаждения постепенно переходит в квадратное размером 2,2×2,2 м на уровне выгрузочного отверстия. Слой футеровки толщиной 345 мм сложен из шамотного кирпича ШУД-37, теплоизоляция — из легковесного кирпича ШЛБ-1,3 слоем толщиной 230 мм и слоя засыпки молотым трепелом толщиной 65 мм.

Газообразное топливо по трубопроводу 9 вводят в шахту в два яруса с помощью консольных фирменных горелок 1, 2 типа ГФИ.

Консольную фирмennую горелку типа ГФИ конструкции ВНИИстрома (рис. 32) выполняют в двух вариантах: вариант I — для установки в пределах зоны обжига печи, вариант II — в зоне охлаждения печи. Состоит горелка из монтажной фурмы 6, в которую вставлена защитная фурма 7. К фланцу фурмы 6 на болтах 1 прикреплена коробка 4, снабженная смотровым лючком 3 и патрубком 5 сшибером 10. Внутри фурмы 7 на опорных креплениях 8 расположена труба 2. Для герметизации коробки в месте ввода трубы 2 предусмотрено уплотнение 11 (в варианте II). Фурму 6 сваривают из углеродистой стали толщиной 20 мм. По длине фурма должна доходить до футеровки 9. Фурму 7 отливают из жаропрочной стали. В варианте I фурма открыта снизу, в варианте II — имеет форму полой призмы. Заглубление защитной фурмы в слой материала зависит от расположения и количества

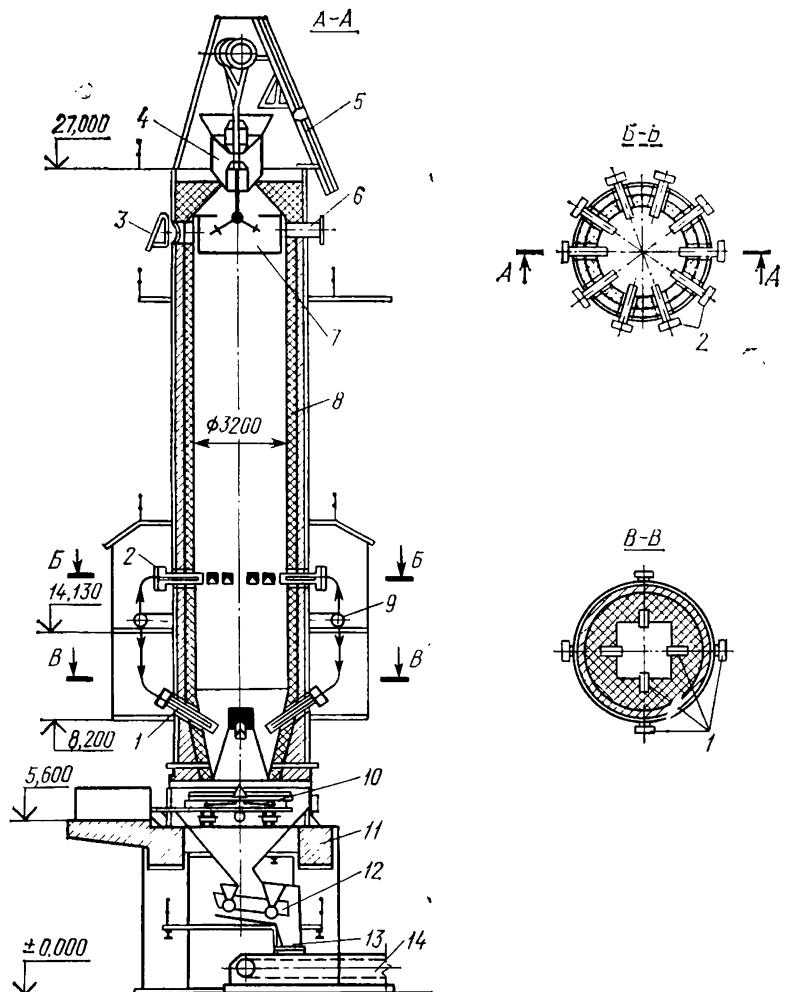


Рис. 31. Шахтная печь конструкции ВНИИстрома, работающая на газообразном топливе, производительностью 100 т/сут:

1, 2 — горелки, 3 — клапан, 4 — механизм загрузки, 5 — подъемник, 6 — патрубок, 7 — обечайка, 8 — кладка, 9 — трубопровод, 10 — механизм выгрузки, 11 — плита, 12 — питатель, 13 — течка, 14 — конвейер

горелок в печи и составляет 50...400 мм. В печах конструкции ВНИИстрома горелки верхнего яруса заглублены в материал на 50...100 мм, нижнего — на 350 мм, в печах конструкции НИИстромпроекта — на 300 мм. Для увеличения стойкости футеровки рекомендуется отверстие в футеровке выполнять таким, чтобы просвет над защитной формой был не менее 50 мм.

В коробку 4 через патрубок 5 в варианте I поступает холодный воздух (под действием разрежения в печи или от вентилятора), в

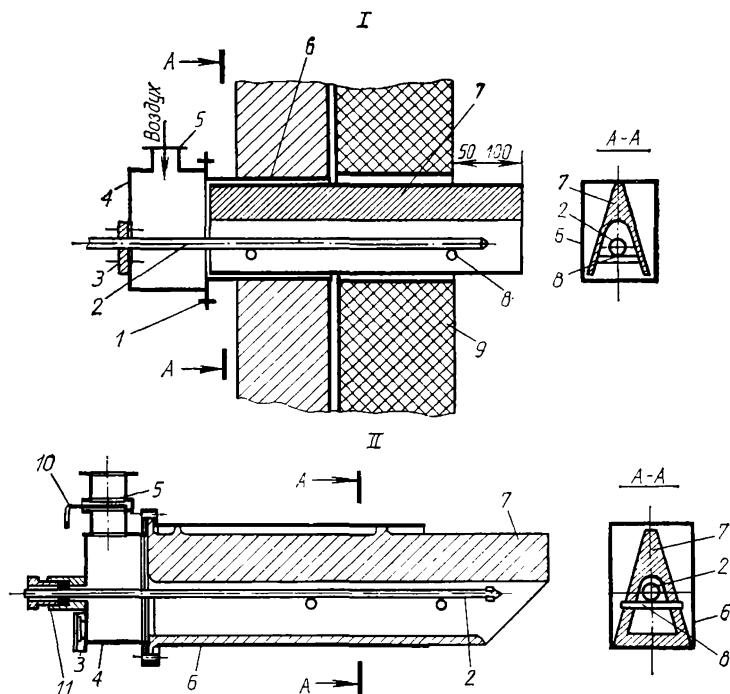


Рис. 32. Консольная фурменная горелка типа ГФИ конструкции ВНИИстрома:

1 — болт, 2 — труба, 3 — лючок, 4 — коробка, 5 — патрубок, 6, 7 — фурмы, 8 — крепления, 9 — футеровка, 10 — шибер, 11 — уплотнение

варианте II — вентилятор нагнетает рециркуляционные (инертные) газы (часть отходящих из печи газов). Лючок 3 горелки служит для ее розжига и наблюдения за работой.

Преимущество горелок ГФИ состоит в возможности быстро и не изменяя режима работы печи заменять защитную фурму при ее повреждении. Это особенно важно при установке горелок в зоне охлаждения печи, так как в случае выхода из строя осевой горелки останавливают и охлаждают печь, чтобы заменить осевую горелку.

В верхнем ярусе шахты печи (см. рис. 31) размещено десять горелок 2, в нижней — четыре. Газообразное топливо через горелки 2 поступает в пристенную область зоны обжига, через горелки 1 — в приосевую область зоны охлаждения, что позволяет равномерно распределить топливо по поперечному сечению шахты зоны обжига.

Воздух под действием разрежения в печи поступает в зону обжига через горелки 2 и в зону охлаждения через выгрузочное отверстие шахты.

Газообразные продукты обжига через патрубок 6 отсасываются из печи дымососом ДН-12,5. Перед выбросом в атмосферу газы

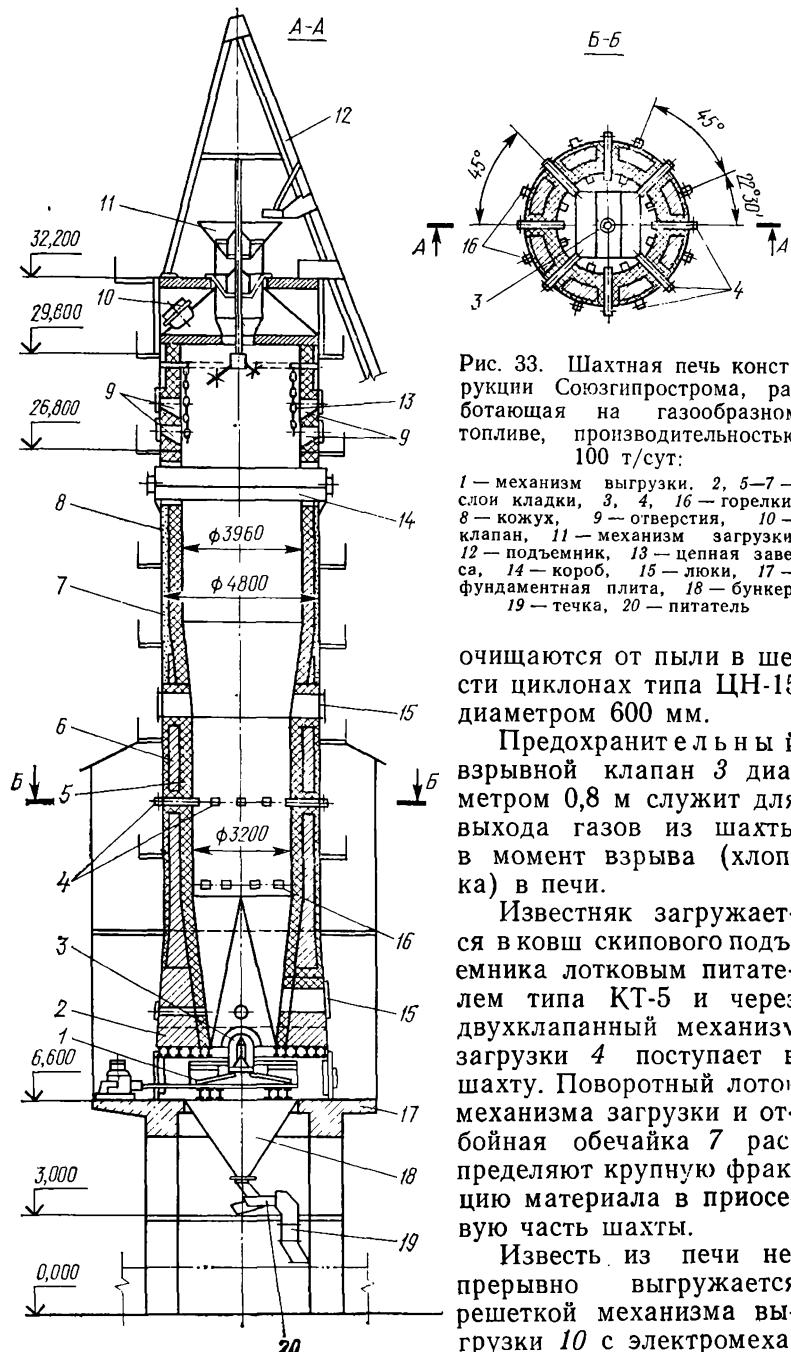


Рис. 33. Шахтная печь конструкции Союзгипростроя, работающая на газообразном топливе, производительностью 100 т/сут:

1 — механизм выгрузки, 2, 5—7 — слои кладки, 3, 4, 16 — горелки, 8 — кожух, 9 — отверстия, 10 — клапан, 11 — механизм загрузки, 12 — подъемник, 13 — цепная завеса, 14 — короб, 15 — люки, 17 — фундаментная плита, 18 — бункер, 19 — течка, 20 — питатель

очищаются от пыли в шести циклонах типа ЦН-15 диаметром 600 мм.

Предохранительный взрывной клапан 3 диаметром 0,8 м служит для выхода газов из шахты в момент взрыва (хлопка) в печи.

Известняк загружается в ковш скипового подъемника лотковым питателем типа КТ-5 и через двухклапанный механизм загрузки 4 поступает в шахту. Поворотный лоток механизма загрузки и отбойная обечайка 7 распределяют крупную фракцию материала в приосевую часть шахты.

Известь из печи непрерывно выгружается решеткой механизма выгрузки 10 с электромеханическим приводом в бункер и далее лотковым питателем 12 через течку 13 подается на пластинчатый конвейер 14.

При обжиге в печи этой конструкции известняка с содержанием $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ 91...93% получают следующие результаты: производительность печи — 110...115 т/сут, содержание активных $\text{CaO} + \text{MgO}$ в извести 75...80% при остаточной CO_2 8...6% и расходе условного топлива 141 кг на 1 т извести.

Шахтная печь конструкции Союзгипростроя производительностью 100 т/сут (рис. 33). Шахта, состоящая из слоев 5, 6 огнеупорной кладки, слоя 7 теплоизоляционной засыпки и стального кожуха 8 толщиной 12 мм, опирается на фундаментную железобетонную плиту 17. Шахта — круглого поперечного сечения. В зоне подогрева ее максимальный диаметр в свету 3,96 м. В зоне обжига шахта плавно сужается до диаметра 3,2 м, в зоне охлаждения, переходя в квадратное, уменьшается на уровне выгрузочного отверстия до размера 2,2×2,2 м. Рабочая высота шахты 17,5 м.

Слой 5 шахты (футеровка) толщиной 380 мм в зонах подогрева и охлаждения выполнен из шамотного доменного кирпича ШУД-37, в зоне обжига — из магнезитохромитового кирпича МХСО (2-го сорта). Тепловая изоляция шахты включает в себя слой 7 засыпки молотым трепелом толщиной 79 мм, слой 6 шамотного легковесного кирпича ІІЛБ-1,3 толщиной 345 мм (зона обжига и часть зоны охлаждения), слой 2 красного кирпича (цоколь шахты).

В печи предусмотрены отверстия с люками 15 для ремонтных работ, отверстия 9 для установки преобразователей уровня материала и отверстия для термоэлектрических термометров.

Система ввода газообразного топлива состоит из расположенных в два яруса 16 консольных фурменных горелок 4, 16 типа ГФИ, заглубленных в слой материала на 50 мм, и одной осевой горелки 3. Расстояние между ярусами консольных горелок — 2,6 м.

На рис. 34 изображена осевая горелка конструкции Угловского известкового комбината. Горелка представляет собой стальную трубу 2 диаметром 110 мм и толщиной 22 мм, приваренную к балке-рассекателю 1 механизма выгрузки. Ребра жесткости 5 повышают механическую прочность конструкции. Горелка снабжена соплами 4 диаметром 12 мм, расположенными в четыре ряда. Чтобы предотвратить забивание сопл, они просверлены под углом к оси горелки. В горелку под давлением 15...20 кПа подается только газ.

Воздух для сжигания топлива поступает в зону охлаждения печи через механизм выгрузки 1 (см. рис. 33) под действием разрежения в печи.

Газообразные продукты обжига отсасываются из печи через пустотелый короб 14. Установка короба позволяет стабилизировать разрежение в печи, которое значительно изменяется при колебании уровня материала во время работы печи и отсоса газов через боковые отверстия в шахте. Газы очищаются от пыли в шести циклонах ЦН-15 диаметром 600 мм конструкции НИИОГАЗ, а

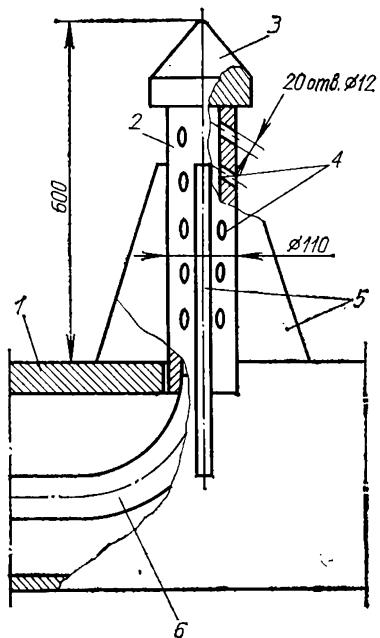
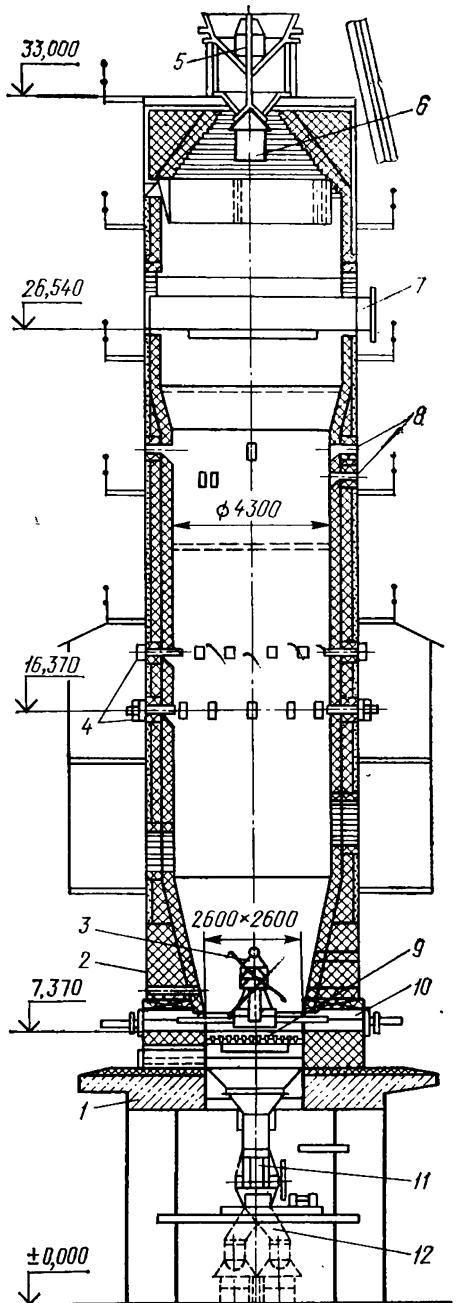


Рис. 34. Осевая горелка конструкции Угловского известкового комбината:
1 — балка-рассекатель, 2 — труба, 3 — защитный конус, 4 — сопла, 5 — ребра жесткости, 6 — трубопровод

Рис. 35. Шахтная печь конструкции НИИстремпроекта, работающая на газообразном топливе, производительностью 200 т/сут:
1 — фундаментная плита, 2 — кожух, 3, 4 — горелки, 5 — механизм загрузки, 7 — короб, 8 — отверстия для установки преобразователей КИП, 9 — механизм выгрузки, 10 — балка-рассекатель, 11 — затвор, 12 — течка

затем дымососом ДН-12,5 выбрасываются через трубу в атмосферу. Пыль из бункеров циклонов периодически транспортируется винтовым конвейером в бункер отвалов.

Известняк из расходного бункера печи загружается в ковш подъемника 12 логковым питателем КТ-5, сблокированным с радиоактивным сигнализатором уровня ГР-7, и механизмом загрузки 11 с распределительным лотком разбрасывается в шахте таким образом, что



крупная фракция материала попадает преимущественно в приосечную зону. Цепная завеса 13 защищает футеровку от ударов загружаемого материала.

Известь из зоны охлаждения печи решеткой механизма выгрузки 1 с гидравлическим приводом сбрасывается в бункер извести 18 и питателем 20 типа КГ-5 по течке 19 направляется на пластинчатый конвейер.

Печь рассчитана на работу со следующими основными показателями: удельный съем извести $12,5 \text{ т}/\text{м}^2$ сутки и $0,645 \text{ т}/\text{м}^3$ сут, удельный расход условного топлива на обжиг — 165 кг, удельный расход электроэнергии на 1 т извести — 18 кВт·ч, температура отходящих газов — 200°C , выгружаемой извести — 100°C .

Шахтная печь конструкции НИИстремпроекта производительностью 200 т/сут (рис. 35). Печь установлена на фундаментной железобетонной плите 1. Диаметр шахты в зоне обжига 4,3 м в свету. В зоне подогрева он плавно увеличивается до 4,99 м. В зоне складирования диаметр такой же, а в зоне охлаждения уменьшается и переходит в квадрат со стороной 2,6 м на уровне выгрузочного отверстия.

Кладка печи в зоне обжига выполнена из слоя кирпича ШЛБ-1,3 толщиной 230 мм и слоя футеровки из доменного уплотненного ШУД-37 или хромомагнезитового кирпича ХМЗ-1 толщиной 345 мм. Между кладкой и кожухом 2 печи устроен теплоизоляционный слой толщиной 65 мм засыпки трепелом. Шахта в зонах подогрева и охлаждения футерована шамотным кирпичом ША или ШУД-37.

Система ввода газообразного топлива состоит из осевой конусной горелки 3, укрепленной на балке-рассекателе 10 механизма выгрузки 9, и двух ярусов горелок 4 типа ГФИ по 12 шт. в ярусе. Расстояние между ярусами горелок 2 м. Горелки ГФИ заглубляют в материал на 0,3 м.

Осевая конусная горелка конструкции НИИстремпроекта (рис. 36) с помощью монтажного листа 15 установлена на балке-рассекателе 1 механизма выгрузки и заключена в стальной корпус 13, в который по отдельным трубопроводам 12, 17, 18 подают природный и рециркуляционный газы. Природный газ через отверстия 6 поступает в камеру 5, из которой через сопла 7 конуса 4 и отверстия в диске 3 выходит в камеру 9. Из этой камеры газ равномерно по периферии верхнего защитного конуса 2 поступает в межкусковое пространство зоны охлаждения печи. Рециркуляционные газы через трубопровод 18 и отверстия 10 поступают в камеру 11, из которой равномерно по окружности среднего защитного конуса 2 входят в слой материала зоны охлаждения. Температуру в месте расположения горелки контролируют двумя термоэлектрическими термометрами 14 типа ТХА, разжение измеряют трубкой 16. Козырьки 8 защищают приборы от повреждения кусками извести.

Воздух подают в горелки 4 (см. рис. 35) и в балку-рассекатель 10 вентилятором ВД-10. Печь оборудована системой рецир-

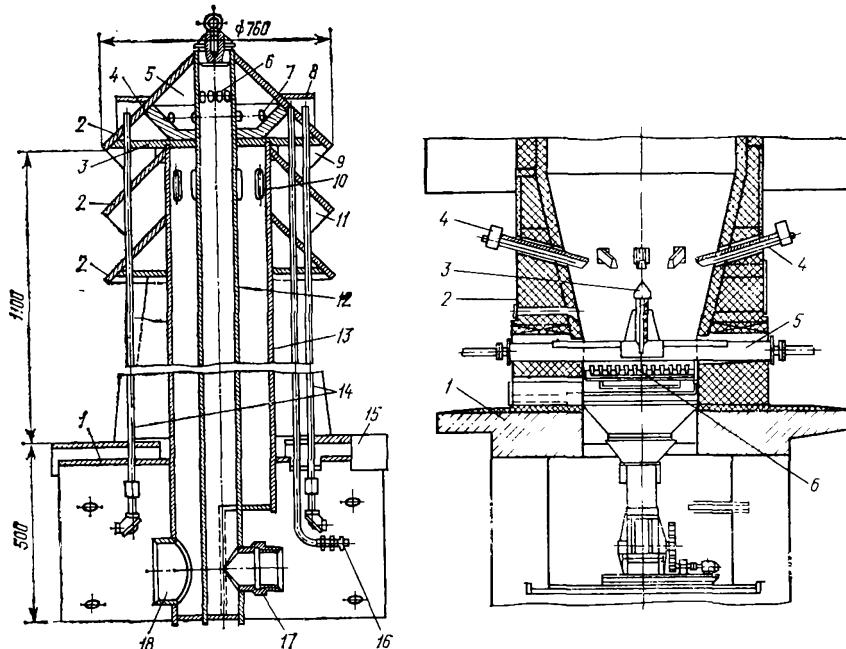


Рис. 36. Осевая конусная горелка конструкции НИИстремпроекта:

1 — балка-рассекатель, 2 — конусы, 3 — диск, 4 — конус, 5, 9, 11 — камеры, 6, 10 — отверстия, 7 — сопло, 8 — козырек, 12, 17 — трубопроводы для природного газа, 13 — корпус, 14 — термометры ТХА, 15 — монтажный лист, 16 — трубка, 18 — трубопровод для рециркуляционного газа

Рис. 37. Расположение горелок в зоне охлаждения шахтной печи производительностью 200 т/сут и выше:

1 — фундаментная плита, 2 — шахта, 3, 4 — горелки, 5 — балка-рассекатель, 6 — механизм выгрузки

куляции отходящих печных газов, состоящей из вентилятора ВВД-9 и трубопровода с регулирующей заслонкой ПРЗ.

Газы отсасываются из печи через короб 7 дымососом Д-15,5 и проходят очистку от пыли в группе циклонов НИИОГАЗ, состоящей из восьми циклонов ЦН-15 диаметром 750 мм.

В верхней части шахты (выше уровня материала) установлено два предохранительно-взрывных клапана 6 диаметром 0,8 м.

Известняк загружается в ковш вместимостью 1,5 м³ электровибрационным питателем 185-ПТ автоматически по сигналу уровня материала шихты. Механизм загрузки 5 подает известняк в шахту. Известь направляется механизмом выгрузки 9 в бункер и, пройдя трехшлюзовой затвор 11, по течке 12 поступает на пластинчатый конвейер.

При обжиге известняка фракции 70 ... 150 мм производительность печи — 170 ... 190 т/сут, содержание активных CaO+MgO — 84 ... 86 %, остаточной CO₂ — 5 ... 6 %, расход условного топлива на обжиг — до 182 кг на 1 т извести.

Для печей производительностью 200 т/сут и выше институт Союзгипрострой разработал новую систему ввода газообразного топлива в зону охлаждения (рис. 37). Система состоит из 6...8 консольных фурменных горелок 4 и осевой горелки 3. При работе на чистом крупном фракционированном известняке в осевую и консольные горелки под давлением 15...30 кПа подают только газообразное топливо, а при использовании сырья более низкого качества в консольные горелки отдельным вентилятором — также и рециркуляционные газы. Такое расположение горелок позволяет увеличить производительность печи до проектной величины и снизить удельный расход условного топлива на обжиг до 165 кг на 1 т извести активностью 80 %.

§ 25. Эксплуатация шахтных печей на газообразном топливе

Сушка печи. Печь сушат с помощью горелки природного газа (рис. 38), которая представляет собой перфорированную трубу диаметром 100 мм с заваренным концом. Одну или несколько горелок (в зависимости от объема кладки) устанавливают 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 трубе, затем пускают в нее газ. Сушку выполняют в соответствии с утвержденным графиком режима сушки печи.

Пуск печи. Подготовку печи к пуску начинают с осмотра и опробования технологического и транспортного оборудования всей линии от склада сырья до склада извести. Проверяют загрузочное и выгрузочное устройства печи, опробуют работу входящего в их комплект оборудования на холостом ходу. Проверяют запасы известняка.

Просматривают акты о проверке и опрессовке системы газоснабжения печи.

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

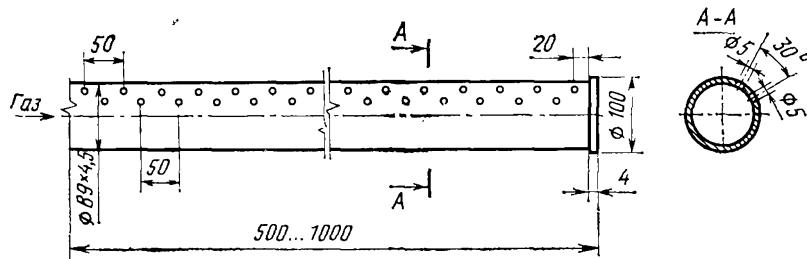


Рис. 38. Горелка для сушки шахтных печей

за тем, чтобы краны и задвижки продувочной линии были открыты, а краны перед газовыми горелками закрыты; проверяют состояние взрывного клапана и аппаратуры аварийной отсечки газа. Обжигальщик извести и слесарь-электрик осматривают пусковую аппаратуру электродвигателя дымососа. Слесари по КИП прове-

ряют работу измерительной и регулирующей аппаратуры и регулируют ее.

Рабочие места должны быть оборудованы противопожарными средствами и средствами индивидуальной защиты (противогазами, респираторами, защитными очками). На рабочих местах вывешивают инструкции по безопасным методам обслуживания каждого механизма.

Подготовку шахтной печи к розжигу начинают с загрузки зоны охлаждения печи комовой известью до уровня на 2...3 м выше решетки механизма выгрузки. Далее шахту загружают известняком до уровня верхнего загрузочного люка. После закладки люка кирпичом стенки шахты закрывают деревянными щитами, чтобы не повредить футеровку при загрузке печи сырьем, и догружают шахту материалом до $\frac{3}{4}$ ее рабочей высоты.

Перед розжигом печи закрывают полностью направляющий аппарат дымососа и включают его в работу. Далее постепенно полностью открывают направляющий аппарат, шибера консольных фурменных горелок ГФИ и вентилируют печь в течение 20 мин.

Розжиг шахтной печи конструкции Союзгипростро-ма производительностью

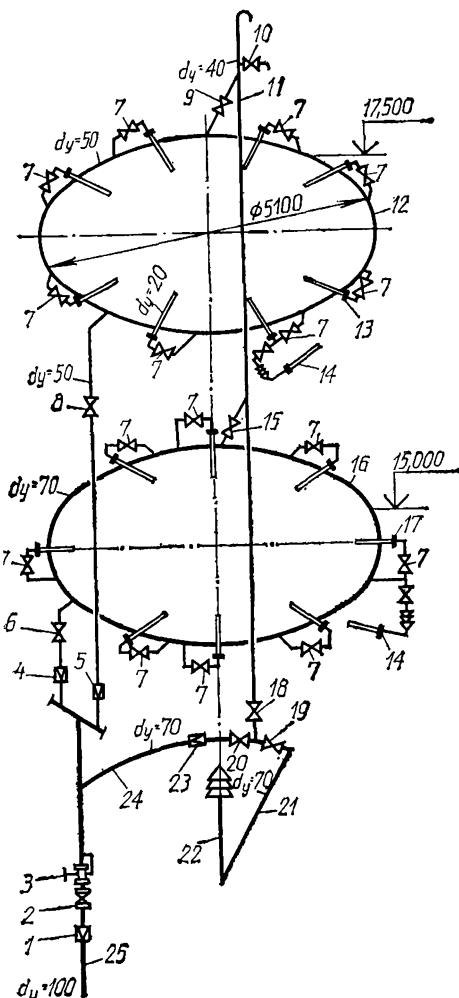


Рис. 39. Схема газоснабжения шахтной печи, оборудованной осевой горелкой и двумя ярусами консольных фурменных горелок ГФИ:

1, 4, 5, 23 — измерительные диафрагмы, 2 — задвижка, 3 — клапан безопасности, 6—9, 15, 18—20 — сальниковые муфтовые краны, 10 — штуцер с краном и пробкой для взятия пробы газа, 11, 12, 16, 21, 24, 25 — трубопроводы, 13, 14, 17, 22 — горелки

100 т/сут (см. рис. 33) выполняют следующим образом. Вначале направляющим аппаратом или шибером дымососа устанавливают такую тягу в печи, чтобы разрежение в зоне обжига составило не менее 25 Па. Затем приступают к продувке труб системы газоснабжения шахтной печи (рис. 39). Для этого клапан безопасности 3 типа ПКН переводят на ручное управление (клапан поднимают, а молоточек плавно опускают на анкерный рычаг), открывают задвижку 2 на трубопроводе 25 ввода газа и по манометру проверяют давление газа (нормальное 25 ... 30 кПа). Открывают кран на импульсной трубке клапана ПКН и зацепляют молоточек с планкой в клапане. Открывают муфтовые краны 8, 9 и при давлении газа не более 5 кПа в течение 5 мин продувают трубопровод 12 через трубопровод 11. Окончание продувки трубопровода устанавливают, анализируя пробу газа, взятую из трубопровода 11 через штуцер 10. Содержание кислорода в пробе газа не должно превышать 1%. Кран 9 закрывают.

Убедившись в том, что трубопровод продут, можно и другим приемом. Для этого газом, продуваемым через трубопровод 11, с помощью переносной запальной горелки 14, подключенной к штуцеру 10, наполняют металлический стакан с мыльной эмульсией и пузыри поджигают. Если газ загорается без хлопка и горит вялым коптящим пламенем, то трубопровод продут достаточно.

Затем открывают краны 6, 15, так же как трубопровод 12, продувают трубопровод 16 и закрывают кран 15.

Краны 18, 20 открывают, аналогичным образом продувают трубопровод 24 и закрывают кран 18.

После этого приступают к разжигу горелок печи. Первыми разжигают горелки верхнего яруса. Вначале открывают полностью кран 8. Консольную фурменную горелку 13 разжигают с помощью переносной запальной горелки 14.

Запальная горелка, работающая под разрежением (рис. 40), состоит из соединенных муфтой 11 патрубков 4, 10, снабженных насадками 5, 12 с отверстиями. К насадке 5 прикреплен защитный

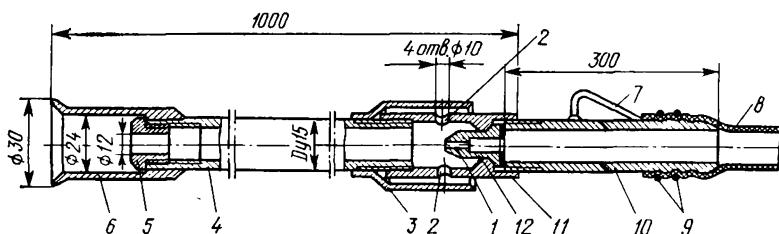


Рис. 40. Запальная горелка, работающая под разрежением:
1 — сопло, 2 — отверстие, 3 — обойма, 4, 10 — патрубки, 5, 12 — насадки, 6 — кожух,
7 — крючок, 8 — шланг, 9 — крепление, 11 — муфта

кожух 6. Патрубок 10 соединен со шлангом 8 креплением 9. Горелку в нерабочем состоянии крепят крючком 7 на кожухе шахтной печи. Запальная горелка работает следующим образом. Природный газ под давлением по шлангу 8 и патрубку 10 поступает к соплу 1 и выходит из него с большой скоростью. Струя природного газа, вытекающая в полость муфты 11, засасывает (инжектирует) воздух из атмосферы через отверстия 2 и кольцевой зазор между обоймой 3 и наружной поверхностью муфты 11. Газ и воздух перемешиваются при движении в патрубке 4, и образовавшаяся смесь газов через отверстия-сопла насадка 5 и кожуха 6 выходит из горелки.

Горящую спичку подносят к выходному отверстию запальной горелки 14 (см. рис. 39). Открыв кран запальной горелки,пускают газ и регулируют его факел. Запальную горелку вводят через смотровой лючок горелки ГФИ, подводят факел к соплу этой горелки и плавно открывают кран 7. После того как выходящий из горелки ГФИ газ загорится, следует убедиться, что горение газа в печи идет нормально (факел окрашен в синеватый цвет). Затем перекрывают кран запальной горелки и вынимают ее из лючка горелки ГФИ. Таким способом разжигают остальные горелки ГФИ. После разжига консольных фирменных горелок 13 верхнего яруса печи устанавливают расход природного газа на ярус в пределах 30% номинального значения и проверяют разрежение в шахте на уровне горелок ГФИ верхнего яруса.

Убедившись в устойчивой работе горелок 13 верхнего яруса, аналогичным образом разжигают горелки 17 нижнего яруса.

Если при разжиге консольной фирменной горелки отрывается пламя или затухает горелка, немедленно прекращают подачу газа в печь и гасят переносную запальную горелку. После вентиляции печи в течение 10 мин вновь приступают к разжигу горелок, предварительно отрегулировав разрежение в зоне обжига.

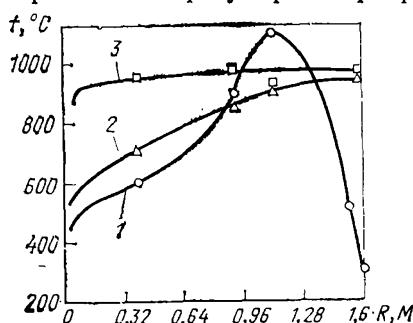


Рис. 41. Кривые распределения температуры материала в шахтной печи, оборудованной консольными фирмennыми горелками и осевой горелкой, производительностью 100 т/сут в период ее пуска:

1—3 — кривые; R — радиус шахты в зоне обжига

Убедившись в устойчивой работе всех консольных фирменных горелок, постепенно увеличивают тягу и подачу в горелки газа. Через 6 ч после пуска горелок ГФИ температуру материала, контролируемую визуально через лючки горелок, устанавливают равной 600 °С (слабое красное свечение). Фактическая температура материала по попеченному сечению шахты при этом изменяется в широких пределах (рис. 41). Кривая 1 показывает распределение температуры материала на уровне верхнего яруса горелок ГФИ в период их пуска в работу. Из графика видно, что темпера-

тура материала минимальная в приосевой области шахты ($300 \dots 500^{\circ}\text{C}$), она несколько выше в пристенной области ($500 \dots 700^{\circ}\text{C}$) и достигает максимальной величины в промежуточной области ($900 \dots 1100^{\circ}\text{C}$).

Преждевременный пуск осевой горелки (если температура в приосевой области шахты ниже 650°C) может привести к тому, что часть природного газа пройдет зону обжига не сгорев. Загорание этого газа в верхней части шахты вызовет резкое выбивание из нее продуктов горения (хлопок) и прекращение розжига печи. Поэтому пуск осевой горелки начинают спустя $8 \dots 10$ ч после розжига горелок ГФИ, установленных в зоне обжига печи.

Осевую горелку конструкции Угловского известкового комбината (см. рис. 34) пускают, постепенно открывая кран 19 (см. рис. 39) и устанавливая минимальный расход природного газа. При этом распределение температуры по поперечному сечению шахты выравнивается. Кривая 2 (см. рис. 41) соответствует температуре материала через 1 ч после пуска осевой горелки, кривая 3 — спустя 2 ч. Температура материала в зоне обжига печи через 2 ч после пуска осевой горелки выравнялась: в приосевой и пристенной областях она выросла с $300 \dots 500$ до $900 \dots 950^{\circ}\text{C}$, а в промежуточной области — снизилась с 1100 до 950°C .

Спустя $2 \dots 3$ ч устойчивой работы осевой горелки увеличивают подачу в нее топлива и приступают к выводу шахтной печи на рабочий режим.

Осевую конусную горелку конструкции НИИстромпроекта (см. рис. 36) включают в работу таким образом. Вначале открывают кран 19 (см. рис. 39) на трубопроводе 24 и пускают осевую горелку 22 на минимальный расход природного газа. Через $1 \dots 2$ ч устойчивой работы этой горелки включают вентилятор рециркуляционных газов и поворотной заслонкой устанавливают их подачу в соответствии с расходом природного газа. По мере работы осевой горелки максимальная по поперечному сечению шахты температура снижается, а средняя температура повышается до $900 \dots 950^{\circ}\text{C}$.

Консольные фурменные горелки, установленные в зоне охлаждения шахтной печи конструкции ВНИИстрома (см. рис. 31), пускают по очереди, через одну, аналогично пуску конусной горелки конструкции НИИстромпроекта.

Вывод шахтной печи на рабочий режим начинают после достижения расхода топлива 60% от номинального. При этом постоянно следят за уровнем материала в шахте и по мере его понижения печь догружают. Печь конструкции Союзгипрострому выводят на рабочий режим, постепенно прибавляя подачу природного газа в осевую горелку и одновременно поддерживая разрежение в зоне обжига печи на установленном уровне ($50 \dots 70$ Па), для чего изменяют степень открытия направляющего аппарата дымососа.

Вывод на рабочий режим печи конструкции НИИстромпроекта начинают с пуска вентилятора подачи воздуха в горелки ГФИ и балку-рассекатель механизма выгрузки, следя за установленной

тягой в зоне обжига. При этом увеличивают подачу природного газа в осевую конусную горелку.

После того как средняя температура в зоне обжига печи поднимется до 1050 °С (желтый накал материала в верхних и нижних гляделках), а температура отходящих газов возрастет до 200 °С,пускают на малую скорость механизм выгрузки и одновременно догружают печь известняком до нормального уровня.

Вывод печи на рабочий режим продолжается 2 ... 3 сут. В первые сутки производительность печи — 20 ... 25% от проектной при расходе топлива 60 ... 65% от нормального. На вторые сутки по мере повышения температуры в зоне обжига до 1150 °С и увеличения активности извести до 80% производительность печи поднимают до 70% от проектного значения. На третьи сутки после достижения активности воздушной извести до 80 ... 90% производительность печи увеличивают до проектного значения.

При работе печи на рабочем режиме природный газ распределяется по горелкам следующим образом: в осевую или в установленные в зоне охлаждения горелки ГФИ подают 60 ... 65% общего расхода газа, а в горелки зоны обжига — 35 ... 40%.

Далее печь переводят на автоматическое управление и вывод печи на рабочий режим считается законченным.

Обжиг известняка. 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 создаются разными способами.

В шахтных печах, оборудованных в зоне охлаждения осевой горелкой конструкции Угловского известкового комбината, природный газ сжигается следующим образом. Вводимые через эти горелки газ и воздух, перемещаясь 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 теплоты с химическим недожогом. Преимущества горелок этого типа состоят в простом обслуживании и надежной работе, недостаток заключается в том, что невозможно управлять положением зоны обжига по высоте шахты.

В шахтных печах конструкции НИИстремпроекта и ВНИИстрема в горелки, смонтированные в зоне охлаждения, подают отдельным вентилятором рециркуляционные газы. Они представляют собой часть отходящих печных газов и разбавляют природный газ, что необходимо по следующим причинам. Природный газ состоит в основном из метана, пределы самовоспламенения которого в смеси с воздухом находятся между 4,5 и 13,5%. Температура самовоспламенения смеси метана с воздухом — 530 ... 650 °С. Действительная концентрация газа с воздухом в печи — 7 ... 10%, т. е. находится в пределах самовоспламенения природного газа. Таким

образом, при вводе газа в шахту снизу его горение может начаться еще в зоне охлаждения печи, что недопустимо. Чтобы повысить температуру воспламенения смеси газов, в нее вводят инертный газ (продукты горения). При соотношении в смеси природного и инертного (рециркуляционного) газов 1 : (2 ... 3) температура воспламенения смеси повышается до 1050 ... 1150 °С, что обеспечивает горение газа в пределах зоны обжига.

Эксплуатация печей с осевыми конусными горелками и отбором печных газов выше слоя материала в шахте показывает, что рециркуляционные газы из-за подсосов воздуха через механизм загрузки содержат 12 ... 15% кислорода. Использование таких газов для ввода в осевую горелку сопровождается воспламенением природного газа в зоне охлаждения и выходом из строя осевой горелки. Поэтому рециркуляционные газы рекомендуется отбирать через заглубленные в материал фурмы, расположенные в шахте на 0,5 ... 1 м ниже уровня загрузки. Рециркуляционные газы перед вводом в горелку очищают от пыли в циклоне.

Технологические зоны шахтной печи, работающей на газообразном топливе, характеризуются следующими показателями.

Зона подогрева составляет 30 ... 40% полезной высоты шахты, что позволяет снижать температуру отходящих газов до 300 ... 350 °С (без учета подсосов холодного воздуха) и подогревать известняк в конце зоны до температуры 900 °С. Выходящие из зоны подогрева печные газы при рациональном режиме содержат 24 ... 26% углекислого газа (CO_2) и 3 ... 4% кислорода (O_2).

Зона обжига занимает 35 ... 40% полезной высоты шахты. В этой зоне происходит сжигание природного газа и диссоциация известняка. Среднюю температуру газов в зоне обжига поддерживают на уровне 1100 ... 1200 °С. Распределение температуры газового потока по поперечному сечению шахты в зоне обжига зависит от распределения газа и воздуха по сечению шахты и условий их перемешивания. В результате неблагоприятных условий смешивания газа и воздуха в слое избытка воздуха α поддерживают 1,2 ... 1,3.

Распределение газа по поперечному сечению шахты в зоне обжига зависит от конструкции горелок и их расположения в шахте. На рис. 42 представлена кривая распределения температуры в зоне обжига на уровне установки горелок ГФИ в печи конструкции ВНИИстрема. Колебания температуры в зоне обжига в пределах ± 50 °С от среднего значения свидетельствуют о равномерном распределении природного газа и воздуха в шахте и, следовательно, эффективной конструкции горелок.

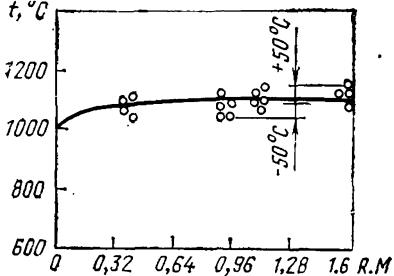


Рис. 42. Кривая распределения температуры в зоне обжига печи производительностью 100 т/сут, оборудованной горелками ГФИ и осевой горелкой, после ее вывода на рабочий режим (R — радиус шахты)

Зона охлаждения занимает 25 ... 30% полезной высоты шахты. В этой зоне известь охлаждается до температуры 80 ... 120 °C перед ее поступлением в механизм выгрузки.

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% от общего расхода природного газа на печь вводят в нижний ярус и 60 ... 65% — в верхний. 25% от общего расхода холодного воздуха вводят в зону обжига периферийно, а 75% — через зону охлаждения.

В печах, оборудованных осевыми, осевыми конусными и расположеными в зоне охлаждения консольными фирмами горелками ГФИ, смесь газов, состоящая из природного и рециркуляционных газов и воздуха, поступает в зону обжига через зону охлаждения с температурой 900 ... 1000 °C. 60% от общего расхода природного газа подают в центральные горелки, а 40% — в зону обжига периферийно в 1—2 яруса. Рециркуляционные газы вводят в расчете 2 ... 3 м³ на 1 м³ (при нормальных условиях) природного газа. Воздух вводят в печь в соотношении: 25% первичного (периферийный ввод) и 75% вторичного (через зону охлаждения). Рециркуляционные газы должны содержать не более 6% кислорода.

Преимущество использования рециркуляционных газов заключается в следующем: увеличивая их количество до соотношения 1 : 3, зону обжига смещают вверх шахты, а снижая до соотношения 1 : 2 — ее опускают. Это позволяет управлять процессом обжига в нужном направлении. Недостаток состоит в необходимости установки дополнительного оборудования (вентилятора, трубопровода, поворотной заслонки).

Известняк употребляется только в виде тщательно отсортированных 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 поперечному сечению шахты выравнивается.

Тепловой КПД печи. На рис. 29,б изображена диаграмма теплового баланса шахтной печи, работающей на газообразном топливе. Сыре — известняк фракции 40 ... 80 мм. Расход условного топлива на обжиг — 150 кг на 1 т извести. Содержание активных CaO+MgO в извести — 85 %. Из диаграммы следует, что тепловой КПД печи равен 72,7 %. Потери теплоты с отходящими газами из печи — 15,3 %, что объясняется большим объемом продуктов сжигания газа. Потери теплоты с химическим недожогом топлива — 7,9 %, что свидетельствует о неполном смешивании газа с воздухом в процессе сжигания. Организация более полного сгорания топли-

ва в печах снижает расход газа на обжиг и увеличивает тепловой КПД печи до 75 %.

Отклонения от заданного режима обжига и способы их устранения. Снизилась температура в зоне обжига. Если при этом производительность печи не изменилась, то прибавляют расход природного газа на печь. Если расход газа на горелки не изменился, то проверяют соотношение газ—воздух в зоне обжига. При нормальной работе вентиляторов первичного и вторичного воздуха проверяют, не появились ли значительные подсосы холодного воздуха в зонах обжига или охлаждения (открытые лючки гляделок, трещины в кожухе). При появлении подсосов регулируют подачу воздуха в печь и устраниют избыточные подсосы его из окружающей среды.

Возросла температура отходящих газов. Если при этом температура в зоне обжига не изменилась, то происходит недогруз печи известняком. С помощью кнопок ручного управления догружают печь до нормального уровня и проверяют работу уровнемера. Если одновременно повысилась температура в зоне обжига, то проверяют расход газа на печь и регулируют его.

Резко возросла температура выгружаемой извести при снижении температуры отходящих газов. Это может произойти в результате опускания зоны обжига. В печах, оснащенных периферийными горелками, уменьшают количество газа, подаваемого в нижний ярус горелок. В печах с осевой конусной горелкой увеличивают количество вводимого в горелку инертного газа.

Подвисание материала. В месте входа газа в шахту часто развивается высокая температура (1250 ... 1300 °C), при которой содержащиеся в известняке примеси оплавляются. В результате куски извести слипаются и материал зависает на фурме горелки. Условия подвода воздуха к газу ухудшаются, и горелка работает с едва заметным факелом (вялое горение газа). Через лючок горелки наблюдается потемнение цвета извести. Обжигальщик разрушает подвисший в горелке материал металлической штангой. В дальнейшем периодически осматривают горелки и прочищают их.

При образовании в шахте печи значительного зависания материала выключают подачу газа в печь и после охлаждения материала (через 2 ... 3 ч) разрушают его.

Остановка печи. Оборудованную осевой и консольными горелками ГФИ печь останавливают в такой последовательности: вначале закрывают кран 20 (см. рис. 39), затем кран 19 и останавливают вентилятор рециркуляционных газов (в печах конструкции НИИстремпроекта). Открывают кран 18 на продувочном трубопроводе 11. Далее закрывают краны 7 горелок верхнего яруса (кроме двух последних), кран 8 и краны двух последних горелок трубопровода 12 и открывают кран 9 на трубопроводе 11. Аналогично останавливают горелки 17 трубопровода 16, закрывают кран 6 и краны двух последних горелок и открывают кран 15 на трубопроводе 11; опускают молоточек клапана 3 типа ПКН и закрывают кран на его импульсной трубке; закрывают задвижку 2 на труб-

проводе 25; вентилируют печь в течение 20 мин при полностью открытых лючках горелок ГФИ; останавливают вентилятор (в печах конструкции НИИстремпроекта), затем дымосос. Открывают клапаны на дымовой трубе и люки механизма выгрузки; прекращают загрузку в печь известняка. Выгрузив материал из печи, останавливают механизм выгрузки. После снижения температуры в шахте до 50 °С осматривают футеровку печи.

§ 26. Устройство и работа шахтных печей, работающих на мазуте

В шахтных печах применяют несколько разных систем ввода мазута. Наиболее совершенны две системы, в которых использован принцип газификации мазута с последующим вводом газообразных продуктов газификации в межкусковое пространство шахты. Первая система ввода мазута включает в себя смонтированную в зоне обжига печи водоохлаждаемую балку в виде призмы, сваренной из листовой стали, или три соединенные между собой стальные трубы и мазутные форсунки. Эту систему применяют в печах конструкции Союзгипростроя производительностью 50, 100 и 150 т/сут. Вторая система состоит из расположенных в зоне обжига по периметру шахты выносных камер, оборудованных мазутными форсунками. Подобная система использована в печах конструкции ВНИИСП.

Шахтная печь конструкции Союзгипростроя производительностью 150 т/сут (рис. 43) установлена на фундаментной платформе 23.

Поперечное сечение шахты в зоне подогрева — круглое диаметром 4,95 м в верхней части и 4,3 м — в нижней. Поперечное сечение зоны обжига — овальное размером 3,744×3,744 м. В зоне охлаждения поперечное сечение шахты плавно сужается, переходя на уровне выгрузочного отверстия в квадратное размером 2,6×2,6 м. Рабочая высота шахты — 20,6 м.

Кладка печи заключена в стальной кожух 9 толщиной 10 мм и состоит из слоя 7 футеровки и двух слоев 6, 8 теплоизоляции. Футеровка в зоне обжига выполнена из магнезитохромитового кирпича МХСО толщиной 345 мм, в зоне подогрева — из шамотного кирпича ШУД-37 толщиной 345 мм, в зоне охлаждения — из кирпича ШУД-37 толщиной 230 мм.

Теплоизоляция шахты во всех зонах печи включает слой 6 шамотного легковесного кирпича ШЛБ-1,3 толщиной 230...595 мм и слой 8 засыпки трепелом толщиной 65 мм.

Печь оснащена водоохлаждаемыми балками 4, 5, установленными в шахте в два яруса.

На рис. 44 показано поперечное сечение водоохлаждаемой балки, сваренной из стальных труб: верхней трубы 3 и двух нижних труб 1. Верхняя труба соединена с нижними патрубками 2.

Под каждой балкой 4 (см. рис. 43) нижнего яруса в кладке печи предусмотрены топочные камеры 2 для газификации мазу-

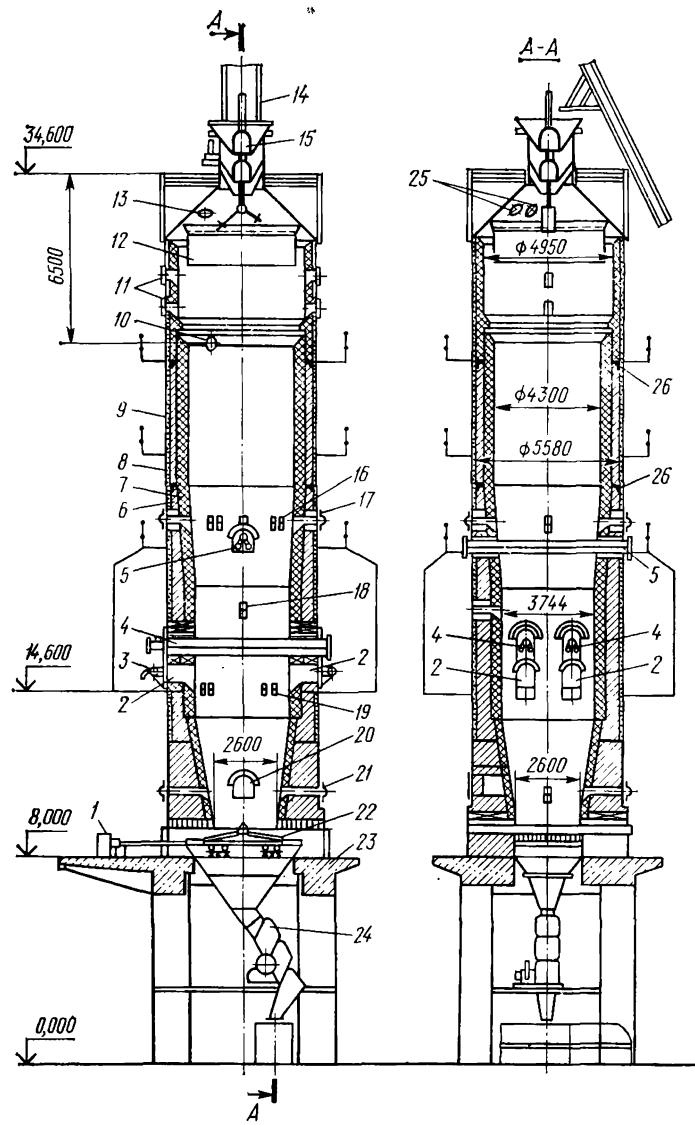


Рис. 43. Шахтная печь конструкции Союзгипрострома, работающая на мазуте, производительностью 150 т/сут:

1 — гидропривод механизма выгрузки, 2 — топочные камеры, 3 — форсунка, 4, 5 — балки, 6—8 — слои кладки, 9 — кожух, 10, 13 — отверстия, 11 — отверстия для преобразователей уровня мера шихты, 12 — отбойная обечайка, 14 — сквозной подъемник, 15 — механизм загрузки, 16, 18, 19 — отверстия для установки преобразователей КИП, 21 — гляделки, 20 — лаз, 22 — механизм выгрузки, 23 — фундаментная плита, 24 — затвор, 25 — клапаны, 26 — кольцо для подвески футеровки

та. Всего в один ярус в шахте расположено четыре топочные камеры.

Топочная камера конструкции Союзгипростроя (рис. 45) представляет собой устроенную в кладке шахты полость 11, ограниченную снизу футеровкой 1, сверху — водоохлаждаемой балкой 3, а с торцовой стороны — съемной плитой 10 с отверстием. Плита со стороны полости камеры футерована огнеупорным кирпичом. На плите 10 укреплен смеситель 9, снабженный форсункой 6 с винтовым распылителем и патрубком 5 для подвода рециркуляционных газов. Патрубок 8 служит для ввода в форсунку мазута, а маховичок 7 — для регулирования его подачи в форсунку. Через гляделку 4 контролируют процесс сжигания газифицированного мазута в шахте.

Балка 5 (см. рис. 43) второго яруса расположена на 3 м выше балок первого яруса и перпендикулярно их направлению. Эта балка способствует распределению газов по поперечному сечению шахты и дожиганию части продуктов газификации мазута в ее подбалочном пространстве.

Рециркуляционные газы удаляются из зоны подогрева через отверстие 10, отходящие печные газы — через отверстие 13 в конусном перекрытии шахты. В конусном перекрытии шахты установлены два предохранительных взрывных клапана 25 диаметром 0,8 м.

Печь оборудована двухклапанным механизмом загрузки 15 с поворотным лотком и механизмом выгрузки 22 конструкции Союз-

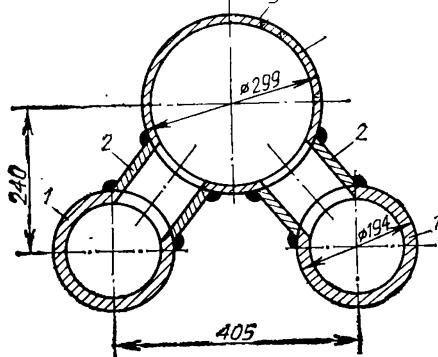


Рис. 44. Поперечное сечение водоохлаждаемой балки:
1, 3 — трубы, 2 — патрубки

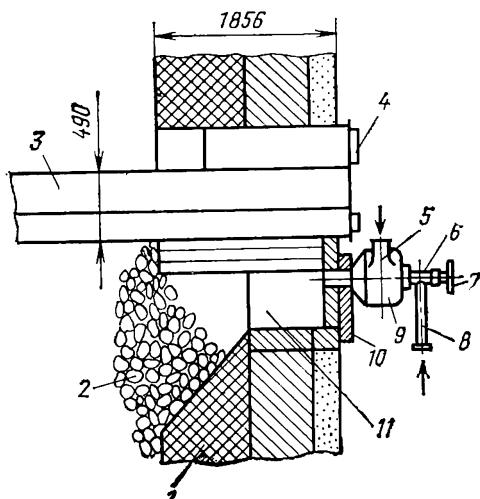


Рис. 45. Топочная камера для газификации мазута конструкции Союзгипростроя:
1 — футеровка, 2 — известняк, 3 — балка, 4 — гляделка, 5, 8 — патрубки, 6 — форсунка, 7 — маховичок, 9 — смеситель, 10 — плита, 11 — полость камеры

гипрострома. Механизм выгрузки герметизируют трехшлюзовым затвором 24.

Печь рассчитана на работу со следующими основными техническими показателями: удельный съем извести с поперечного сечения зоны обжига — 11 т/м² в сутки, с полезного объема шахты — 0,53 т/м³ в сутки; удельный расход условного топлива — 185 кг на 1 т извести с содержанием активных CaO+MgO не менее 80%; температура отходящих газов — 390 °С, выгружаемой извести — 100 °С.

Печь работает следующим образом. Известняк загружается в ковш скрапового подъемника 14 электровибрационным питателем 185-ПТ, транспортируется на верх печи и ссыпается в приемную воронку двухклапанного механизма загрузки 15, который поворотным лотком распределяет крупную фракцию известняка в приточную область шахты, а мелкую — в пристенную.

Мазут от кольцевого трубопровода по тупиковым трубопроводам под давлением 2 ... 2,5 МПа при температуре 115 °С поступает к форсункам 3 топочных камер 2, к которым из кольцевого трубопровода-коллектора поступают рециркуляционные газы (температура 250 °С, содержание кислорода 12%). Вентилятор ВВСМ-1у отбирает через отверстие 10 часть отходящих из печи газов и нагнетает их в коллектор, в который вентилятор ВВД-11у нагнетает холодный воздух. Необходимый объемный расход холодного воздуха устанавливают поворотной регулирующей заслонкой (ПРЗ), смонтированной на трубопроводе холодного воздуха. Вентилятор ВВД-11у подает также воздух под решетку механизма выгрузки 22.

Форсунка 6 (см. рис. 45) распыливает мазут и он вместе с поступившими через патрубок 5 рециркуляционными газами из смесителя 9 поступает в полость 11 топочной камеры, где частично сгорает. Образовавшиеся продукты газификации мазута выходят в свободное от известняка пространство под балкой 3, смешиваются с перемещающимся снизу горячим воздухом и полностью сгорают, выделяя теплоту.

Образовавшиеся в зоне обжига печи газы поднимаются, проходят зону подогрева и через отверстие 13 (см. рис. 43) по трубопроводу направляются на очистку от пыли в группу из восьми циклонов ЦН-15 диаметром 0,8 м. После очистки печные газы дымососом ВМ 50/1000-Иу через дымовую трубу выбрасываются в атмосферу.

Известь удаляется из печи механизмом выгрузки 22 с гидроприводом 1. Сброшенные колосниковой решеткой механизма выгрузки в бункер куски извести проходят трехшлюзовой затвор 24 и поступают на конвейер.

Шахтная печь конструкции ВНИИСП (г. Киев) производительностью 30 т/сут представляет собой установленную на фундаментной плите цилиндрическую шахту диаметром в свету 2 м и полезной высотой 17 м. Печь оборудована скраповым загрузочным устройством и механизмом выгрузки с движущейся решеткой.

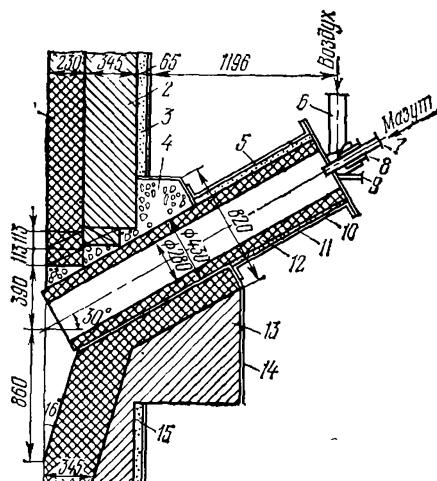


Рис. 46. Выносная топочная камера для газификации мазута конструкции ВНИИСП:

1 — слой хромомагнезитового кирпича, 2 — слой легковесного кирпича ШЛБ-1,3, 3, 10, 14 — кожухи, 4 — бетон на шамотном растворе, 5 — топочная камера, 6, 8, 9 — патрубки, 7 — форсунка, 11, 15 — слои из молотого трепела, 12 — кольцо из шамотного кирпича, 13 — слой глиняного кирпича

распыливающей головки и лопаточного воздуха. Колодка снабжена топливным и паровым штуцерами, через которые к форсунке подводят 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 воздуха представляет собой цилиндрическую обечайку, расположенную соосно с распыливающей головкой и снабженную направляющими лопатками. Закрученные струи мазута и пара выходят из форсунки через центральное отверстие с углом раскрытия факела $65 \dots 75^\circ$.

Футеровка камеры выполнена в виде кольца 12 из шамотного огнеупорного кирпича общего назначения, теплоизоляция — из слоя 11 молотого трепела. Выступающая за пределы кладки печи часть камеры заключена в стальной кожух 10.

Печь работает под разрежением, создаваемым дымососом Д-10. Воздух для газификации мазута нагнетается в выносные камеры вентилятором ВВД-5.

Печь работает следующим образом. Известняк фракции 60 ... 120 мм скопловым подъемником загружается в приемную воронку двухклапанного механизма загрузки и распределяется им по

В двухклапанном механизме загрузки диаметр конусной части нижнего клапана равен 1,3 м, центральный угол — 90° . Такая конструкция клапана позволяет загружать крупную фракцию сырья и приосевую область шахты.

По периметру шахты в зоне обжига в один ярус смонтированы три выносные топочные камеры для газификации мазута (рис. 46). Камера представляет собой установленный под углом 30° к горизонту футерованный цилиндр, сообщающийся с зоной обжига печи одним торцом. Другой торец цилиндра закрыт крышкой, на которой смонтированы паромеханическая форсунка 7, патрубок 6 для ввода в камеру воздуха и патрубок 9 для ввода растопочного факела.

Паромеханическая форсунка состоит из ствола, колодки,

поперечному сечению шахты таким образом, что крупная фракция поступает в приосевую область печи. Опускаясь в шахте, известняк в зоне обжига подвергается диссоциации за счет теплоты сжигания в ней газифицированного мазута.

Мазут марки 40, подогретый до температуры 80 °С, под давлением 0,4 ... 0,8 МПа поступает в форсунку 7, в которую по патрубку 8 подается пар для распыления мазута. Распыленный мазут в топочной камере смешивается с воздухом, нагнетаемым под давлением 600 Па вентилятором ВВД-5 через патрубок 6. Часть мазута сгорает в топочной камере, и продукты газификации выходят с температурой 1100 °С.

Поступающие из топочных камер продукты газификации смешиваются в зоне обжига с воздухом, поднимающимся из зоны охлаждения печи, и сгорают, выделяя теплоту. Газообразные продукты обжига поднимаются в зону подогрева и отсасываются из верхней части шахты через патрубок. Прошедшие очистку от механических примесей в циклонах ЦН-15 печные газы дымососом Д-10 выбрасываются через трубу в атмосферу.

Известь опускается в зону охлаждения печи и затем механизмом выгрузки отправляется в бункер, откуда через течку поступает на конвейер.

При обжиге известняка с содержанием глинистых примесей около 8% печь работает со следующими показателями: производительность — 36 т/сут, расход условного топлива на 1 т извести активностью 71,6% — 134 кг, удельный съем извести с поперечного сечения шахты — 11,5 т/м² в сутки.

§ 27. Эксплуатация шахтных печей, работающих на мазуте

Сушка печи. Эту операцию производят по утвержденному графику режима сушки и розжига шахтной печи. Сушат печь на сжиженном газообразном топливе или на дровах.

Пуск печи. Подготовку к пуску шахтной печи начинают с осмотра и опробования технологического и транспортного оборудования от склада сырья до склада извести, а также баков и трубопроводов и других элементов 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 для подогрева мазута. Определяют запасы кондиционного известняка и жидкого топлива в мазутохранилище. Проверяют состояние пусковой аппаратуры дымососа и дутьевых вентиляторов печи.

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 запол-

няют комовой известью до уровня, который на 0,5...1 м ниже водоохлаждаемой балки нижнего яруса. Зону обжига заполняют сухими дровами. Дрова поливают сверху жидким топливом (керосином, газойлем и т. п.). Зону подогрева заполняют на $\frac{3}{4}$ высоты известняком.

Затем включают систему водяного охлаждения балок, открывают люки механизма выгрузки и приступают к розжигу печи.

Розжиг печи выполняют факелом, изготовленным из пропитанных керосином или газойлем тряпок. Через подбалочные люки зажигают дрова. Как только они 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°C . По мере горения дров известняк оседает в шахте и печь догружают сырьем до прежнего уровня.

Затем приступают к пуску топочных камер печи. Для этого включают вентилятор, нагнетающий в камеру воздух для газификации мазута, и устанавливают его минимальную подачу. Проверяют температуру и давление мазута перед форсункой. Для форсунок механического распыливания мазута температура его подогрева составляет 115°C , давление 2...2,5 МПа. Для паромеханических форсунок температуру подогрева мазута поддерживают равной 80°C , а давление — 0,4...0,8 МПа. Через лючок камеры вводят растопочный факел и укрепляют его рядом с выходным соплом форсунки.

Форсунку механического распыливания мазута пускают, плавно открывая кран на трубопроводе мазута настолько, чтобы его расход составлял 25...30% от номинального значения. При устойчивой работе форсунки увеличивают расход мазута до 50% от номинального и соответственно прибавляют подачу воздуха в камеру. Температура газов на выходе из камеры должна быть $900\ldots 1100^{\circ}\text{C}$.

При пуске паромеханической форсунки вначале открывают кран на трубопроводе пара и продувают форсунку паром, затем вводят в камеру растопочный факел и открывают кран подачи мазута в форсунку.

После пуска всех топочных камер закрывают люки механизма выгрузки, включают вентилятор подачи воздуха в зону охлаждения и приступают к выводу печи на рабочий режим.

Вывод печи на рабочий режим начинается при подъеме температуры в зоне обжига до 1000°C . С пуском дутьевого вентилятора дымосос включают на полную производительность, а расход мазута увеличивают до 60...70% от нормального значения. После того как температура в зоне обжига поднимется до 1100°C , а температура отходящих газов — до $200\ldots 250^{\circ}\text{C}$, пускают на малую скорость механизм выгрузки. По мере оседания материала в шахте печь с помощью дистанционного управления догружают известняком до нормального уровня.

Вывод печи на рабочий режим продолжается в течение 2...3 сут. Производительность печи в первые сутки составляет 20...

... 25% от проектного значения; на вторые сутки с ростом содержания в извести CaO производительность увеличивают до 60... 70% от нормы и на третий сутки после повышения CaO в воздушной извести до 80... 90% выводят печь на проектную производительность. Затем печь переводят на автоматическое управление и вывод печи на рабочий режим считается законченным.

Обжиг известняка. Мазут сжигают, образуя с помощью форсунки состояние 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 результате чего перерасходуется топливо.

При вводе распыленного мазута непосредственно в слой обжигаемого материала или в подбалочное пространство углерод в виде сажи, образующийся при термическом разложении мазута, из-за слабого перемешивания с воздухом сгорает частично и печные газы содержат до 0,7 г/м³ сажи. Печные газы имеют черный цвет и загрязняют окружающую среду.

Для полного сжигания углерода в камере конструкции Союзгипрострома предусмотрен ввод рециркуляционных газов с содержанием кислорода 12%, благодаря чему мазут хорошо перемешивается с кислородом и коэффициент избытка воздуха составляет 0,3... 0,4. Остальное количество кислорода вводится в зону охлаждения печи с воздухом, который нагревается, поднимаясь в зону обжига.

В зоне обжига поступающие из топочных камер продукты газификации мазута смешиваются с горячим воздухом и сгорают, повышая температуру до 1100... 1250 °С. Равномерное распределение температуры в зоне обжига зависит в основном от распределения фракций известняка по поперечному сечению шахты. Наилучшие результаты достигают при загрузке материала крупной фракции в приосевую область шахты.

Регулирование процесса обжига. На температуру в зоне обжига влияют количество и теплота сгорания поступающих продуктов газификации мазута, фракционный и химический состав известняка, соотношение топливо — воздух и скорость выгрузки извести.

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 2... 2,5 МПа, а температура — 115 °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 форсункой с паровым распылением топлива, и коэффициенте избытка воздуха $\alpha=0,3 \dots 0,4$ получен газ неполного сгорания (полугаз), теплота сгорания которого $9 \dots 4 \text{ МДж}/\text{м}^3$. Температура продуктов газификации на выходе из топки — $900 \dots 1100^\circ\text{C}$.

Качество известняка значительно влияет на ход процесса обжига, поэтому в шахтных печах на жидкое топливо необходим известняк в виде фракций $40 \dots 80$ или $80 \dots 120$ мм.

Соотношение топливо — воздух в зоне обжига при сжигании мазута поддерживают в пределах $\alpha=1,2 \dots 1,3$.

Скорость выгрузки извести обжигальщик изменяет только в случае значительного отклонения режима обжига от нормального.

Тепловой КПД печи. При правильной организации газификации мазута в топочных камерах он полностью превращается в газообразное топливо. В связи с этим полнота сгорания продуктов газификации мазута определяется теми же факторами, что и при сжигании в печи природного газа. Поэтому диаграммы теплового баланса этих печей аналогичны. На рис. 29,б изображена диаграмма теплового баланса шахтной печи, работающей на мазуте. Сырье — известняк фракции $40 \dots 80$ мм. Расход условного топлива на обжиг — 150 кг на 1 т извести. Содержание активных $\text{CaO} + \text{MgO}$ в извести — 85%. Тепловой КПД печи равен 72,2%, что является высоким показателем при работе на мазуте. Он может быть достигнут при использовании эффективной системы газификации мазута в выносных камерах. При неудовлетворительной организации сжигания мазута в шахтной печи потери теплоты с химическим недожогом топлива достигают $15 \dots 20\%$. При использовании водоохлаждаемых балок потери теплоты на нагрев воды — $8 \dots 10\%$. В итоге тепловой КПД печи снижается до 60%, а расход условного топлива на обжиг увеличивается до 190 кг на 1 т извести.

Отклонения от заданного режима обжига и способы их устранения. Снизилась температура в зоне обжига. Причиной может быть 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 закоксилась.

Для смены форсунки закрывают вентиль на мазутопроводе данной форсунки, отсоединяют и вынимают подводящую трубку с форсункой из корпуса, сливают остатки мазута из форсунки в ведро и, зажав ее в тиски, заменяют головку форсунки запасной. Затем устанавливают форсунку на место, вводят в камеру факел и постепенно открывают вентиль до нормального расхода мазута. Закоксованную головку форсунки промывают газом и продают сжатым воздухом.

Зона обжига сместилась вниз. Чтобы отрегулировать положение зоны обжига, временно снижают подачу мазута в нижний ярус форсунок и увеличивают разрежение в печи, открыв полностью направляющий аппарат перед дымососом. После установления зоны обжига в нормальное положение регулируют подачу мазута в форсунки и тягу дымососа.

Зона обжига сместилась вверх. Чтобы возвратить зону обжига в нормальное положение, временно увеличивают скорость выгрузки извести и пекь загружают известняком до верхнего предельного значения уровня. После того как зона обжига установится в нормальное положение, корректируют количество мазута, подаваемого в форсунки нижнего яруса.

Зависание материала. При зависании материала в печи снижают подачу топлива, увеличивают скорость выгрузки извести и ликвидируют зависание металлическими штангами, соблюдая меры безопасности.

При снижении температуры мазута ниже 50 °C прекращают подачу мазута в пекь (закрывают общий вентиль на мазутопроводе). К растопке топочных камер приступают после того, как температура мазута поднимется до 80 ... 115 °C.

Остановка пеки. Пекь останавливают в следующем порядке. Вначале закрывают краны на трубопроводе подачи мазута к форсункам и останавливают вентиляторы, нагнетающие воздух в топочные камеры и в зону охлаждения пеки. Затем открывают люки механизма выгрузки для подсоса в шахту холодного воздуха. Прекращают загрузку пеки известняком и постепенно разгружают ее от материала. После выхода из пеки материала останавливают механизм выгрузки.

При снижении температуры в шахте до 250 °C выключают систему водяного охлаждения балок, а после снижения температуры в шахте до 50 °C останавливают дымосос и приступают к осмотру пеки.

§ 28. Автоматизация процесса обжига в шахтных пеках

Современные шахтные пеки оснащены приборами, устройствами и механизмами, которые осуществляют автоматическую загрузку сырья и топлива в пекь, измерение и контроль теплотехнических параметров процесса обжига. Кроме того, пеки оснащены приборами безопасности, автоматически переключающими пекь на естественную тягу при аварийной остановке дымососа, прекращающие подачу в пекь природного газа или мазута при падении в ней разрежения, превышении температуры корпуса осевой горелки. Автоматизация шахтной пеки при постоянном качестве поступающего сырья и топлива позволяет стабильно поддерживать заданную производительность пеки, расход топлива на обжиг и качество получаемой извести.

Система автоматического контроля и управления шахтной пересыпной пекью включает в себя следующие контуры регулирования

параметров ее работы: соотношения сырья и твердого топлива при их загрузке в ковш подъемника, уровня загрузки материалов в шахте, расхода воздуха в зону охлаждения, температуры отходящих печных газов.

Контур автоматического регулирования соотношения сырья и твердого топлива включает в себя весовой дозатор типа АВДИ-425Ф или АВДИ-1200Ф. Дозатор АВДИ-1200Ф (рис. 47) состоит из весовой измерительной системы с задатчиком массы (дозы), двух секторных затворов 15, дозировочного бункера 1 и

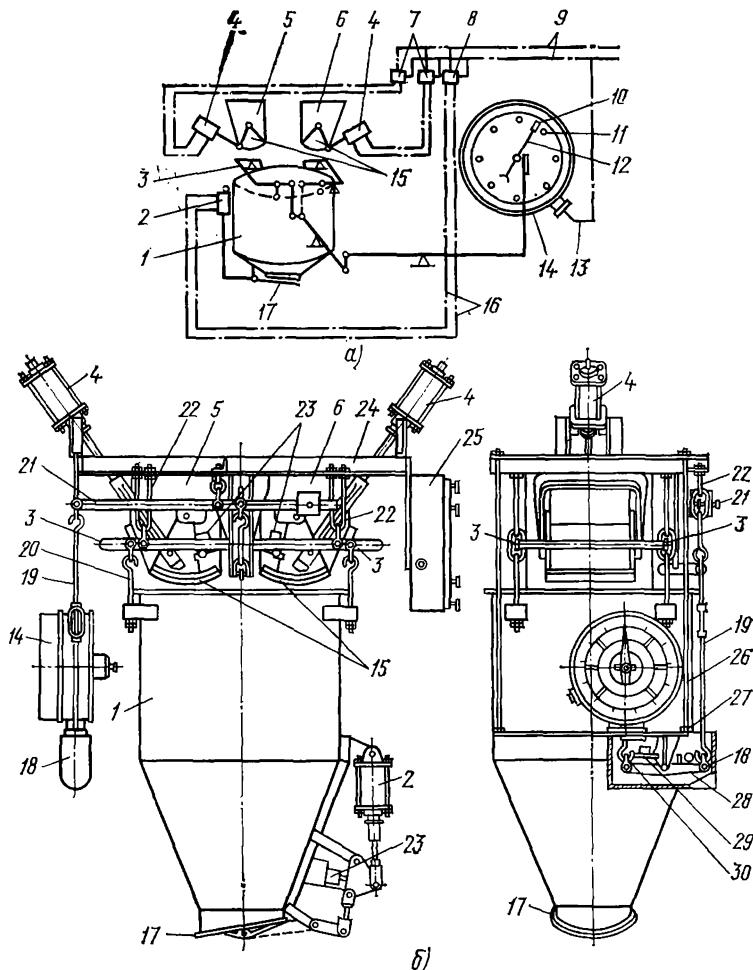


Рис. 47. Схемы весового автоматического дозатора АВДИ-1200Ф:
а — принципиальная, б — конструктивная; 1, 5, 6 — бункера, 2, 4 — пневмоцилиндры, 3, 21, 28 — рычаги, 7, 8 — клапаны, 9, 16 — пневмопроводы, 10 — фоторезистор, 11 — лампочка, 12 — стрелка, 13 — электропроводка, 14 — указатель, 15, 17 — затворы, 18 — кожух, 19 — тяга, 20, 30 — крюки, 22 — подвеска, 23 — конечные выключатели, 24 — рама, 25 — воздухораспределительный шкаф, 26 — стяжка, 27 — площадка, 29 — демпфер

электропневматической системы. Весовая измерительная система включает в себя циферблочный указатель 14 массы (дозы) материала, грузоприемные 3 и передаточные 21, 28 рычаги, тягу 19, крюки 20, 30, подвески 22 и демпфер 29. В электропневматическую систему входят пневмоцилиндры 2, 4, электропневматические клапаны 7, 8, пневмопроводы 9, 16, фоторезистор 10, лампочки 11, управляющее электрическое устройство и электропроводка 13.

При дозировании материала клапан 7 с помощью пневмоцилиндра 4 открывает затвор 15 бункера 5. По достижении заданной массы в дозировочном бункере 1 (фоторезистор стрелки и лампочка данной дозы совмещены в одной плоскости) фоторезистор вырабатывает электрический сигнал, который усиливается и по электропроводу 13 подается в электрическое устройство, управляющее клапанами 7. Клапан с помощью пневмоцилиндра 4 и затвора 15 закрывает бункер 5. Одновременно другой клапан 7 с помощью пневмоцилиндра 4 и секторного затвора 15 открывает бункер 6. После достижения суммарной заданной массы материалов в бункере 1 секторный затвор 15 бункера 6 закрывается. При замыкании цепи управления (автоматическим устройством или во время нажатия кнопки управления на пульте) срабатывает электропневматический клапан 8, который с помощью пневмоцилиндра 2 открывает выпускной затвор 17 дозировочного бункера 1, и шихта высыпается в ковш скипового подъемника.

Пределы взвешивания для дозатора АВДИ-425Ф — 80 ... 600 кг, для АВДИ-1200Ф — 200 ... 1200 кг. Точность дозирования $\pm 3\%$.

Контур автоматического регулирования уровня загрузки шахтной пересыпной печи (рис. 48) включает в себя радиоактивный измеритель уровня типа ГР-7 с приемниками гамма-излучения 11, 12, командные электропневматические приборы 1, 17 типа КЭП-12У с контактами 15, 16, блокировочные реле РБ, магнитные пускатели 2, 5, 18, конечные выключатели 4, 8.

Радиоактивный измеритель уровня ГР-7 состоит из двух источников гамма-излучения кобальта (Ко-60), двух приемников гамма-излучения и одного общего электронного блока, снабженного двумя выходными реле. Уровнемер регистрирует изменение интенсивности потока гамма-излучения. При прохождении луча через слой материала приемник фиксирует снижение мощности излучения по сравнению с прохождением луча через пустую шахту 13. Электронный блок, воспринимая соответствующие электрические сигналы от приемников 12 и 11, управляет выходными реле, рабочие контакты которых через электрические цепи аппарата КЭП управляют электродвигателем лебедки скипового подъемника.

В автоматическом режиме печь загружается в зависимости от уровня находящейся в ней шихты. Рабочим при этом является нижний приемник 12, а верхний 11 служит для аварийного отключения схемы.

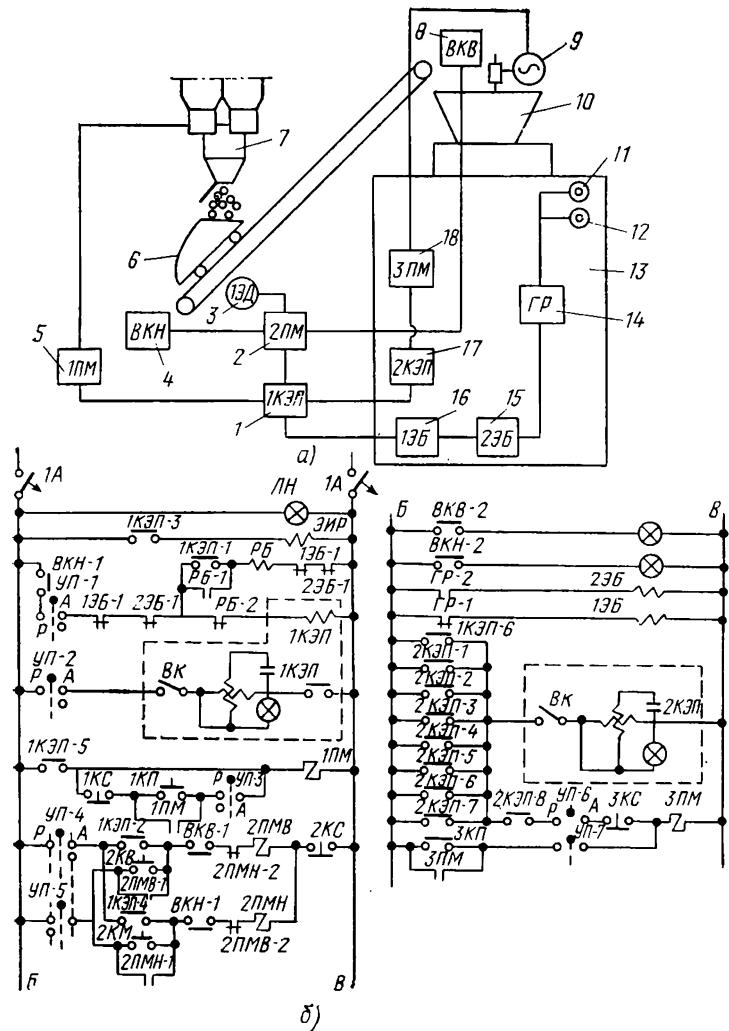


Рис. 48. Схема контура автоматического регулирования уровня загрузки шахтной пересыпной печи материалами:

a — блок-схема, *б* — электрическая схема; 1, 17 — командные электропневматические приборы, 2, 5, 18 — магнитные пускатели, 3, 9 — электродвигатели, 4, 8 — конечные выключатели, 6 — ковш, 7 — дозатор, 10 — механизм загрузки, 11, 12 — приемники гамма-излучения, 13 — шахта, 14 — радиоактивный измеритель уровня, 15, 16 — контакты блокировочного реле

Схема работает следующим образом. Включают аппарат 1A цепи управления, переключатель УП устанавливают в положение А (автоматическое управление) и включают выключатели Вк приборов 1КЭП и 2КЭП. Если уровень загрузки шихты ниже приемника 12, то контакты 1ЭБ-1 и 2ЭБ-1 в цепи питания прибора 1 (1КЭП) замкнуты. При нижнем положении ковша с шихтой

контакт ВКН-1 нижнего конечного выключателя 4 замыкается и включает электромагнит прибора 1, который замыкает контакт 1КЭП в цепи электродвигателя прибора до конца цикла. При включении прибора 1 замыкаются его контакты 1КЭП-1, включая блокировочное реле РБ. Реле РБ контактами РБ-1 блокирует контакты 1КЭП-1, а контактами РБ-2 размыкает цепь электромагнита прибора 1КЭП.

При работе электродвигателя прибора 1КЭП замыкаются контакты 1КЭП-2, которые включают цепь катушки магнитного пускателя 2ПМВ. Пускатель 2 включает электродвигатель 3 лебедки и ковш поднимается. Затем замыкаются контакты 1КЭП-3, подающие импульс на реле ЭИР отсчета количества загруженных в печь ковшей.

В верхнем положении ковш воздействует на выключатель 8, который контактом ВКВ-1 разрывает цепь катушки пускателя 2ПМВ, и ковш останавливается. Из ковша материал ссыпается в приемную воронку механизма загрузки 10. Через определенное время замыкаются контакты 1КЭП-4, которые включают цепь питания катушки пускателя 2ПМН электродвигателя 3, и ковш опускается. В нижнем положении ковш воздействует на выключатель 4, который контактом ВКН-1 разрывает цепь пускателя 2, и электродвигатель 3 останавливается. Контакт ВКН-1 в цепи прибора 1КЭП замыкается. Далее включаются контакты 1КЭП-5, которые замыкают цепь пускателя 5, запускающего электрическое управляющее устройство дозатора 7 типа АВДИ-1200Ф. Дозатор загружает ковш сырьем и топливом.

Затем включаются контакты 1КЭП-6, включающие прибор 17, управляющий электродвигателем 9 механизма загрузки 10. В дальнейшем контакты 1КЭП-6 блокируются последовательно включающимися контактами 2КЭП-1 ... 2КЭП-7. Включением контактов 2КЭП-8 прибора 17 замыкается цепь пускателя 18, который включает электродвигатель 9 на заданное время.

После загрузки ковша 6 шихтой цикл работы повторяется, если контакты 1ЭБ-1 и 2ЭБ-2 в цели прибора 1 замкнуты. Циклы загрузки печи шихтой повторяются до тех пор, пока уровень ее в шахте не достигнет уровня приемника 12. При достижении заданного уровня загрузки срабатывает измеритель 14, который контактом ГР-1 выключает цепь питания обмотки реле 1РБ. Реле kontaktами 1ЭБ-1 размыкает цепь катушки реле РБ, после чего прибор, а также связанные с ним последовательно цепи отключаются.

Аварийное отключение прибора 1 производится контактами 2ЭБ-1 при поступлении сигнала от верхнего приемника 11.

Схема предусматривает дистанционное управление загрузкой печи.

Контур автоматического контроля и регулирования температуры отходящих печных газов (рис. 49) включает в себя термоэлектрический термометр 9, установленный в патрубке короба для отсоса газов, электронный регулятор 4, задатчик температуры 3

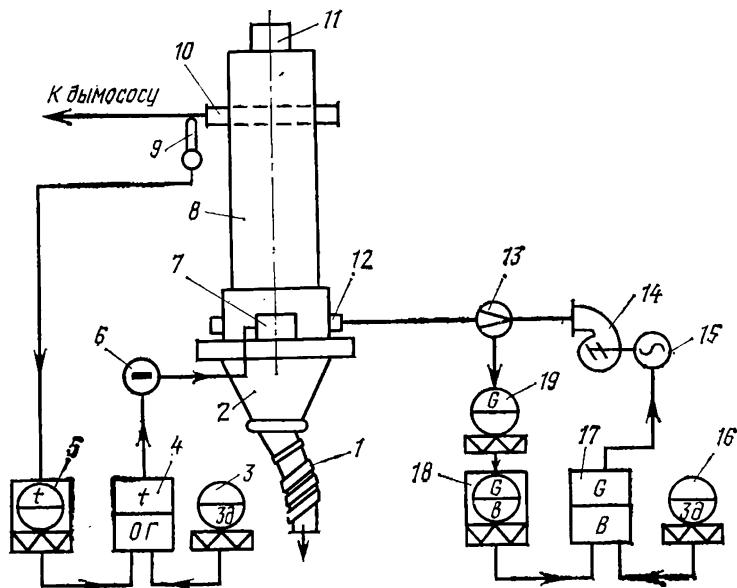


Рис. 49. Схема контуров автоматического регулирования температуры отходящих газов и расхода воздуха в шахтной пересыпной печи:

1 — затвор, 2 — бункер извести, 3, 16 — задатчики, 4, 17 — регуляторы, 5, 18 — приборы, 6 — устройство управления, 7 — привод механизма выгрузки, 8 — шахта, 9 — термометр, 10 — короб для отсоса газов, 11 — механизм загрузки, 12 — балка-рассекатель механизма выгрузки, 13 — диафрагма, 14 — вентилятор, 15 — исполнительный механизм, 19 — дифманометр

и электрическое устройство 6 управления приводом механизма выгрузки извести. Термометр 9 преобразует температуру печеных газов в электрический сигнал, который поступает на вход измерительной схемы прибора 5. Прибор снабжен шкалой, показывающей стрелкой, печатающим механизмом для записи температуры на диаграммной ленте. При отклонении температуры отходящих газов печи за установленный задатчиком 3 предел срабатывает электрическое устройство 6 управления приводом механизма выгрузки и он увеличивает свою производительность. При снижении температуры газов ниже определенного предела механизм выгрузки снижает производительность печи.

Контур автоматического контроля и регулирования расхода воздуха в зону охлаждения печи состоит из измерительной диафрагмы 13 (или сопла), установленной на трубопроводе подачи воздуха, дифманометра 19, вторичного прибора 18, регулятора 17, задатчика расхода воздуха 16 и исполнительного механизма 15, соединенного с направляющим аппаратом вентилятора 14. Диафрагма создает перепад давления воздуха в трубопроводе, пропорциональный его объемному расходу, а дифманометр преобразует перепад давления воздуха в электрический сигнал, который

одновременно поступает на вход вторичного прибора и вход регулятора.

Вторичный прибор преобразует электрический сигнал в показание стрелки на шкале прибора и запись на диаграммной ленте. Показания вторичного прибора в м³/ч служат для визуального контроля за подачей воздуха в печь.

Измерительная схема регулятора 17 сравнивает электрические сигналы от прибора 18 и задатчика 16 регулируемой величины. При отклонении измеряемого расхода воздуха от заданного значения регулятор выдает электрический сигнал, воздействующий на исполнительный механизм 15, который поворачивает направляющий аппарат вентилятора 14 таким образом, чтобы восстановить прежний расход воздуха.

Кроме перечисленных измеряются давление воздуха на вводе в печь, давление и разрежение по высоте шахты, разрежение в трубопроводе отходящих газов и перед дымососом, содержание в отходящих газах O₂, CO и CO₂.

Система контроля и управления шахтной печью, работающей на газообразном топливе, представлена на рис. 50. Система включает в себя контур автоматического регулирования уровня загрузки известняка в печи, приборы безопасной работы печи и контрольно-измерительные приборы основных параметров печи.

Контур автоматического регулирования уровня загрузки известняка в печь состоит из радиоактивного измерителя уровня типа ГР-7 с приемниками гамма-излучения 13, 14, командные электропневматические приборы 2, 5 типа КЭП-12у, станции управления 1, 3, 4, конечные выключатели 9, 15. Приборы КЭП и станции управления, включающие в себя блокировочные реле и магнитные пускатели, смонтированы в одном шкафу управления.

Когда известняк опускается в шахте ниже уровня установки приемника 13, то включается в работу прибор 5, который с помощью обмотки 10 пускает электровибрационный питатель 11, дающий сырье из бункера 12 в ковш 8. После загрузки (по времени) ковша сырьем прибор 5 выключает питатель 11 и включает электродвигатель 6 лебедки 7, которая транспортирует ковш на верх печи. Выключатель 15 останавливает ковш, включает счетчик 44 типа ЭИР отсчета количества загруженных в печь ковшей и включает промежуточное реле времени. Промежуточное реле с выдержкой времени включает прибор 2 и электродвигатель лебедки, которая опускает ковш. Прибор 2 включает на заданное время электродвигатель 16 поворота распределительного лотка механизма загрузки 17. В нижнем положении ковша срабатывает выключатель 9, останавливающий электродвигатель лебедки. При достижении заданного уровня материала в печи уровнемер ГР-7 останавливает электродвигатель лебедки. Схема предусматривает возможность перехода на дистанционное управление загрузкой печи известняком.

При обрыве каната лебедки срабатывает выключатель КОТ (на схеме не показан) автоматики безопасности работы подъем-

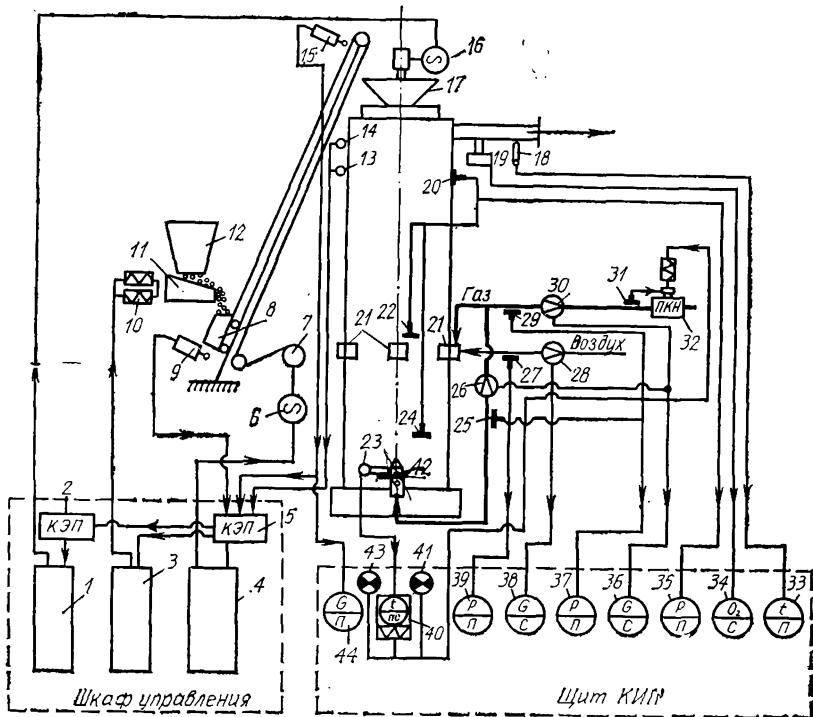


Рис. 50. Схема системы контроля и управления шахтной печью, работающей на газообразном топливе:

1, 3, 4 — станции управления, 2, 5 — электропневматические приборы, 6, 16 — электродвигатели, 7 — лебедка, 8 — ковш, 9, 15 — выключатели, 10 — обмотка электрического вибратора, 11 — питатель, 12 — бункер, 13, 14 — приемники гамма-излучения 17 — механизм загрузки, 18, 23 — термометры, 19 — газоанализатор, 20, 22, 24, 25, 27, 29, 31 — импульсные трубы, 21, 42 — горелки, 26, 28, 30 — диафрагмы, 32 — клапан, 33 — милливольтметр, 34, 40 — приборы, 35 — тягометр, 36, 38 — дифманометры-расходомеры, 37, 39 — напорометры, 41, 43 — сигнальные лампы красного и зеленого цвета, 44 — счетчик ковшей

ника, включая соответствующее реле, после чего электродвигатель 6 лебедки 7 отключается, а на щите загорается сигнальная лампочка аварийной остановки лебедки.

Контроль основных параметров работы печи ведется с помощью следующих приборов КИП. Температура отходящих газов измеряется термоэлектрическим термометром 18 типа ТХК в комплекте с показывающим пирометрическим милливольтметром 33. Содержание кислорода в отходящих газах измеряется газоанализатором 19 типа МН-5130М, который передает показания на вторичный самопишущий прибор 34. Разрежение в печи контролируется с помощью показывающего мембранныго тягомера 35 типа ТМ, соединенного с шахтой импульсными трубками 20, 22, 24.

Подача природного газа в осевую горелку 42 измеряется диафрагмой 26 и самопишущим дифманометром-расходомером 36, общая подача газа — диафрагмой 30 и дифманометром-расходо-

мером 36. Расход воздуха в консольные фирменные горелки ГФИ контролируется диафрагмой 28 и дифманометром-расходомером 38. Давление воздуха перед горелками ГФИ по импульсной трубке 27 передается на показывающий мембранный напоромер 39 типа НМ.

Автоматика безопасной работы печи включает в себя предохранительный запорный клапан 32 типа ПКН и сигнализирующий прибор 40. При снижении давления в трубопроводе природного газа ниже нормы импульс давления поступает по трубке 31 в клапан 32 и он перекрывает подачу в печь топлива. Клапан 32 срабатывает также, если температура осевой горелки, измеряемая термометром 23 в комплекте с сигнализирующим прибором 40, превысит заданную величину. Контактная система прибора 40 при этом включает на щите красную лампочку 41 и звуковой сигнал (сирену). Звуковой сигнал снимается нажатием кнопки, а световой сигнал остается до тех пор, пока температура осевой горелки не снизится до нормальной величины.

Система автоматического контроля и управления шахтной печью, работающей на мазуте, состоит из контуров автоматического регулирования уровня загрузки известняка в печи, разрежения в шахте, соотношения расходов мазута и рециркуляционных газов, соотношения расходов мазута и воздуха, содержания кислорода в рециркуляционных газах, приборов автоматики безопасности и КИП основных параметров работы печи.

Контур автоматического регулирования уровня загрузки известняка в шахте аналогичен описанному для печи, работающей на газообразном топливе.

Контур автоматического регулирования разрежения в шахте включает прибор, измеряющий разрежение в печи на уровне топочных камер, регулятор, задатчик разрежения и электрический исполнительный механизм, соединенный с направляющим аппаратом дымососа. При отклонении разрежения в зоне обжига печи в измерительной схеме регулятора появляется сигнал рассогласования. После усиления в электронном блоке он поступает в исполнительный механизм, который поворачивает направляющий аппарат дымососа, восстановливая заданную тягу в печи.

Контур автоматического регулирования соотношения расхода мазута и рециркуляционных газов, поступающих в топочные камеры, включает в себя расходомер мазута, расходомер рециркуляционных газов, регулятор соотношения мазут--рециркуляционные газы, задатчик соотношения и исполнительный механизм, соединенный с поворотной регулирующей заслонкой ПРЗ. При изменении расхода мазута электрический сигнал от расходомера мазута поступает в измерительную схему регулятора, в которую включен задатчик соотношения. Сигнал рассогласования, усиленный электронным блоком регулятора, воздействует на исполнительный механизм, который поворачивает заслонку ПРЗ, смонтированную в трубопроводе рециркуляционных газов, и их расход изменяется в соответствии с расходом мазута.

Контур автоматического регулирования соотношения расходов мазута и воздуха включает в себя приборы измерения и регулирования, аналогичные контуру соотношения мазут — рециркуляционные газы. Отличие состоит в том, что заслонка ПРЗ смонтирована на трубопроводе, по которому воздух нагнетается вентилятором в зону охлаждения печи.

Контур автоматического регулирования содержания кислорода в рециркуляционных газах, поступающих в топочные камеры печи, состоит из автоматического магнитного газоанализатора типа МН-5130М, регулятора, задатчика содержания кислорода и исполнительного механизма, соединенного с заслонкой ПРЗ, установленной в трубопроводе холодного воздуха. Заборное устройство газоанализатора отбирает пробу газа из коллектора рециркуляционных газов. При отклонении содержания кислорода в коллекторе рециркуляционных газов от заданной величины (12%) в измерительной схеме регулятора появляется сигнал рассогласования, управляющий исполнительным механизмом, который поворачивает заслонку ПРЗ в сторону изменения подачи холодного воздуха в коллектор.

Автоматические приборы безопасной работы печи включают в себя запорный клапан типа ЗСК с электроприводом, установленный на трубопроводе подачи в печь мазута, термометр, измеряющий температуру воды на выходе из балок в комплекте с сигнализирующим прибором, сигнализирующий тягомер, измеряющий разрежение в шахте на границе зон обжига и охлаждения материала. Клапан ЗСК получает электрические сигналы от приборов и прекращает подачу мазута к форсункам в тех случаях, когда температура воды в балках превышает установленную величину или разрежение в печи становится меньше заданного значения. Перекрывая трубопровод мазута, клапан ЗСК одновременно посылает электрические импульсы в схему управления поворотными шиберами, установленными на трубопроводе отходящих газов, и схему пуска вентилятора рециркуляционных газов. Получив импульс от клапана ЗСК, приборы схемы управления шиберами включают быстродействующие электрические исполнительные механизмы, которые открывают шибер, соединяющий печь с дымовой трубой, минуя пылеосадительные циклоны и дымосос, и закрывают шибер на трубопроводе отходящих газов, переводя тем самым печь на работу с естественной тягой от дымовой трубы. При поступлении импульса в схему пуска вентилятора он останавливается и подача в топочные камеры рециркуляционных газов прекращается.

Кроме того, используют следующие приборы КИП. Температуру отходящих газов измеряют термоэлектрическим термометром типа ТХК в комплекте с самопишущим потенциометром типа КСП2. Содержание кислорода в отходящих газах контролируют, используя газоанализатор типа МН-5130М, содержание CO₂ — газоанализатор типа ТП-2220. Разрежение по высоте шахты импульсными трубками передается на щит печи и измеряется мем-

бранным тягомером типа ТМ, который соединен с трубками через многоточечный переключатель.

§ 29. Организация рабочего места у шахтной печи. Техника безопасности

Организация рабочего места у шахтной печи. Шахтной печью обжигальщик управляет из помещения, расположенного на площадке обслуживания зоны обжига печи. В помещении смонтированы пульт и щит управления печью.

На рис. 51 показано расположение элементов типового пульта управления шахтной печи производительностью 100 т/сут, работающей на газообразном топливе.

На щите управления расположена мнемосхема технологической линии производства извести в шахтной печи с сигнальными лампочками зеленого и красного цветов, приборы системы автоматического контроля и регулирования процесса обжига, ключи выбора управления (ручное — автоматическое), приборы дистанционного указателя положения (ДУП) регулирующих органов (степень открытия направляющего аппарата дымососа, угол поворота регулирующей заслонки на газопроводе) и др.

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 выгружаемой извести;

при управлении печью выполнять установленные задания по качеству извести, производительности

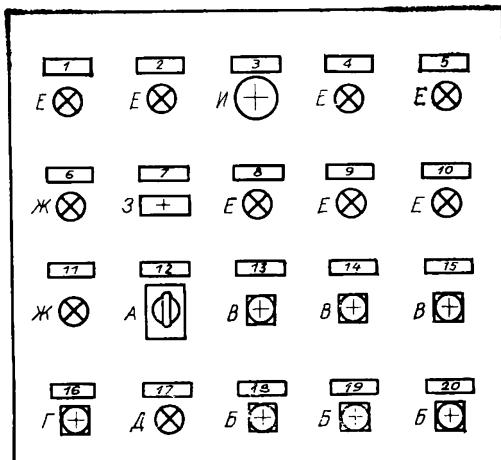


Рис. 51. Элементы типового пульта управления шахтной печи производительностью 100 т/сут, работающей на природном газе: таблички с надписями: 1 — нижний уровень загрузки печи, 2 — ковш внизу, 3 — аварийный нижний уровень загрузки печи, 4 — дозатор сырья, 5 — питатель выгрузки пыли из циклонов, 6 — верхний уровень извести в бункере, 7 — счетчик количества ковшей, 8 — дымосос, 9 — механизм выгрузки, 10 — винтовой конвейер для транспортирования пыли из циклонов, 11 — верхний уровень сырья в приемном бункере печи, 12 — питание цепей управления, 13 — остановка дымососа, 14 — остановка механизма выгрузки, 15 — остановка винтового конвейера, 16 — снятие сигналов уровнемеров, 17 — напряжение, 18 — пуск дымососа, 19 — пуск механизма выгрузки, 20 — пуск винтового конвейера; А — пакетно-кулачковый выключатель, Б — кнопки управления «Пуск» черного цвета, В — кнопки управления «Стоп» красного цвета, Г — кнопка управления белого цвета, Д — сигнальная лампочка с молочным светофильтром, Е — сигнальные лампочки с зеленым светофильтром, Ж — сигнальные лампочки с красным светофильтром, З — счетчик импульсов, И — электрический звонок

агрегата, нормам расхода топлива на обжиг и стойкости футеровки;

контролировать механическое состояние печи и вспомогательных механизмов и устройств;

наблюдать за температурой кожуха печи и футеровки;

следить за состоянием смазочного материала в механизме выгрузки и дымососе;

проверять герметичность 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.

Техника безопасности. При ведении процессов сушки, обжига, его регулировании и устранении нарушений обжигальщик соблюдает следующие правила техники безопасности.

При визуальном контроле процесса обжига через гляделки пользуется защитными очками; лючки открывает обязательно в рукавицах.

При осмотре механизма загрузки печи обжигальщик надевает шланговый противогаз, защищающий от воздействия оксида углерода; при осмотре механизма выгрузки пользуется респиратором.

Свары материала в шахте обжигальщик обрушивает в рукавицах и защитных очках с помощью длинных штанг; запрещается для разрушения сваров пользоваться водой, так как при бурном испарении воды в печи возможны ожоги обслуживающего персонала.

На печи, работающей на газообразном или жидким топливе, запрещается работать при отсутствии в ней необходимого разрежения; опасно стоять напротив открытых лючков работающих горелок или форсунок из-за возможного выбивания пламени; при шуровке камня в зоне обжига необходимо предварительно выключить горелку или форсунку в месте работы и вновь включить ее, окончив шуровку.

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.

Контрольные вопросы

1. Перечислите функции механизма загрузки шахтной печи.
2. В чем состоит назначение выгрузочного устройства шахтной печи?
3. Почему неэффективно применять в шахтной печи твердое топливо с большим выходом летучих веществ?
4. Целесообразно ли применять твердое топливо с размером кусков менее 20 мм в шахтной пересыпной печи?
5. Какими факторами объясняется самый высокий КПД шахтной пересыпной печи?
6. Назовите наиболее эффективные горелки, используемые в шахтных печах, работающих на газообразном топливе.
7. За счет каких составляющих теплового баланса КПД шахтной печи, работающей на газообразном топливе, ниже КПД шахтной пересыпной печи?
8. На-

зовите наиболее эффективный способ сжигания мазута в шахтной печи. 9. Перечислите приборы, использование которых помогает экономить топливо при эксплуатации шахтной печи. 10. Объясните по рисунку работу автоматической загрузки шахтной печи материалами. 11. Какие требования предъявляют к безопасной эксплуатации шахтной печи?

ГЛАВА VII. ОБЖИГ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД ВО ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧАХ

§ 30. Технологические схемы производства комовой извести во вращающихся печах

В зависимости от вида подготовки сырья к обжигу различают мокрый и сухой способы производства извести во вращающихся печах (см. схему III).

Мокрый способ применяют в случае использования мела с карьерной влажностью выше 25 %. При этом способе мел измельчают и перемешивают, используя определенное количество воды.

При *сухом способе* измельчают и разделяют на фракции карбонатное сырье карьерной влажности. Сырье поступает во вращающуюся печь в виде кусков. В промышленности применяют главным образом сухой способ производства извести.

Вращающаяся печь представляет собой футерованный изнутри вращающийся стальной цилиндрический корпус, установленный наклонно на роликовых опорах. В зависимости от отношения длины корпуса L к его диаметру D_0 в свету различают длинные (отношение $L/D_0=35\dots45$) и короткие с запечными теплообменниками ($L/D_0=14\dots20$) вращающиеся печи.

При мокром способе производства известь производят в длинных вращающихся печах, при сухом способе — в длинных и коротких вращающихся печах. В зависимости от конструкции запечного теплообменника обжигают фракционированный известняк или гранулированный мел.

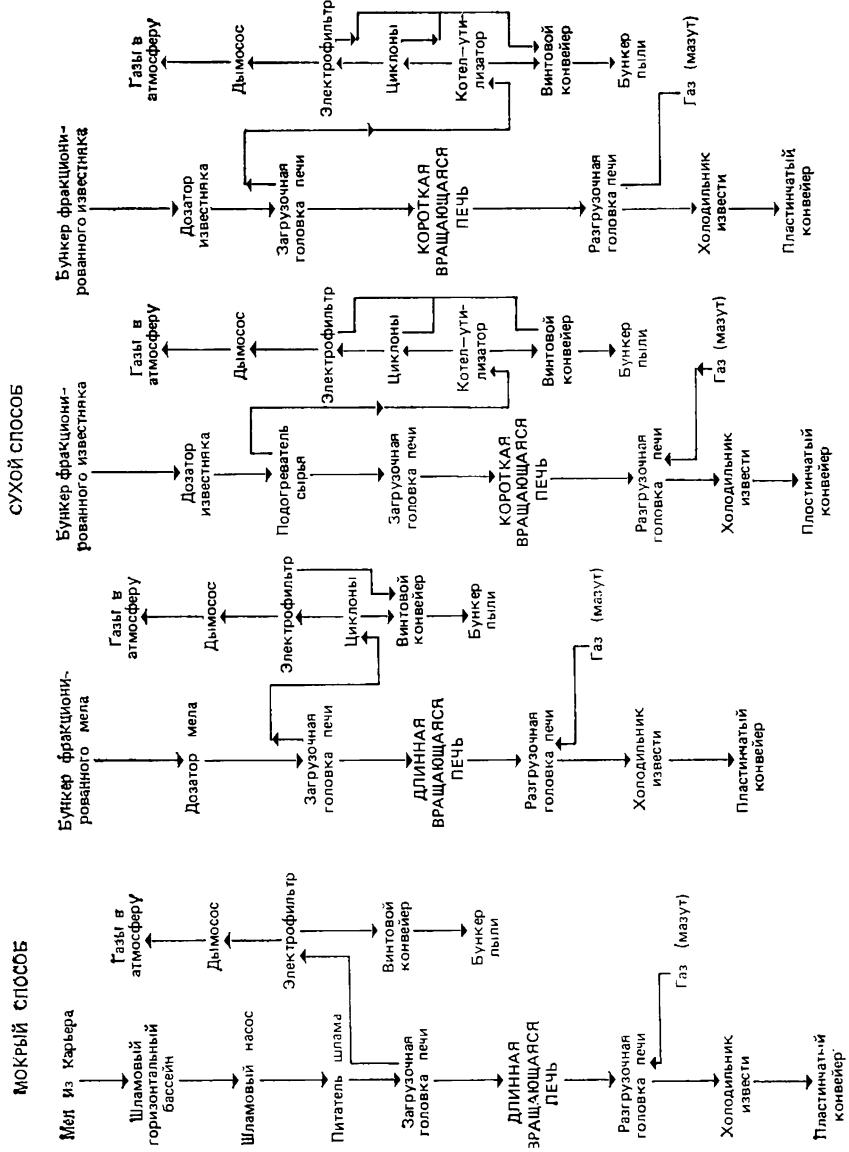
При обжиге мела влажностью 25...35 % по мокрому способу из него предварительно приготовляют шлам влажностью 37...44 %, который накапливается в горизонтальном бассейне, оборудованном пневмомеханическим смесителем. Из бассейна шлам насосами подается в питатель шлама, который равномерно загружает его в печь. Пройдя стадии сушки, подогрева и обжига, мел превращается в известь, котораясыпается в холодильник, а из него — на пластинчатый конвейер.

Топливо поступает в разгрузочную головку печи через горелочное устройство.

Температура отходящих из печи газов — 200...250 °C. Сравнительно невысокая запыленность газов позволяет выполнять одноступенчатую очистку от пыли в электрофильтре. Уловленная пыль периодически выгружается из электрофильтра и винтовым конвейером транспортируется в бункер пыли.

При обжиге мела влажностью 10...20 % фракции 40...20 мм или 20...5 мм в длинной вращающейся печи по сухому способу мел из бункера весовым автоматическим дозатором равномерно

Схема III. Принципиальные технологические схемы производства извести во вращающихся печах по мокрому и сухому способам



загружается в печь. Перемещаясь в барабане печи, мел обжигается при температуре 1100 ... 1400 °C и образующаяся известь ссыпается из печи в холодильник, где температура извести снижается до 120...40 °C. Из холодильника известь выгружается на пластинчатый конвейер, который транспортирует ее на склад.

Газообразное или жидкое (мазут) топливо подается в печь с помощью горелки или форсунки, смонтированной в разгрузочной (горячей) головке печи.

Газообразные продукты обжига, выходящие из загрузочной головки печи при температуре 350...450 °C, проходят двухступенчатую очистку от пыли в циклонах и электрофильтре, после чего дымососом выбрасываются через дымовую трубу в атмосферу. Уловленная в циклонах и электрофильтре пыль винтовыми конвейерами периодически транспортируется в сборный бункер пыли.

При производстве извести в короткой вращающейся печи с запечным теплообменником, включающим в себя подогреватель сырья и котел-utiлизатор, очищенный от глинистых примесей известняк фракции 20...40 мм влажностью до 8% из расходного бункера весовым дозатором равномерно загружается в подогреватель сырья. Здесь отходящие из печи газы повышают его температуру до 650...850 °C. Из подогревателя известняк поступает в печь, где обжигается при температуре 1100...1400 °C. Известь из барабана печи ссыпается в холодильник, в котором ее температура снижается до 120...40 °C, и далее поступает на пластинчатый конвейер, транспортирующий ее в промежуточные бункера или на склад.

Топливо поступает в печь через горелочное устройство, расположенные в ее разгрузочной головке.

Температура выходящих из подогревателя сырья газов — 400...450 °C. Их направляют вначале в котел-utiлизатор, где они охлаждаются до температуры 230...190 °C, затем на очистку от пыли в циклоны и электрофильтр и далее дымососом через дымовую трубу в атмосферу. Уловленная в пылеосадителях и котле пыль винтовым конвейером периодически транспортируется в бункер пыли.

При обжиге фракционированного известняка в короткой вращающейся печи с запечным теплообменником, состоящим из котла-utiлизатора, известняк загружается в печь при температуре окружающей среды, в связи с чем на его обжиг затрачивается на 20...30% больше топлива, чем в печи с подогревателем сырья. Выходящие из загрузочной головки печи газы имеют температуру 900...950 °C и высокую запыленность. Пройдя газоход котла-utiлизатора, газы охлаждаются до температуры 230...250 °C, отдавая большую часть своей теплоты на выработку пара. Затем газы поступают на очистку от пыли в циклоны и электрофильтр. Очищенные газы выбрасываются дымососом через дымовую трубу в атмосферу. Уловленная в пылеосадителях и котле-utiлизаторе пыль периодически транспортируется винтовыми конвейерами в бункер пыли.

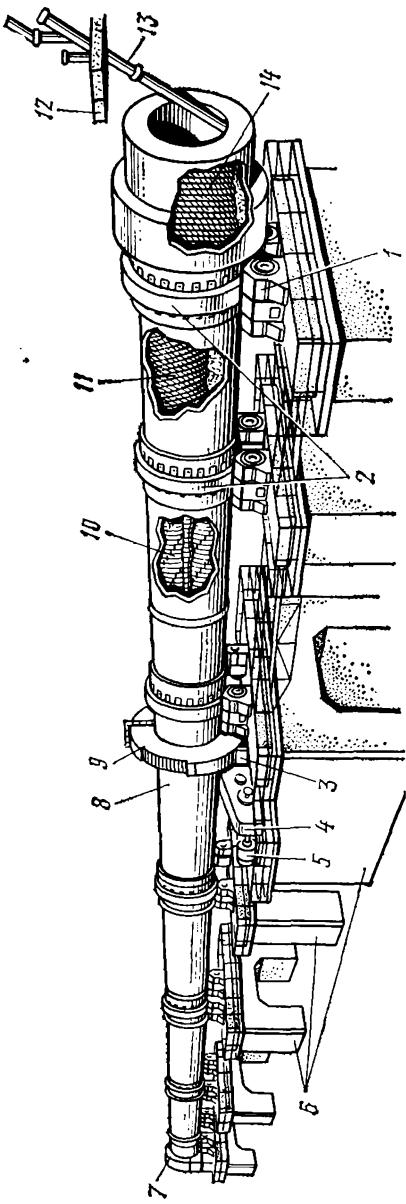


Рис. 52. Длинная печь с внутренними теплообменниками:
1 — опора, 2 — бандажи, 3 — полувинтовая шестерня, 4 — редуктор привода, 5 — электродвигатель главного привода печи, 6 — фундаментные опоры, 7, 12 — головки, 8 — корпус, 9 — винтовая шестерня, 10, 11, 14 — теплообменники, 13 — течка сырья

§ 31. Устройство и работа длинных вращающихся печей с внутренними теплообменниками

Длинные вращающиеся печи выпускают с внутренними (внутрипечными) теплообменниками или без них. Отсутствие внутренних теплообменников существенно снижает тепловой КПД печи и соответственно увеличивает расход топлива на обжиг. Вращающаяся печь (рис. 52) состоит из теплоизолированного цилиндрического корпуса 8 с внутренними (внутрипечными) теплообменниками 10, 11, 14, роликовых опор 1, установленных на фундаментные опоры 6, упорного устройства или гидравлических упоров, привода, разгрузочной 7 и загрузочной 12 головок.

Корпус печи представляет собой сваренный из секций полый стальной барабан диаметром 2,2 5 м и толщиной до 30 мм. На корпусе закреплены бандажи 2, опирающиеся на опоры 1. Для повышения жесткости корпуса его толщину под бандажами и приводной шестерней увеличивают в 2 ... 3 раза. Корпус печи оборудован люками, а также отверстиями для установки контрольно-измерительных приборов.

Футеровка корпуса печи служит для защиты стального корпуса от

перегрева. Температура корпуса не должна превышать 300 °С, так как это приводит к его деформации. Корпус футеруют огнеупорным кирпичом и жаростойким бетоном. При нагреве футеровка расширяется и в ней возникают напряжения, которые пропорциональны температуре. Неравномерность нагрева по толщине футеровки корпуса печи сопровождается повышенным напряжением в ее внутреннем слое, что приводит к скальванию поверхности футеровки при значительных колебаниях температуры ее внутренних слоев. Поэтому для зоны обжига применяют огнеупорные изделия, предел прочности на сжатие которых в холодном состоянии не ниже 20 МПа.

В зоне высоких температур корпус футеруют фасонным хромомагнезитовым ХМЦ или магнезитохромитовым МХЦ кирпичом, в зоне умеренных и низких температур — шамотными уплотненными ШЦУ и шамотными обычными ШЦО изделиями (ГОСТ 21436—75*). Стойкость футеровки в зоне обжига находится в пределах 200...300 сут, в зонах умеренных температур — 360...450 сут и снижается с увеличением диаметра корпуса печи. Осадка опор печи увеличивает изгибающие моменты, действующие на корпус, и разрушает футеровку, поэтому необходимо систематически контролировать состояние опор и корпуса печи. Увеличению стойкости футеровки способствует применение кирпичей, кривизна которых соответствует диаметру корпуса печи.

Роликовая опора печи размером 3,6×110 м показана на рис. 53. На сварной раме 2 основания смонтированы две пары подшипников скольжения 6, в которых врачаются оси с плотно насаженными на них роликами 1. Расстояние между центрами каждой пары роликов устанавливают натяжными болтами 5. Упоры 4 служат для закрепления положения подшипников на раме. С наружной стороны ролики закрыты кожухом 3. Подшипники опорных роликов оборудованы самоустанавливающимися вкладышами с шаровой опорной поверхностью, снабжены автоматической смазочной системой с помощью черпакового устройства и водяным охлаждением.

Чтобы предотвратить осевое смещение печи, одну или две пары опорных роликов устанавливают под углом к оси печи. Этот метод эксплуатации роликов сопровождается повышением их износа и используется как вынужденная мера.

Упорное устройство (рис. 54) ограничивает осевое смещение печи и состоит из станины 1, двух упорных роликов 2, 4 и автоматической смазочной системы. Ролики напрессованы на вертикальные оси, врачающиеся в роликоподшипниках 3, 5. Упорные (контрольные) ролики устанавливают у опоры, находящейся вблизи от венцовой шестерни печи, с двух сторон бандажа. Зазор между роликом и бандажом — 20...40 мм. Вращение одного из роликов свидетельствует о соответствующем предельном смещении печи, допускаемом для нормального зацепления венцовой и подвенцовой шестерен.

В печах большой мощности для регулирования хода печи вдоль

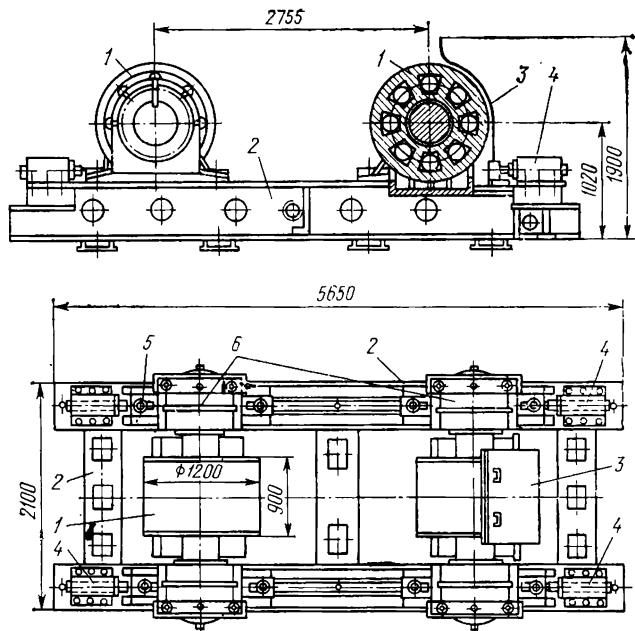


Рис. 53. Роликовая опора печи размером $3,6 \times 110$ м:
1 — ролики, 2 — рама, 3 — кожух, 4 — упоры, 5 — болт, 6 — подшипники

ее оси используют гидравлические упоры (на рис. 52 не показаны), которые исключают необходимость перекоса опорных роликов печи.

Гидравлический упор (рис. 55) состоит из упорного ролика 5, оси 4, направляющих 2, гидроцилиндра 7 и станины 1. Гидроупор монтируют на раме опорных роликов так, чтобы он прымкал к

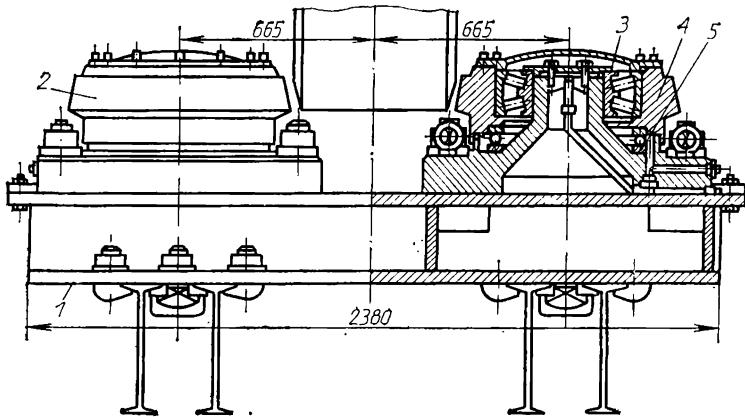


Рис. 54. Упорное устройство печи размером 4×150 м:
1 — станина, 2, 4 — ролики, 3 — двухрядный сферический роликоподшипник,
5 — подшипник с коническими роликами

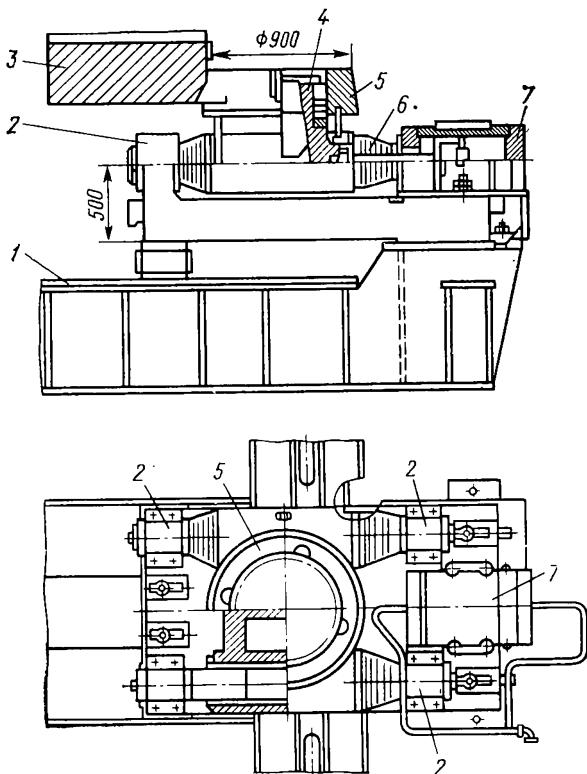


Рис. 55. Гидравлический упор печи размером $4,5 \times 170$ м:

1 — станина, 2 — направляющие, 3 — бандаж, 4 — ось, 5 — ролик, 6 — корпус, 7 — гидроцилиндр

скосу бандажа 3. Корпус 6 упорного ролика установлен на двух цилиндрических направляющих, вмонтированных в станину, и перемещается по ним. Все гидроупоры соединены между собой и с группой насосов гидропроводами. Работой гидроупоров управляют с пульта печи дистанционно или в автоматическом режиме.

Смонтированная на печи система гидроупоров работает следующим образом. При работе насосов в гидроцилиндрах развивается усилие, сдвигающее корпус печи вверх (в сторону загрузочного конца). При достижении верхнего крайнего положения срабатывает конечный выключатель и насос останавливается. За счет дросселирования масла в блоке управления усилие, развиваемое штоком гидроцилиндра, уменьшается и корпус печи под действием осевой составляющей ее веса постепенно (за 12...24 ч) сползает вниз (к разгрузочной головке). В крайнем положении корпуса печи срабатывает конечный выключатель, пускающий маслонасосы системы, и гидроупоры начинают постепенно сдвигать корпус печи вверх.

Привод печи (см. рис. 52) состоит из электродвигателя 5 с электромагнитным тормозом и редуктора. Корпус печи установлен с уклоном 3...4% к горизонту и вращается с частотой 0,5...1,5 об/мин. Электродвигатель 5 соединен 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. Тормоз электродвигателя зажимает приводной вал при его срабатывании, что позволяет останавливать печь в любом положении.

Печь снабжена вспомогательным приводом небольшой мощности, который дает возможность вращать корпус с частотой 4 об/ч в период пуска и при ремонтных работах.

Внутренние теплообменники 10, 11, 14 служат для улучшения теплообмена между газовым потоком и материалом в холодной части длинных печей. В основном применяют цепные теплообменники.

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 использование цепного теплообменника из жаропрочной стали позволяет подогревать кусковой материал до температуры 500...600°C 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. 56, а) цепь с помощью швеллера или кольца подвешивают одним концом к внутренней стороне корпуса, а другой конец цепи свободно свисает. Длина каждой цепи — 0,6...0,7 от диаметра печи в свету, а расстояние между рядами цепей — 0,2...0,25 м.

При навеске цепей гирляндами (рис. 56, б) крепят оба их конца по винтовой линии. Цепи свисают до оси печи или несколько ниже.

При хордовой навеске цепей каждая цепь закрепляется в нескольких местах по длине окружности внутреннего диаметра печи и располагается на поверхности футеровки по винтовой линии.

В зависимости от места расположения в печи используют круглые и овальные корабельные цепи или цепи из жаропрочной стали с диаметром прутка 19...25 мм. Общая длина цепей печи — несколько сотен метров, а эффективная поверхность — 400...1000 м².

Корпус печи загрузочным концом входит в загрузочную головку 12, а разгрузочным — в откатную или стационарную головку 7 (см. рис. 52). Разгрузочная 7 и загрузочная 12 головки представляют собой стационарные металлические конструкции, сваренные из листовой стали и футерованные изнутри огнеупорными кирпича-

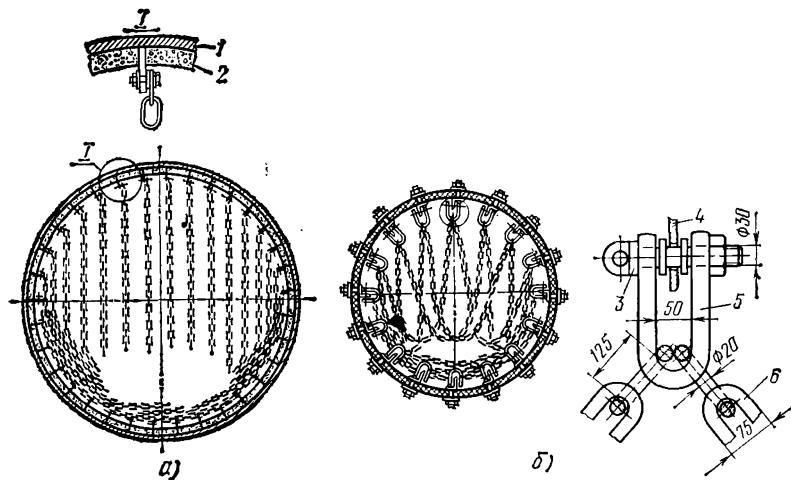


Рис. 56. Навеска цепей в теплообменнике:
а — свободными концами, б — гирляндная; 1 — корпус печи, 2 — бетон, 3 — штифт, 4 — угольник, 5 — крепление цепи, 6 — звено

ми. Разгрузочная головка переходной камерой соединена с приемной частью однобарabanного холодильника. Концевая обечайка разгрузочной части корпуса современных мощных печей охлаждается холодным воздухом, нагнетаемым вентилятором между ней и дополнительной конической обечайкой. На передней стенке разгрузочной головки 7 смонтирована дверь, в которой предусмотрены отверстия для установки горелок или форсунок и расположены два смотровых и один ремонтный люк.

Газообразное топливо подается в печь горелками, мазут—форсунками. Горелки и форсунки придают факелу необходимую форму и направление.

При сжигании газообразного топлива применяют горелки низкого и среднего давления.

Двухканальные горелки низкого давления (рис. 57) используют в основном во вращающихся печах. В такой горелке по внутренней трубе 7 через патрубок 1 под давлением 20...50 кПа подается газ, по внешней 6 через патрубок 4 под давлением 1,6 ... 2,5 кПа с помощью вентилятора — воздух. 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.

В горелку подается 15...30% воздуха от общего расхода. Подачу воздуха регулируют шибером 5. Скорость истечения газа — 40...75 м/с, воздуха 30...60 м/с.

Одноканальные горелки среднего давления (давление газа у обреза сопла до 70 кПа) выпускают без завихрителя в трубе. Газ полностью смешивается с воздухом за счет высокой степени тур-

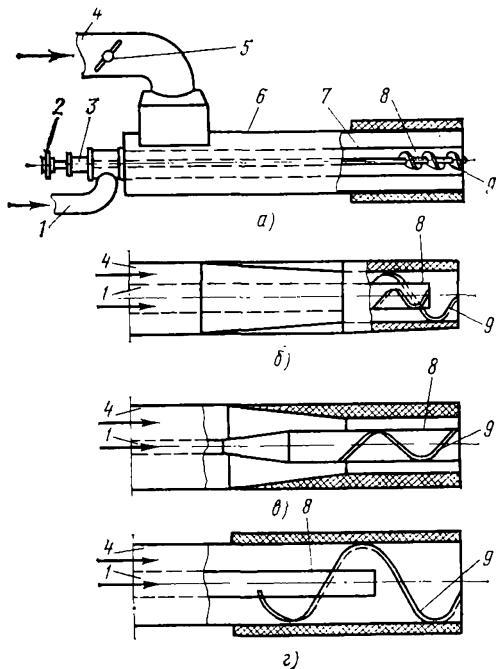


Рис. 57. Двухканальная газовая горелка:
а, б, в — варианты исполнения; 1, 4 — патрубки,
2, 3 — механизмы регулирования горелки,
6 — шибер, 5 — внешняя и внутренняя трубы,
8 — конфузор, 9 — завихритель

давления ВРГ (рис. 58) позволяют устранить недостатки одноканальных горелок, сохранив их преимущества. Площадь выходного кольцевого сечения сопла 3 изменяют путем перемещения (вперед-назад) сердечника 2. Для этого пользуются рукояткой 6, с помощью

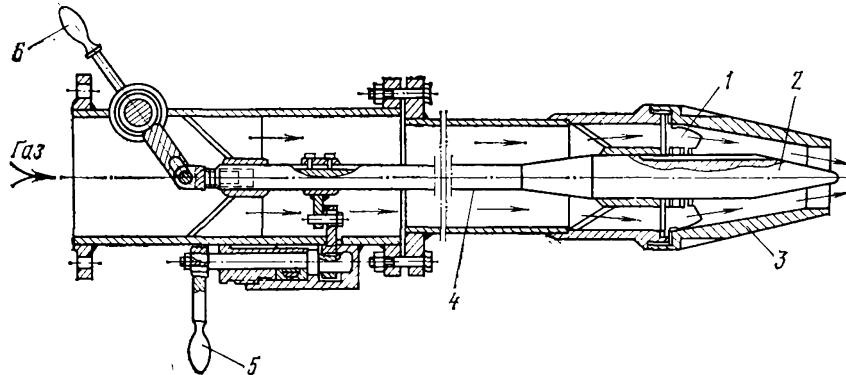


Рис. 58. Одноканальная регулируемая горелка ВРГ:
1 — лопатка, 2 — сердечник, 3 — сопло горелки, 4 — шток сердечника, 5 — рукоятка завихрителя, 6 — рукоятка для перемещения сердечника

булентности газового потока при высоких скоростях истечения газа из сопла (200 ... 400 м/с).

Эти горелки обладают лучшими эксплуатационными свойствами. Сопло горелки не обгорает при работе, так как длина зоны воспламенения газа остается достаточно большой. Воздух в горелку не подается, поэтому весь воздух на сжигание топлива проходит через холодильник печи, что улучшает использование физической теплоты извести.

Недостаток горелок — ограниченная возможность регулирования положения и длины факела. Поэтому в печи устанавливают две горелки. Изменяя направление каждой из них и давление газа перед соплом, смещают положение зоны горения топлива.

Одноканальные регулируемые горелки среднего

размера

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 шарнирных 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. 59) имеет два канала 1 и 5 для подвода мазута к съемным распылителям 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 изменять их положение и тем самым степень закручивания мазутной струи. Сечение сопла форсунки постоянное и его регулируют 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 отверстие в штоке 3 попадает в канал 1. Из этого канала мазут через канавки распылителей 6 и 8 выходит через отверстие сопла в пространство. Проходя через каналы распылителей, струя мазута за-

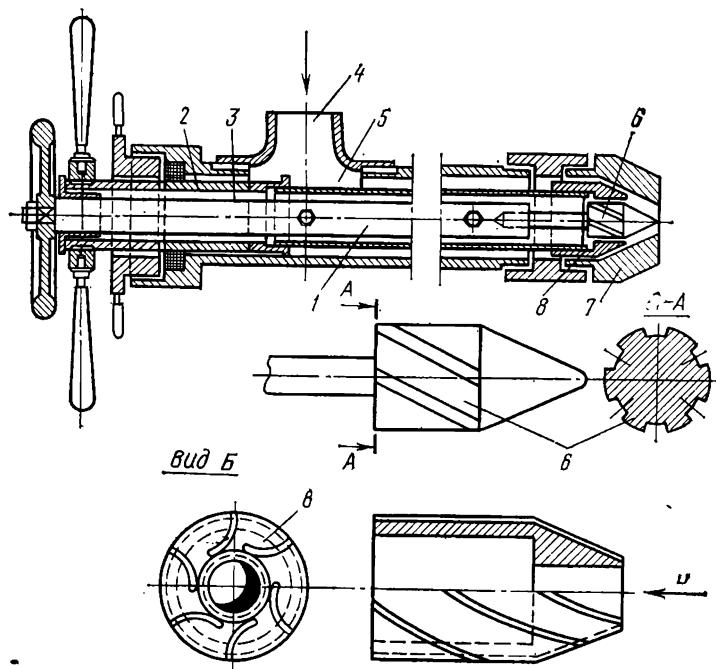


Рис. 59. Механическая форсунка с винтовым распылителем:
1, 5 — каналы для мазута, 2, 3 — штоки распылителей, 4 — патрубок для ввода мазута, 6, 8 — распылители, 7 — насадок

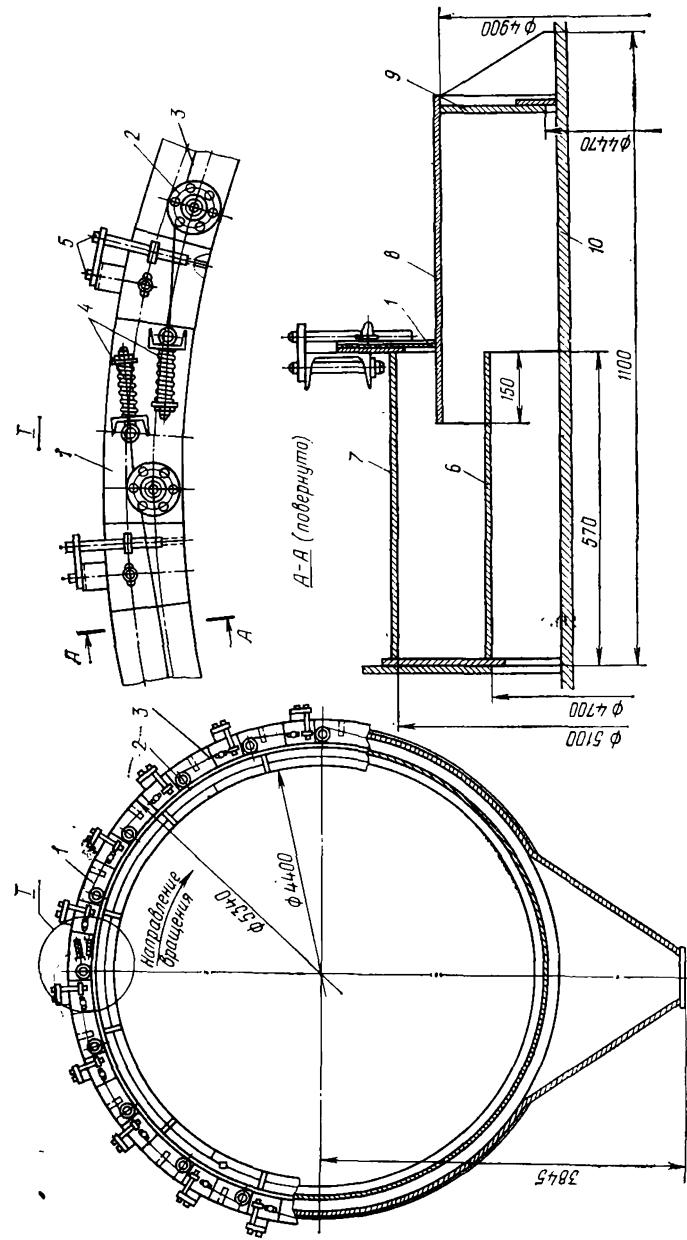


Рис. 60. Уплотнительное устройство разгрузочного конца вращающейся печи размером $4,5 \times 170$ м:
 1 — сектор, 2 — ролики, 3 — канат, 4 — пружины, 5 — стержни, 6—8 — обечайки, 9 — концевая обечайка, 10 — корпус печи

кручивается и на выходе из сопла разбивается на мельчайшие капельки в виде тумана.

Уплотнительное устройство разгрузочного конца вращающейся печи (рис. 60) состоит из двух неподвижных обечаек 6 и 7, концентрически приваренных к торцу разгрузочной головки, подвижной обечайки 8, смонтированной на концевой обечайке 9 корпуса печи, и металлических секторов 1, которые закрывают зазор между обечайками. Секторы 1 с помощью пружин 4 с канатами 3 прижимаются стержнями 5 к поверхности обечайки 8, чем создается необходимая герметизация печи. Канат 3 пропущен через шкивы роликов 2.

Загрузочная головка печи (см. рис. 52) 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 предусмотрен фланец, к которому прикреплена течка сырья 13, представляющая собой стальную трубу диаметром 200...300 мм.

Загрузочный конец длинной печи уплотняют транспортерной лентой, один конец которой болтами прикреплен к обечайке, смонтированной на торцовом листе загрузочной головки, 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.

Холодильник вращающейся печи служит для снижения температуры извести с 1000 до 150...80°C и возврата физической теплоты извести в печь с охлаждающим ее воздухом. В длинных вращающихся печах используют холодильники барабанного типа, подразделяющиеся на многобарабанные и однобарабанные.

Многобарабанный (рекуператорный) холодильник (рис. 61) состоит из 10...12 охладительных барабанов 1 диаметром 0,8...1,35 м и длиной 4,4...6 м, расположенных вокруг разгрузочного конца печи 5 и сообщающихся с ней патрубками 4, через которые известь выходит из печи в холодильник, а нагретый вторичный воздух поступает из холодильника в печь. Высокотемпературная часть каждого барабана футерована плитами 3 из жаростойкого 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.

Преимущество рекуператорного холодильника по сравнению с холодильниками других типов состоит в том, что он вращается вместе с печью и, следовательно, не требует отдельного привода.

Однобарабанный холодильник (рис. 62) представляет собой вращающийся стальной барабан 3 диаметром 2...5 м и длиной 20...56 м, снаженный внутри металлическими полками 11 и радиальными перегородками 12. Барабан установлен с уклоном 3,5%

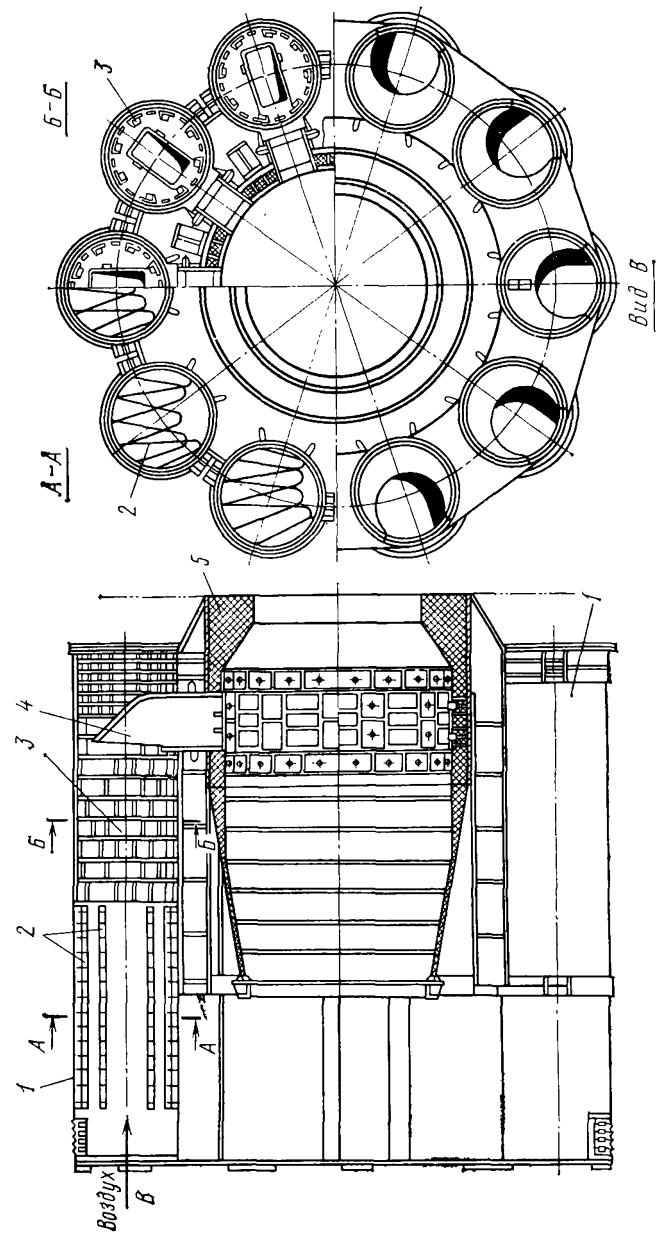


Рис. 61. Многобаранный (рекуператорный) холодильник:
1 — барабаны, 2 — цепная завеса, 3 — фугеровочные плиты, 4 — патрубок, 5 — печь

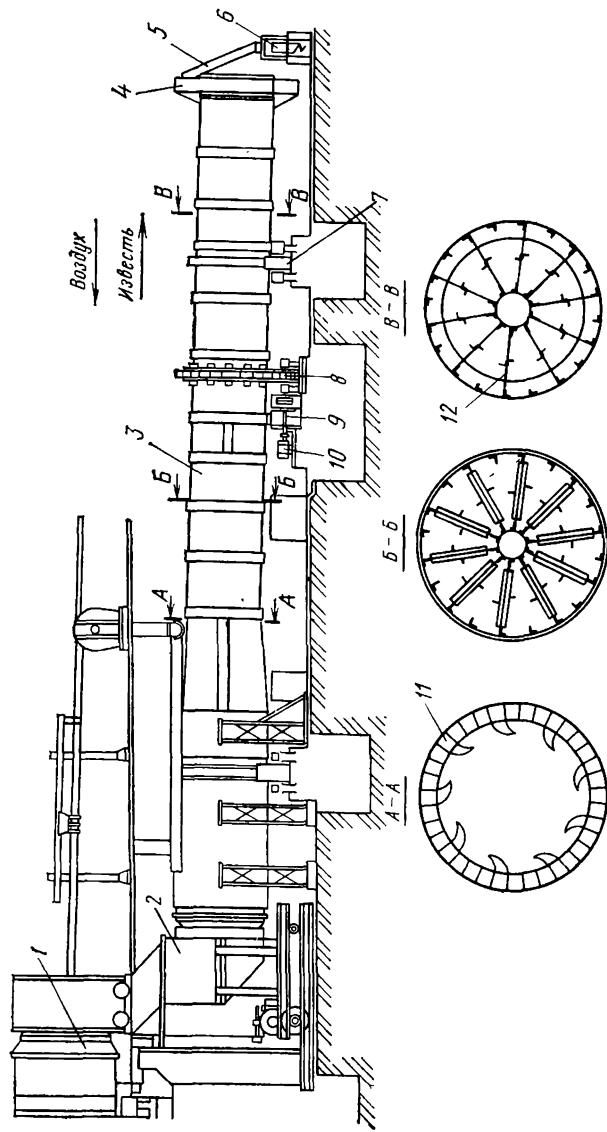


Рис. 62. Однобарабанный холодильник.
 1 — печь, 2 — камера, 3 — барабан, 4 — ковши, 5 — течка, 6 — конвейер, 7 — опора, 8 — зуничая передача, 9 — рефлектор, 10 — электродвигатель, 11 — полка, 12 — перегородка

Отношение L/D_0	41,5	34,4	37,5	41,7	25,3	21,5	$\frac{28,5}{4}$
Уклон корпуса, %	4	3,5	3,5	4	3,5	3,5	
Частота вращения корп- пуса, 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	0,5...1,17
Производительность, т/ч	31,8	13,5	5,9	24	11,5	10,8	4,9
Удельные съемы из нес- ти:							
т/м ² в сутки	57,8	42,2	46,7	55	34,5	32,4	28,3
т/м ³ в сутки	0,34	0,38	0,62	0,37	0,43	0,47	0,43
Содержание в извести активных CaO+MgO, %	90	80	70	90	85	80	80
Удельный расход услов- ного топлива на 1 т фи- зической извести, кг	2,0	280	380	240	346	285	308
Потребляемая электро- энергия, кВт·ч/т	21,6	20	36	20	20,4	16	16
Вид сырья							
Химический состав, %:							
CaCO ₃	97	92,5	96,5	92,9	96,4	95,5	94,3
MgCO ₃	—	1,6	0,5	1,5	0,8	0,4	1,0
SiO ₂ +R ₂ O ₃	3	5,5	2,5	5,6	2,6	3,7	4,7
п. п.	42,75	42,8	43	42,6	43	42,23	41,24
Влажность сырья, %	37	40	45	10	24...30	4	22...26
Размер кусков, мм	—	—	—	0...20, 20...50	0...50	10...30	0...20, 20...40
Удельный расход сухо- го сырья с учетом пы- леуноса, кг/кг	1,86	1,8	1,74	1,92	1,96	1,86	1,95
Пылеунос, %	8	5	8	10	15	12	12

Вид топлива	Природный газ		Мазут М100	Природный газ	
	БРГ	Двухканальная горелка		Мазутная форсунка с винтовыми распылителями	Двухканальная горелка
Тип внутривечного теплообмена	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
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
Температура газов на выходе из барабана печи, °С	210	165	230	300	760
Температура известника на выходе из ходильника, °С	150	50	120	150	120
					650
					180
					580
					150

* Проектные показатели.

к горизонту на двух или трех роликовых 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 известь поднимается укрепленными на конце барабана ковшами 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 разгрузочной головке печи или от вентилятора, нагревается в холодильнике за счет физической теплоты извести и поступает в печь при температуре 250...300°C.

Для уменьшения потерь теплоты через корпус холодильника и защиты его от истирания и высокой температуры он футерован изнутри до половины длины, считая от горячего конца, оgneупорным кирпичом. Кроме того, корпус холодильника может быть дополнительно снабжен воздушным или водяным охлаждением в виде рубашки или коробки. Тепловой КПД холодильников из-за больших потерь теплоты корпусом не превышает 70%.

Основные показатели длинных вращающихся печей при обжиге карбонатных пород на известь приведены в табл. 3.

§ 32. Эксплуатация длинных вращающихся печей

Пуск печи. Перед пуском вновь выстроенной или прошедшей капитальный ремонт вращающейся печи проверяют соответствие монтажа оборудования техническому проекту.

Сушку дымовой трубы и борцов производят одновременно с сушкой и разогревом вращающейся печи.

Перед пуском печи после монтажа, ремонта или длительной остановки начальник цеха, сменный мастер и обжигальщик проверяют готовность оборудования всей технологической линии от склада сырья до склада извести. Затем тщательно осматривают корпус, футеровку, теплообменники печи и холодильник; приводы печи, холодильника; вентилятор первичного воздуха и дымосос; смазочную систему; электрическую пусковую и сигнальную аппаратуру; контрольно-измерительные приборы; пылеосадительную установку; предохранительные взрывные клапаны на газоходах и загрузочной головке печи.

При подготовке к пуску *печи, работающей на газообразном топливе* (рис. 63), работники газовой службы проверяют состояние оборудования газораспределительного устройства ГРУ и давление в газопроводе (должно быть 50...300 кПа). Ответственный за газовое хозяйство совместно с обжигальщиком печи должны убедиться в том, что контрольная 14 и рабочая 19 задвижки газопровода закрыты, а кран 16 на продувочном газопроводе 17 открыт.

При подготовке к пуску вращающейся печи на жидкое топливо проверяют мазутопровод, паропровод, мазутный насос и контрольно-измерительные приборы топливной системы. Температура по-

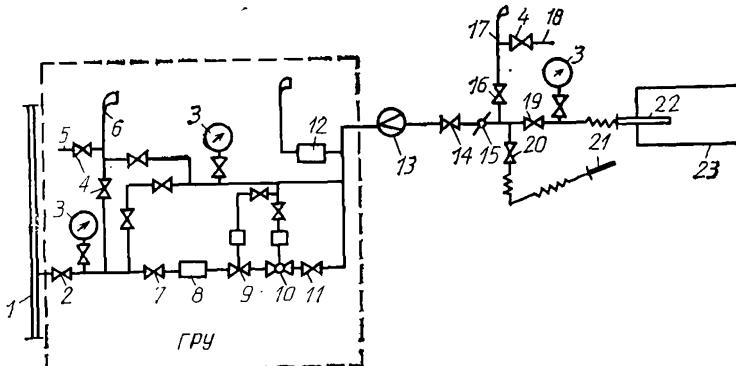


Рис. 63. Схема газоснабжения вращающейся печи:

1 — газопровод цеха, 2, 7, 11, 14, 19 — задвижки, 3 — манометры, 4, 16, 20 — краны, 5, 18 — штуцера, 6, 17 — продувочные газопроводы (спечи), 8 — фильтр, 9 — регулятор давления, 10 — предохранительный запорный клапан, 12 — предохранительный сбросной клапан, 13 — измерительная диафрагма, 15 — поворотная регулирующая заслонка ПРЗ, 21, 22 — горелки, 23 — печь

догрева мазута должна быть в зависимости от марки мазута 80...115 °С.

После опробования и наладки всех механизмов и приборов печи приступают к ее пуску (розжигу).

Пуск (розжиг) печи производят с разрешения главного инженера предприятия в присутствии начальника цеха и ответственного лица за состояние газового хозяйства на заводе (при работе на газообразном топливе).

Розжиг длинной вращающейся печи на газообразном топливе выполняют следующим образом. Работники газовой службы по специальной инструкции производят продувку участка трубопровода до задвижки 14. Окончание продувки трубопровода устанавливают, анализируя пробу газа на содержание в ней кислорода (не более 1%).

Далее обжигальщик печи включает дымосос и вентилятор воздуха и в течение 5...10 мин вентилирует газовый тракт печи. Останавливает дымосос, вентилятор и шибером дымовой трубы устанавливает разрежение в разгрузочной головке печи 20...30 Па. Затем вместе с работником газового хозяйства снимает заглушку на трубопроводе перед горелкой. Открыв задвижку 14 и кран 16, 2...3 мин продувает трубопровод. Открыв кран 20, зажигает запальную горелку 21 и подвешивает ее у обреза горелки 22. Постепенно открывая задвижку 19, подает газ в горелку 22 в количестве, необходимом для горения газа небольшим факелом (10...15% от нормального расхода). В дальнейшем расход газа постепенно увеличивает, соответственно увеличивая подачу воздуха в случае использования двухканальной горелки.

Если газ в горелке не загорелся или факел оторвался, немедленно закрывает задвижки 19 и 14, увеличивает разрежение в

печи и вентилируют газовый тракт печи 5...10 мин. После этого вновь приступают к розжигу горелки.

Розжиг печи, работающей на жидком топливе, выполняют в следующем порядке. В печь закладывают на расстоянии 3,5 м от обреза мазутной форсунки 3 м³ сухих дров. Дрова укладывают клеткой высотой $\frac{3}{4}$ диаметра печи, обливают жидким топливом 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 топлива обжигальщик постепенно увеличивает подачу в форсунку топлива и воздуха, наблюдая за горением топлива через смотровые лючки в разгрузочной головке печи.

Сушку и разогрев печи ведут по заданному графику от горелки при дистанционном управлении. В начальный период горение топлива организуют с большим коэффициентом избытка воздуха, получая продукты горения при низкой температуре. Для этого количество подаваемого в печь воздуха регулируют как увеличением разрежения в печи, так и открытием направляющего аппарата вентилятора.

Скорость подъема температуры в зоне обжига в начальный период контролируют по показаниям термопар, заложенных в кладку печи, и подключенных к самопищущему потенциометру. После того как температура футеровки поднимается до 900 °C, ее контролируют по оптическому пирометру. Скорость подъема температуры футеровки в зоне подогрева и температуры отходящих газов в загрузочной головке печи определяют по показаниям стационарно установленной аппаратуры.

При сушке и разогреве печи футеровка испытывает усадку и в верхней части свода появляется зазор. Чтобы не вызвать сдвига футеровки по отношению к корпусу печи через 30...40 мин после того, как в ней зажжен факел, печь поворачивают, используя вспомогательный привод, на 180°, через 20, 15, 10 мин — на 90°. Когда температура футеровки в зоне обжига повысится до 500...600 °C (красное свечение), а температура газов в загрузочной головке до 200 °C, печь переводят на постоянное вращение от вспомогательного привода. Быстрый рост температуры отходящих газов печи ограничивают, подмешивая к ним холодный воздух через приоткрытые люки загрузочной головки и газохода.

Затем приступают к периодической подаче в печь сырья или шлама. Для этого вначале включают в работу электрический фильтр, а затем периодически включают дозатор сырья или шлама. В первое время дозатор включают на 3...5 мин. Такая загрузка печи сырьем соответствует нормальной толщине слоя материала в корпусе.

Когда температура футеровки в зоне обжига достигнет 1100 °C, а температура в зоне подогрева и в загрузочной головке — заданных графиком величин, то увеличивают подачу в печь топлива, включают дымосос и начинают вращать ее от главного привода с непрерывной подачей сырья дозатором. Вначале подают в него

сырье из расчета 70...75% его нормальной производительности. При этом следят за температурой отходящих газов и температурой материала в зоне подогрева и поддерживает их в пределах, заданных графиком разогрева печи.

При подходе материала к зоне обжига увеличивают подачу в печь топлива, первичного воздуха и тягу дымососа, включают в работу холодильник. После заполнения холодильника известью розжиг печи считается законченным.

На рабочий режим вращающуюся печь выводят, постепенно увеличивая подачу в печь топлива, воздуха и сырья при регулярном контроле качества известия. После достижения проектных параметров обжига включают систему автоматического регулирования обжига. Систему автоматической отсечки газопровода переключают с ручного управления на автоматическое. На этом вывод печи на эксплуатационный режим заканчивают.

Обжиг карбонатных пород. Во вращающихся печах сравнительно просто достигается полное сжигание газообразного и жидкого топлива. Используемые горелки и форсунки достаточно совершенны по конструкции и позволяют организовать их работу с коэффициентами избытка воздуха 1,05...1,15. Конструкция горелок и форсунок содержит механизмы, с помощью которых можно изменять длину и форму факела в печи. От размеров факела зависят длина зоны обжига и ее положение в корпусе печи. С удалением факела от горелки или форсунки зона обжига соответственно увеличивается и смешается в сторону загрузочной головки печи. Ориентировочно можно считать, что длина зоны обжига равна половине длины факела.

Мазут марки 100 для полного распыления нагревают до температуры 115°C, а марки 40 — до 80°C. Постоянная температура подогрева мазута перед его подачей в форсунку способствует его полному сжиганию.

Стадии обжига и их характеристики. На рис. 64 изображены кривые распределения по длине печи, работающей по сухому способу обжига, температуры газового потока (кривая 3), температуры поверхности материала (кривая 2) и содержания в известии активных оксидов кальция и магния (кривая 1).

Зона подогрева расположена в загрузочном конце печи, начиная от места поступления в нее сырья, и занимает до 70 % общей

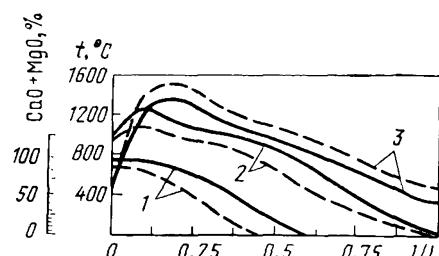


Рис. 64. Распределение по длине барабана печи температуры и содержания активных $\text{CaO}+\text{MgO}$ в известии при обжиге мелового сырья (сплошная линия — в печи с внутренними теплообменниками, пунктирная — без них):
 1 — содержание в известии активных $\text{CaO}+\text{MgO}$,
 2 — температура поверхности материала, 3 — температура газов; I — переменная длина печи,
 L — общая длина барабана печи

длины корпуса печи. Поступающий в зону подогрева длинной печи материал проходит последовательно сушку (до температуры 120 °C) и нагрев (850...900 °C). В конце зоны подогрева в температурном интервале 700...900 °C полностью разлагается содержащийся в сырье углекислый магний $MgCO_3$ и частично углекислый кальций $CaCO_3$.

Выходящие из зоны обжига с температурой 1100...1250 °C печные газы отдают теплоту материалу и их температура снижается до 350...600 °C. Температура 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 теплообменников материал в результате незначительной поверхности теплообмена забирает меньше теплоты, чем он мог бы теоретически принять от газов, и температура газов на выходе из печи с соотношением $L/D_0=25\dots30$ (кривая 3 пунктиром) остается высокой (500...600 °C) даже при обжиге влажного мела. При обжиге известняка влажностью 2...4% температура отходящих газов из барабана печи — 700...800 °C.

В печах с отношением $L/D_0=35\dots45$ температура газов на выходе из зоны подогрева значительно ниже (400...450 °C). Но так как температура газов снижается в основном за счет потери теплоты 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 °C. Температура материала по длине печи растет значительно быстрее, и длина зоны подогрева сокращается, а длина зоны обжига увеличивается. Поэтому применение внутренних теплообменников позволяет на 10...15% увеличить производительность печи при одновременном снижении удельного расхода топлива на 20...25% за счет лучшего использования теплоты печных газов.

При мокром способе производства извести длина цепного теплообменника должна быть такой, чтобы влажность материала на выходе из него была 5...7%. Мел такой влажности хорошо оказывается в прочные гранулы размером 5...15 мм, которые быстро обжигаются. Пересушка шлама в цепном теплообменнике ухудшает грануляцию и повышает пылеунос из печи, в результате чего производительность печи снижается в 1,2...1,5 раза.

Выходящие из зоны подогрева печи газы при правильной организации процесса обжига содержат 22...24% CO_2 и 2...2,5% O_2 .

Зона обжига печи занимает до 25% общей длины ее корпуса. В этой зоне сгорает топливо 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 °C, при которой реакция разложения $CaCO_3$ происходит достаточно быстро. В ре-

зультате сырье успевает почти полностью диссоциировать и содержание активных $\text{CaO} + \text{MgO}$ в воздушной извести достигает 90...94%.

Чтобы материал быстро нагревался, максимальную температуру газов поддерживают на 250...300 °C выше температуры материала. Теплота материала передается от факела и поверхности футеровки печи. От факела теплота передается материала путем лучеиспускания и конвекции, 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 теплоты 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. Топливо сжигается в факеле при общем коэффициенте избытка воздуха α 1,05 ... 1,15. Смещение зоны обжига к холодному концу печи увеличивает потери теплоты с отходящими газами, а смещение ее к горячему 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 температура материала на выходе из нее составляет 900 ... 1000 °C и физическая теплота передается вторичному воздуху в основном в холодильнике. Воздух нагревается в зоне предварительного охлаждения до температуры 600 ... 700 °C, что повышает температуру факела и улучшает использование теплоты в целом.

Регулирование процесса обжига. После вывода печи на рабочий режим его поддерживают, наблюдая за показаниями приборов и визуально через отверстие гляделки в разгрузочной головке печи. Процесс обжига регулируют, изменяя температуру и расположение факела в зоне обжига, частоту вращения печи, количество материала, загружаемого в печь.

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 теплоты материала и, следовательно, его температура. Количество вводимого в печь топлива и условия его сжигания оказывают решающее влияние на температуру материала в зоне обжига.

При *регулировании факела* в печи учитывают следующее. В случае сжигания газообразного топлива коптящее пламя указывает на недостаток воздуха, а светлое, пульсирующее — на его избыток. При сжигании мазута факел должен быть равномерным, без разрывов и черноты. Разрывы факела указывают на неисправности в системе подвода воздуха или на засорение распылителя форсунки. Черные прожилки — это следствие неполного сгорания мазута, что обусловлено низкой температурой его подогрева. Неисправности устраняют и добиваются равномерного горения факела.

Форсунку или газовую горелку устанавливают так, 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 воздуха с помощью регулирующей заслонки (шибера).

Регулированием частоты вращения печи изменяют время пребывания в ней материала и производительность печи. Привод печи позволяет 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 изменяется только в случае резкого увеличения его влажности, при изменении химического состава сырья или его зернового состава, а также в случае значительного отклонения режима обжига от заданного.

Тепловой КПД печи. На рис. 65,а изображена диаграмма теплового баланса длинной вращающейся печи ($L/D_0=42$) с внутренними теплообменниками, работающей по сухому способу. Сырье — известняк фракции 25...65 мм. Топливо — мазут. Расход условного топлива на обжиг — 238 кг на 1 т извести.

Из диаграммы следует, что потери теплоты с отходящими газами и в окружающую среду корпусом печи составляют $28,2 + 18 = 46,2\%$, т. е. почти половину общего расхода теплоты на обжиг. Отсюда и невысокий тепловой КПД печи (52,5%). В длинных вращающихся печах, не оборудованных внутренними теплообменниками, тепловой КПД еще ниже (40 ... 42%).

Отклонения от заданного режима обжига и способы их устранения. *Понизилась температура материала в зоне обжига* (определяется по показанию оптического или цветового пирометра). В результате недостаточно обожженный материал приближается к концу зоны обжига. Чтобы устраниТЬ недожог, временно смешают зону максимальной температуры к разгрузочному концу печи (приближают ее). С этой целью увеличивают подачу топлива и воздуха, одновременно уменьшив тягу

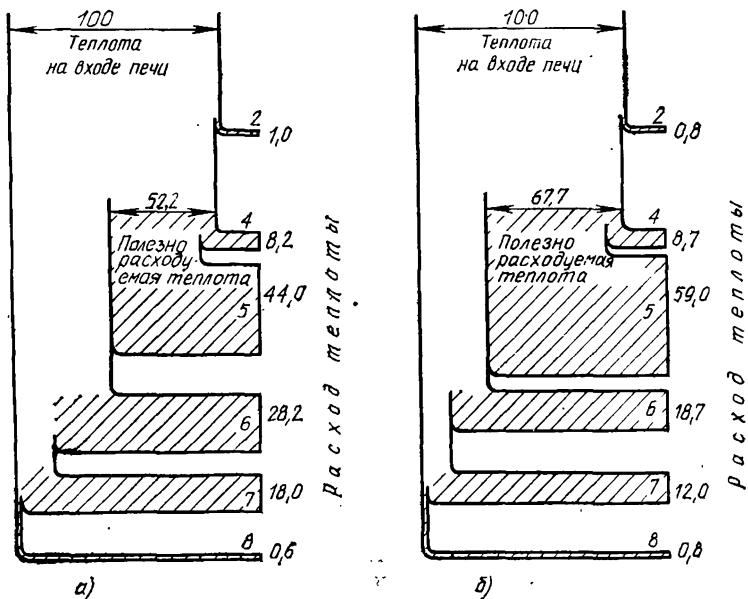


Рис. 65. Диаграмма теплового баланса вращающихся печей, работающих на мазуте (показатели в %):

a — длинной, *b* — короткой с запечным термообменником; 2 — потери теплоты с химическим недожогом топлива; 4 — расход теплоты на испарение влаги из сырья, 5 — расход теплоты на диссоциацию CaCO_3 и MgCO_3 , 6 — потери теплоты с отходящими газами, 7 — потери теплоты корпусом печи, 8 — потери теплоты с известью (потери 1 и 3 по рис. 29 здесь отсутствуют)

дымососа (снизив разрежение). По мере повышения температуры в зоне обжига постепенно увеличивают тягу до восстановления нормального положения зоны обжига.

Если указанным способом не удается повысить температуру в зоне обжига, то переводят пек на пониженную частоту вращения. В противном случае пек может переохладиться, что приводит 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 пеки, недостаточной загрузкой пеки сырьем или чрезмерно длинным факелом газообразного топлива. Чтобы снизить температуру отходящих газов, убавляют подачу в пек топлива, либо снижают разрежение в пеки, либо увеличивают подачу в пек сырья, либо увеличивают подачу в газовую горелку первичного воздуха.

Увеличилось или уменьшилось разрежение в разгрузочной головке пеки. Причиной увеличения разрежения может быть резкое уменьшение количества поступающего из холодильника в пек вторичного воздуха; причиной уменьшения — нарушение герметизации между корпусом пеки и головкой. В первом случае необходимо проверить работу холодильника пеки и устранить увеличе-

ние 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 загрузочной головке. Это может быть вызвано уменьшением объема отходящих газов или увеличением толщины слоя материала. Проверяют количество поступающего в печь топлива и сырья и только после этого восстанавливают заданные параметры режима обжига.

Образование сваров материала. Вследствие подачи в печь сырья с повышенным содержанием глинистых примесей в печи образуются свары материала в виде колец, настылей или комьев. Это снижает разрежение в разгрузочной головке печи и одновременно увеличивает разрежение в загрузочной головке. Чтобы ликвидировать свары, переводят печь на минимальную частоту вращения, снизив подачу в нее топлива и воздуха. По мере приближения комьев к горячему концу корпуса печи их разбивают длинными металлическими штангами через люк в головке печи. Кольца можно ликвидировать только после полной остановки и охлаждения печи до температуры 50 °С. Настыли ликвидируют вручную ломами или отбойными молотками.

Остановка длинной вращающейся печи. При плановой остановке вращающейся печи постепенно (в течение 6 ... 8 ч) снижают подачу в печь сырья, топлива и воздуха. Затем прекращают подачу сырья и через 2 ... 3 ч — топлива. Спустя 40 ... 50 ч для охлаждения печи ее поворачивают, включая вспомогательный привод. При работе печи на газообразном топливе закрывают рабочую 19 (см. рис. 63) и контрольную 14 задвижки и открывают кран 16 на продувочном газопроводе.

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 от вспомогательного привода для предотвращения прогиба корпуса печи. При снижении температуры в печи до 50 °С осматривают ее футеровку.

§ 33. Устройство и работа коротких вращающихся печей с запечными теплообменниками

Вращающаяся печь с запечным теплообменником (рис. 66) состоит из теплообменника 7, загрузочной головки 20, разгрузочной головки 12, цилиндрического корпуса 10 с приводом 19, горелки 13 и однобарабанного холодильника 14. Корпус 10 бандажами 11 опирается на роликовые опоры 15. Упорное устройство 17 ограничивает осевое смещение корпуса. Он установлен с уклоном 3,5% к горизонту и вращается с частотой 0,5 ... 1,5 об/мин от электродвигателя 19 главного привода. Последний соединен с корпусом через редуктор, подвенцовую шестерню 18 и венцовую шестернию 9. Вспомогательный привод используют для вращения корпуса.

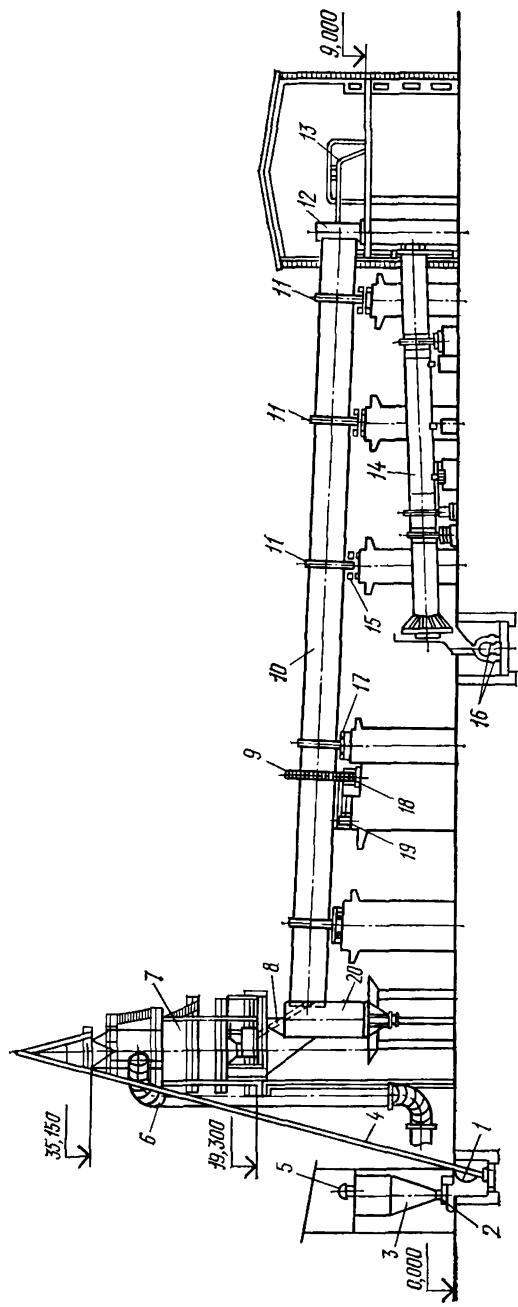


Рис. 66. Короткая вращающаяся печь с шахтным подогревателем известняка и однобаранным ходильником известнико:

1 — ковш, 2 — питатель, 3 — шестерни, 4 — бункер, 5 — пылемник, 6 — конвейеры, 7 — трубопровод, 8 — течка, 9 — опорное устройство, 10 — шестерни, 11 — корпус, 12 — баляжин, 13 — головки, 14 — горелка, 15 — электродвигатель, 16 — теплообменник, 17 — опора, 18 — баляжин, 19 — упорное устройство, 20 — головки.

са с частотой около 4 об/ч при ремонтных работах и в период пуска — остановки печи.

Футеровка корпуса печи выполнена аналогично футеровке соответствующих зон длинной печи. Для увеличения времени пребы-

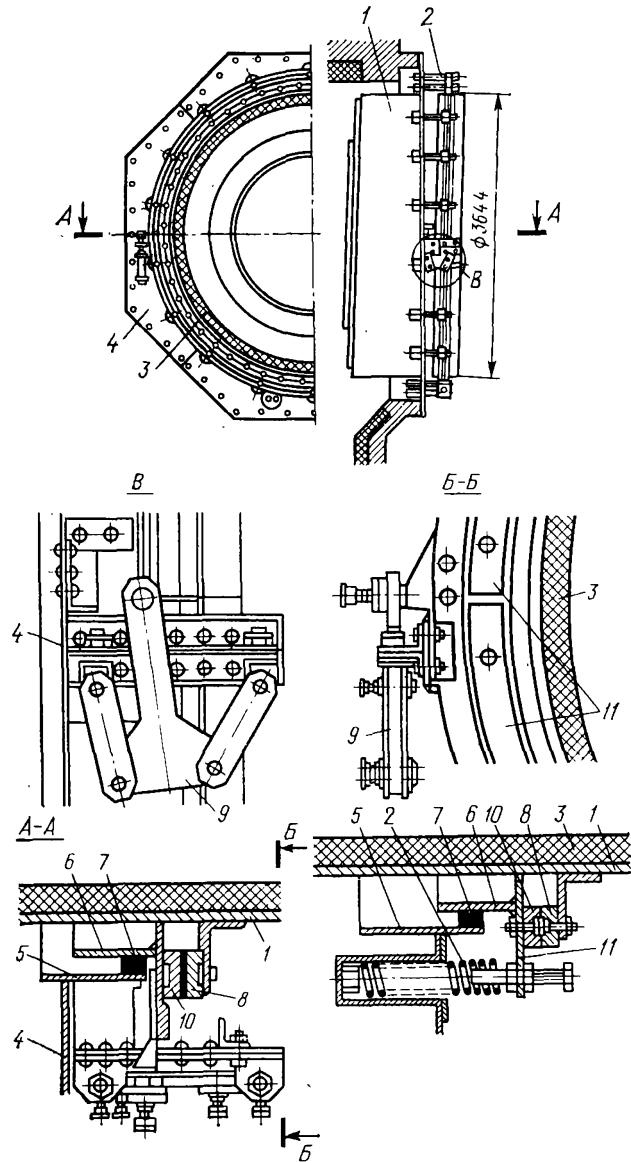


Рис. 67. Устройство для уплотнения загрузочной головки вращающейся печи размером $3,6 \times 75$ м:
1 — корпус, 2 — пружина, 3 — футеровка печи, 4 — кожух, 5, 6 — обечайки, 7, 8, 10 — кольца, 9 — рычажный механизм, 11 — сегменты

вания материала в барабане печи устраивают два-три порога высотой 350 ... 450 мм из хромомагнезитового кирпича.

Загрузочная головка печи представляет собой стационарную прямоугольную футерованную камеру с бункером в нижней части. Сырье загружают в печь с помощью течки 8 в виде трубы из жаропрочной стали или улиткового питателя.

Места соединения корпуса печи с загрузочной головкой уплотняют типовым устройством (рис. 67), состоящим из врачающегося 8 и неподвижного 10 уплотнительных колец, лабиринтного кольца 7, неподвижной 5 и подвижной 6 обечаек, сегментов 11, пружин 2 и рычажных механизмов 9. Кольцо 8 укреплено на корпусе 1 печи и вращается вместе с ним. Кольцо 10 соединено с сегментами 11, которые приварены к обечайке 6. Обечайка 5, укрепленная на кожухе 4 головки печи, снабжена пружинами 2, которые прижимают сегменты 11 с кольцом 10 к подвижному кольцу 8, создавая постоянный контакт между ними. Рычажный механизм 9 поддерживает обечайку 6, обеспечивая зазор 2 мм между ней и обечайкой 5. Герметичность обечаек 5 и 6 достигается лабиринтным кольцом 7.

Разгрузочная головка печи по конструкции такая же, как у длинной печи.

В качестве запечных теплообменников применяют подогреватели сырья с конвейерной решеткой, шахтные теплообменники и котлы-utiлизаторы.

Подогреватель сырья с колосниковой конвейерной решеткой (рис. 68) используют для подогрева фракционированного известняка низкой и средней прочности и гранулированного мела. Ко-

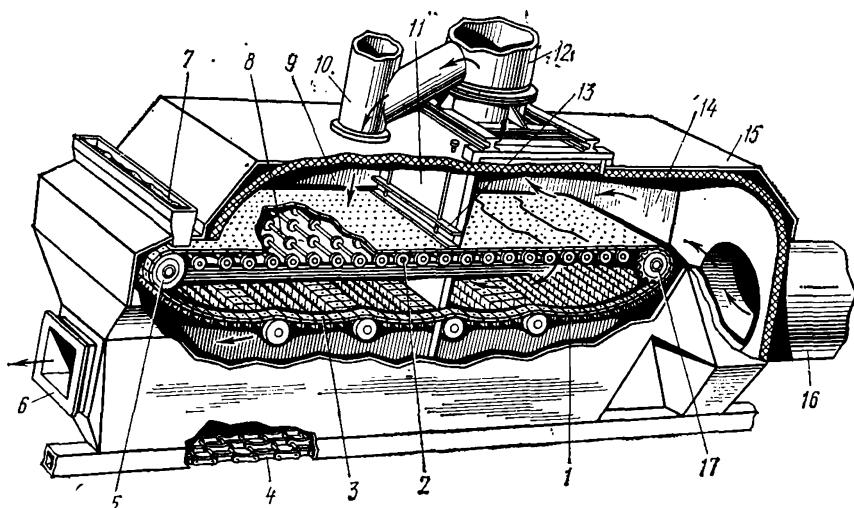


Рис. 68. Подогреватель сырья с конвейерной решеткой:

1 — колосниковая решетка, 2 — ролик, 3 — колосник, 4 — конвейер, 5, 17 — валы, 6 — патрубок, 7 — загрузочная воронка, 8 — ось, 9, 14 — отсеки, 10 — труба-смеситель, 11 — перегородка, 12 — труба, 13 — шибер, 15 — кожух, 16 — печь

лосниковая решетка 1 заключена в металлический кожух 15, который снабжен изнутри теплоизоляцией.

Колосниковая решетка 1 включает 4...6 параллельно расположенных бесконечных цепей, состоящих из звеньев. Звенья цепи шарнирно соединены между собой стальными осями 8. На осях между звеньями свободно посажены дистанционные трубы, на которых свободно подвешены одним концом колосники 3. Другим концом колосники опираются на колосники последующего ряда. Колосники отлиты из жаропрочного чугуна и представляют собой выпуклые пластины с продольными щелями для прохода газов и с ребрами жесткости. Вместе со звеньями и осями колосники образуют полотно решетки. Верхняя (горизонтальная) ветвь решетки цепными звеньями опирается на поддерживающие ролики 2.

Полотно решетки перемещается с помощью приводного вала 17 со звездочками, соединенного через муфту и редуктор с электродвигателем постоянного тока, и натяжного вала 5 с барабанами.

Полотно решетки сверху покрыто слоем кускового материала толщиной 0,15 ... 0,4 м. Перегородка 11 делит пространство над решеткой и между верхней и нижней ее ветвями на два отсека: холодный 9 и горячий 14. Шибер 13, установленный над полотном решетки, регулирует зазор между перегородкой и слоем материала. Под решеткой размещен цепной конвейер 4 для удаления просыпь материала из подогревателя.

В отсеке 14 подогревателя смонтирована розжиговая труба 12, которая отводит печные газы, минуя конвейерную решетку, во время розжига печи 16. В холодном отсеке подогревателя установлена труба-смеситель 10, соединенная с атмосферой клапаном, который открывается для подсасывания холодного воздуха в отсек 9 при работе печи на гранулированном сырье. Труба-смеситель 10 и труба 12 соединены газоходом для перепуска газов из горячего отсека в холодный.

Подогреватель работает следующим образом. Фракционированное сырье через загрузочную воронку 7 поступает на движущуюся решетку 1 равномерно по ее ширине. Высота слоя материала на решетке устанавливается регулирующим шибера на основании конкретных условий работы подогревателя. В отсеке 9 через слой материала просасываются газы, охлажденные в трубе-смесителе 10 до температуры 800 ... 900 °C (при обжиге гранулированного сырья температуру газов снижают до 500 ... 600 °C). Отдав часть теплоты материала, газы охлаждаются до температуры 250 ... 300 °C и через патрубок 6 отводятся из подогревателя в пылеосадительную установку. В отсеке 9 материал подогревается до температуры 350 ... 400 °C и поступает в отсек 14, где через слой материала просасываются выходящие из печи 16 газы с температурой 900 ... 1000 °C, подогревая материал до 800 ... 900 °C. Подогретое и частично декарбонизированное сырье сбрасывается с полотна решетки ножами в печь.

При производстве известняк применяют конвейерные решетки шириной 3 ... 3,9 м и длиной 12,5; 20 и 25 м.

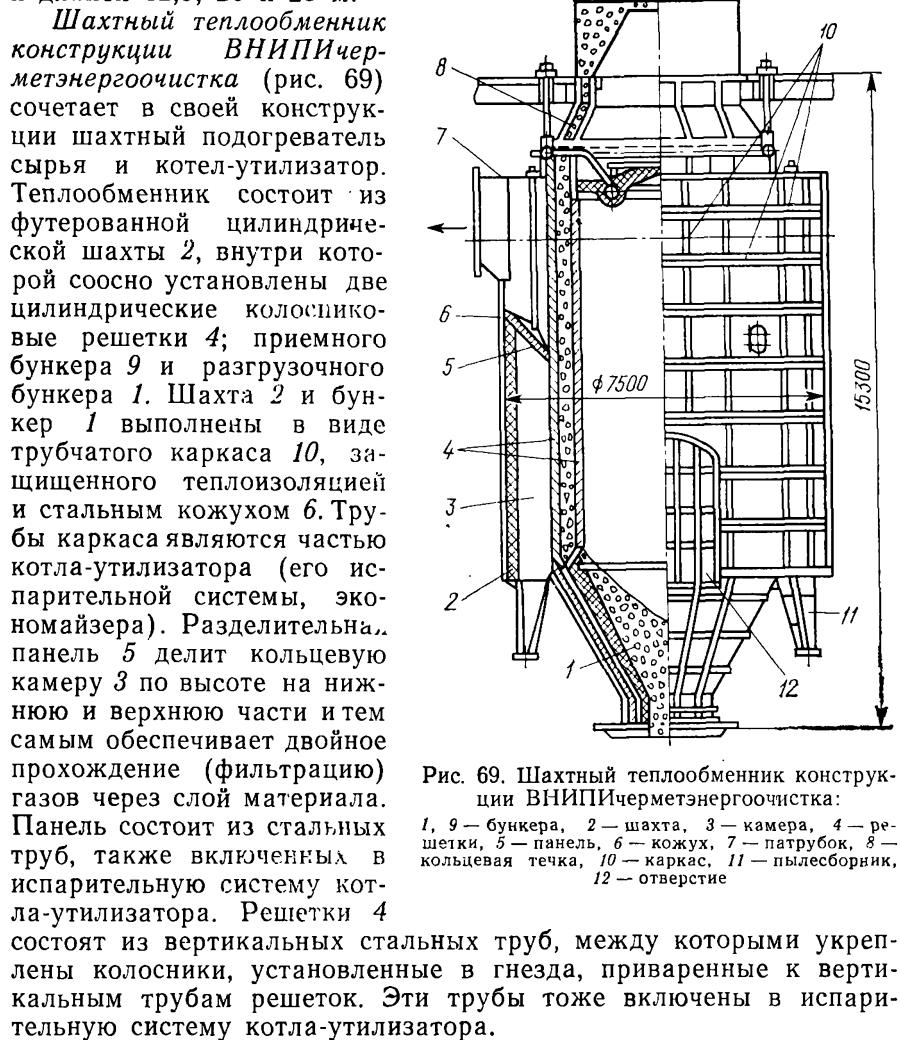


Рис. 69. Шахтный теплообменник конструкции ВНИПИЧерметэнергоочистка:

1, 9 — бункера, 2 — шахта, 3 — камера, 4 — решетки, 5 — панель, 6 — кожух, 7 — патрубок, 8 — кольцевая течка, 10 — каркас, 11 — пылесборник, 12 — отверстие

Теплообменник работает следующим образом. Известняк фракций 20 ... 40 мм из бункера 9 по течке 8 опускается в кольцевое пространство между решетками 4, где нагревается печными газами до температуры 700 ... 800 °C, и накапливается в бункере 1. Из него известняк качающимся питателем подается в течку вращающейся печи. Газы из печи при температуре 900 ... 950 °C поступают в нижнюю часть кольцевой камеры 3 через два диаметрально расположенных отверстия 12, дважды проходят слой материала, отдавая при этом известняк и циркулирующей в трубах

Теплообменник работает следующим образом. Известняк фракций 20 ... 40 мм из бункера 9 по течке 8 опускается в кольцевое пространство между решетками 4, где нагревается печными газами до температуры 700 ... 800 °C, и накапливается в бункере 1. Из него известняк качающимся питателем подается в течку вращающейся печи. Газы из печи при температуре 900 ... 950 °C поступают в нижнюю часть кольцевой камеры 3 через два диаметрально расположенных отверстия 12, дважды проходят слой материала, отдавая при этом известняк и циркулирующей в трубах

воде большую часть своей теплоты, и поступают в верхнюю часть камеры 3. Из этой камеры газы с температурой 250 ... 300 °С через патрубок 7 отводятся в пылеосадительную установку.

В теплообменнике одновременно с подогревом материала вырабатывается 7 ... 8 т/ч насыщенного пара давлением до 2 МПа, из которых 1,5 т/ч расходуется на обдувку решеток от пыли.

Котел-утилизатор в качестве самостоятельного теплообменника устанавливают либо непосредственно за загрузочной головкой печи, либо за подогревателем сырья. Для утилизации теплоты печных газов с температурой 850 ... 900 °С используют котлы-утилизаторы с принудительной циркуляцией воды КУ-60-2 и КУ-80-3, для газов с температурой 280 ... 400 °С — котел-утилизатор УЭЧМ-67.

Котел-утилизатор (рис. 70) смонтирован в теплоизолированной прямоугольной камере 9, оборудованной пылесборником 6 и предохранительно-взрывными клапанами 2. На газоходах до и после камеры установлены отключающие шиберы 1 и 4. Котел-утилизатор включает в себя также цилиндрический горизонтальный барабан

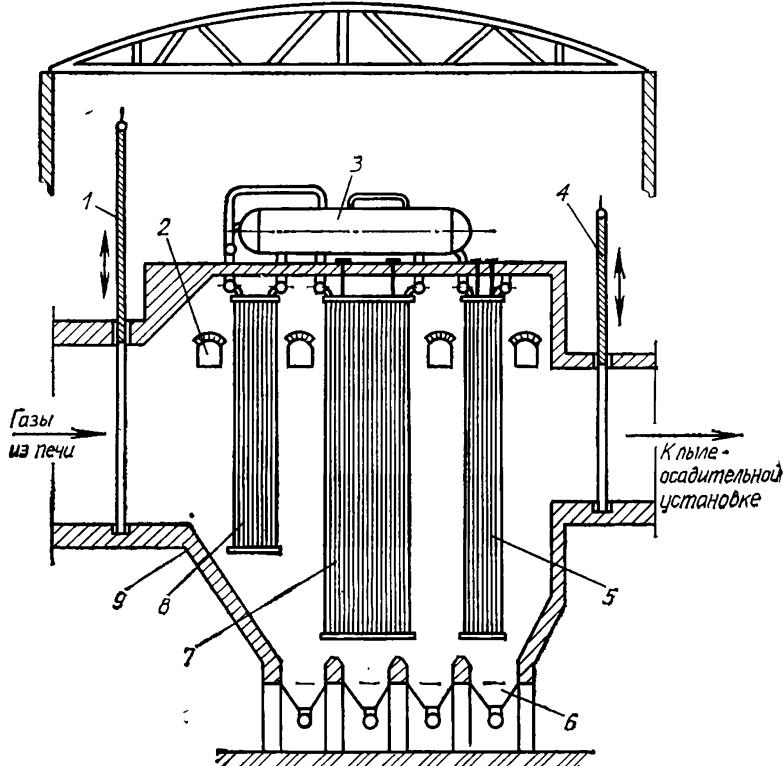


Рис. 70. Котел-утилизатор:
1, 4 — шиберы, 2 — предохранительно-взрывной клапан, 3 — барабан, 5 — экономайзер, 6 — пылесборник, 7 — испарительная поверхность, 8 — пароперегреватель, 9 — камера

бан 3 с внутренними сепарационным и продувочным устройствами, змеевиковой испарительной поверхностью 7, пароперегреватель 8 и водяной экономайзер 5.

Выходящие из вращающейся печи или подогревателя сырья газы поступают в камеру 9 и последовательно омывают трубы пароперегревателя 8, змеевики испарительной поверхности 7 и трубы экономайзера 5.

Для очистки поверхностей нагрева котлы - утилизаторы оборудованы обдувочными и обмывочными устройствами. Вода в котле циркулирует под действием насоса. В котел подают химически очищенную воду. Он снабжен устройствами для отбора проб воды и пара и автоматической системой подачи воды.

В специально оборудованном помещении установлены пульт и щит управления котлом-утилизатором. Его обслуживают рабочие, обученные по соответствующей программе.

В комплекте с короткими вращающимися печами использу-

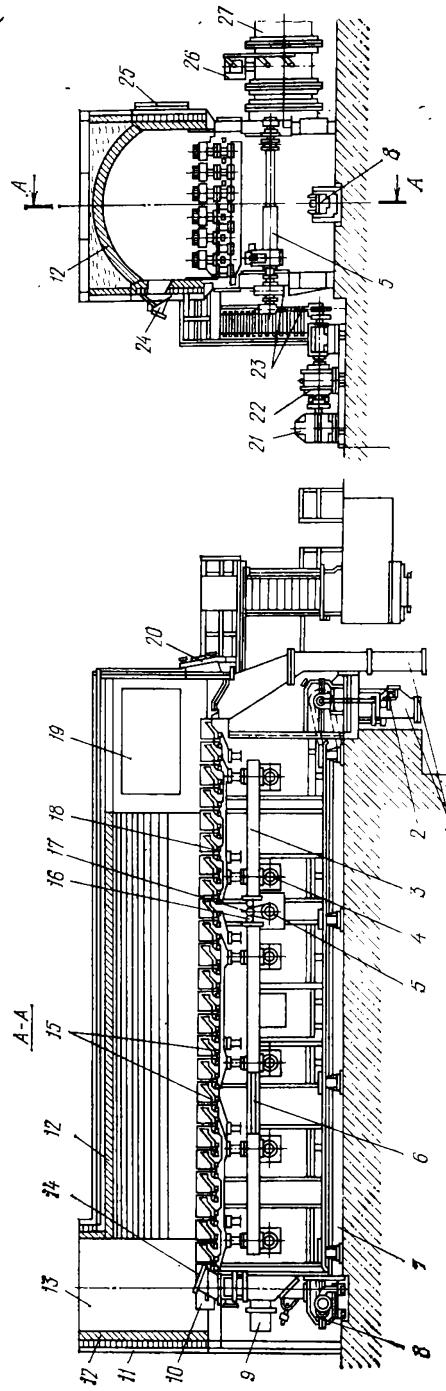


Рис. 71. Колосниковый холодильник конструкции ВНИИЦеммаша «Волга-25 Ч»:
1 — танк, 2 — мигалка, 3 — тележка, 4, 16, 17 — колеса, 5 — вал, 6 — тяга, 7 — рама основания, 8 — конвейер, 9, 25 — трубопроводы, 10 — плита, 11 — кожух, 12 — футеровка, 13 — шахта, 14, 15, 18 — колосники, 19 — отверстие для отвода аспирационного воздуха, 20 — люк, 21 — электродвигатель, 22 — редуктор, 23 — кривошипно-шатунный механизм привода, 24 — гидролика, 26 — привод

зуют барабаные, колосниковые и шахтные холодильники извести. Барабанные холодильники рассмотрены в разделе длинных врашающихся печей.

Колосниковый холодильник конструкции ВНИИЦеммаша «Волга-25 СИ» (рис. 71) представляет собой установленную на раме 7 футерованную камеру, которая разделена по высоте колосниковой решеткой. Стенки камеры на уровне этой 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-поступательные движения с помощью привода, состоящего из электродвигателя 21, редуктора 22, кривошильно-шатунного механизма 23 и приводного вала 5 с двумя рычагами. В рычагах предусмотрены зубчатые толкающие ролики 17, которые через промежуточные зубчатые ролики 16 соединены с рейками, закрепленными на буферах тележек. Число ходов тележек плавно регулируется двигателем постоянного тока.

Под колосниковой решеткой расположен скребковый конвейер 8, который удаляет просыпающийся из холодильника материала. 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 рукавного фильтра.

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 (крутую — 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°C и по течке 1 поступает на ленточный конвейер. На тот же конвейер по течке с мигалкой 2 поступает просыпь, удаляемая из холодильника 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°C. Избыточный воздух удаляется из холодильника через отверстие 19 и по трубопроводу 25 направляется на очистку в рукавный фильтр и далее дымососом Д-12 выбрасывается в атмосферу. С избыточным воздухом, нагретым до температуры 150...180°C, теряется

часть теплоты, отбираемой у извести, что обуславливает умеренный тепловой КПД холодильника (70...75%). Люк 20 и гляделка 24 устроены для обслуживания холодильника.

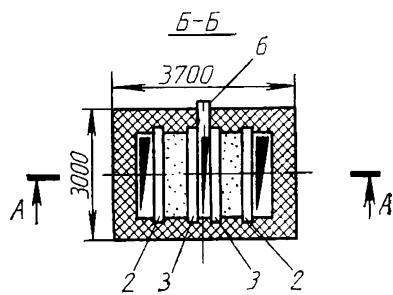
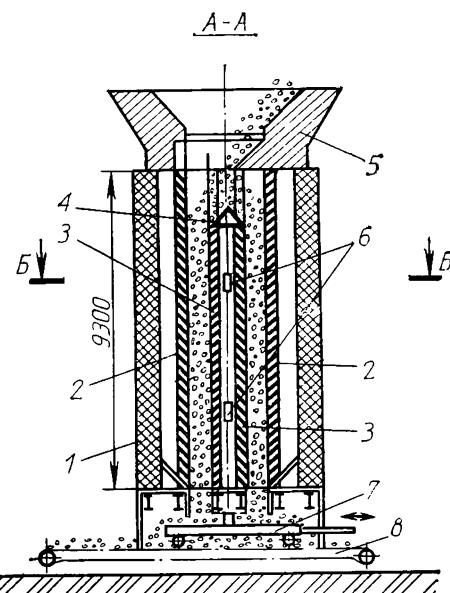
Техническая характеристика холодильника «Волга-25 СИ»

Производительность по извести, т/ч	25
Температура извести, °С:	
на входе	1000...1100
на выходе	+40...80
Удельный расход воздуха на охлаждение извести, м ³ /кг	2,43
Размеры колосниковой решетки, м:	
длина	12,6
ширина	2,52
Число двойных ходов в минуту подвижных колосников	6...18
Толщина слоя извести на решетке, мм	150...360
Общая мощность электродвигателей, кВт	180

Шахтный холодильник извести конструкции Укргипромеза (рис. 72) состоит из прямоугольной шахты 1, колосниковых решеток 2, 3, балки-рассекателя 4, приемной воронки 5 и механизма выгрузки 7. Шахта и приемная воронка футерованы шамотным кирпичом общего назначения. По высоте шахта разделена вертикальными колосниковыми решетками на два прямоугольных отсека, в которых охлаждается известь. В пространство между отсеками через патрубки 6 мельничным вентилятором ВМ-40/750-11Б под давлением 4 кПа нагнетается воздух. Механизм выгрузки 7 представляет собой кареточный питатель, совершающий взрывательно-поступательные движения от кулисы с электроприводом.

Холодильник работает следующим образом. Известь из врачающейся печи непрерывным потокомсыпается в приемную воронку 5 и балкой-

Рис. 72. Шахтный холодильник извести конструкции Укргипромеза:
1 — шахта, 2, 3 — колосниковые решетки,
4 — балка-рассекатель, 5 — приемная воронка,
6 — патрубки для подачи воздуха,
7 — механизм выгрузки, 8 — конвейер



Отношение L/D_0	19,5	23,5	23,5
Уклон корпуса, %	4	3,5	3,5
Частота вращения корпуса, об./мин	1,1	1,0	1,0
Производительность по извести, т/ч	15	16	13,5
Удельный объем извести:			7,5
T/m^2 в сутки .	44,6	48	43,3
t/m^3 в сутки	0,64	0,64	0,54
Содержание активных $CaO + MgO$ в извести, %	85	90	90
Удельный расход условного топлива на 1 т физической извести (с учетом возврата с паром), кг	214	216	180
Вид сырья	10...60	10...40	Известняк
Размер кусков, мм			25...40
Химический состав, %:			3...60
$CaCO_3$	95	95,8	94,2
$MgCO_3$	2	2	2
$SiO_2 + R_2O_3$	3	2,17	3,8

Влажность сырья, %	6	2	4	2
Удельный расход сухого сырья с учетом пылеуноса, кг/кг	2	2	2,08	2,17
Вид топлива	Мазут М-100	Природный газ		Мазут М-100
Тип горелочного устройства	Форсунка с винтовыми распылителями	Две двухканальные горелки	Две одноканальные горелки	Форсунка с винтовыми распылителями
Температура подогрева мазута, °С	100	—	—	80
Тип теплообменника	Конвейерная решетка размером 3,9×2,5 м	Шахтный конструкции ВНИПИ-черметэнергоочистка	Два котла-utiлизатора КУ-80-3 производительностью 20 т/ч пара ($P=1,8 \text{ MPa}$)	Конвейерная решетка размером 3×10,5 м
Температура подогрева сырья в теплообменнике, °С	700	600	—	400
Температура газов на выходе из теплообменника, °С	370	300	200	210
Тип холодаильника	Однобарabanный 3,6×3,8 м	Шахтный конструкции ВНИПИ-черметэнергоочистка	Колосниковый «Волга-25 СИ»	Однобарabanный 1,8×20,7 м
Температура извести на выходе из холодаильника, °С	100	70	40	240

рассекателем 4 распределяется по отсекам между решетками 2 и 3. Воздух поступает по патрубкам 6 в отсек между решетками 3, проходит между колосниками решеток, затем через слой извести в попечном потоке с материалом и через решетки 2 выходит в отсеки между стенками шахты и решетками 2. При этом воздух отбирает теплоту у извести, нагреваясь до температуры 350 ... 400 °C, а изесть охлаждается на выходе из холодильника до 100 ... 80 °C. Подогретый в холодильнике воздух через разгрузочную головку поступает в печь. Охлажденная изесть механизмом выгрузки 7 равномерно подается на ленточный конвейер 8 и транспортируется на склад.

Холодильники этого типа эксплуатируются на вращающихся печах размером 3,6×75 м. Тепловой КПД холодильника 80 ... 90%.

Вращающаяся печь работает следующим образом. Известняк фракции 20 ... 40 мм ленточным конвейером 5 (см. рис. 66) подается в приемный бункер 3, из которого электровибрационным питателем 2 периодически загружается в ковш 1 сколового подъемника 4. В теплообменнике 7 известняк нагревается выходящими из загрузочной головки 20 горячими газами и по течке 8 загружается в печь. Охлажденные в подогревателе газы по трубопроводу 6 направляются в пылеосадительную установку и далее дымососом через дымовую трубу выбрасываются в атмосферу. Топливо подается в печь через горелку 13, смонтированную в разгрузочной головке 12. Воздух для горения топлива поступает под действием разрежения в печи через головку 12 и холодильник 14 извести. Известь из печи ссыпается в однобарабанный холодильник 14, в котором охлаждается воздухом, и затем пластинчатым конвейером 16 транспортируется на склад.

Основные показатели коротких вращающихся печей с запечными подогревателями сырья или теплоутилизаторами при обжиге карбонатных пород на изесть приведены в табл. 4.

§ 34. Эксплуатация коротких вращающихся печей с запечными теплообменниками

Пуск печи. Перед пуском вновь выстроенной или прошедшей капитальный ремонт печи проверяют соответствие монтажа оборудования техническому проекту. Печь готовят к пуску и запускают в том же порядке, что и длинную печь со следующими дополнениями.

При подготовке к пуску (розжигу) печи с котлом-утилизатором машинист готовит его к пуску и включает перед розжигом печи.

При подготовке к пуску печи с запечным теплообменником, состоящим из шахтного подогревателя сырья и котла-утилизатора, машинист готовит его к пуску, а загрузчик сырья в это время — линию подготовки и загрузки сырья в расходный бункер печи. Обжигальщик осматривает подогреватель сырья, проверяя его колосниковые решетки, механизмы за-

пружики и выгрузки материала, теплоизоляцию шахты. Затем пускает питатель и заполняет известняком загрузочный бункер и кольцевое пространство между колосниками решетками подогревателя.

При подготовке к пуску печи с конвейерной решеткой обжигальщик осматривает решетку, проверяя колосники и привод. Щели колосников должны быть очищены, а колосники свободно перемещаться в шарнирах; валик и бортовые щеки не должны быть смещены. Подшипники приводного, натяжного и поддерживающих валов должны быть смазаны; шибер для регулирования высоты слоя материала и съемные ножи установлены в заданном положении, футеровка кожуха и пересыпного лотка — исправны. Затем пускает конвейерную решетку и включает линию подачи в нее сырья, которая продолжается до тех пор, пока материал не закроет ее на всю длину слоем высотой 150...400 мм.

Розжиг печи с котлом-утилизатором выполняют в том же порядке, что и длинной печи, но при включенном дымососе и закрытом направляющем аппарате. Поэтому после вентиляции печи, работающей на газообразном топливе, обжигальщик направляющим аппаратом дымососа устанавливает разрежение в разгрузочной головке печи 20...30 Па и затем пускает горелку на минимальном расходе топлива. После того как отрегулировано устойчивое горение факела, сушку и разогрев печи обжигальщик ведет основными горелками в соответствии с графиком. Скорость подъема температуры футеровки в зоне обжига контролируется термоэлектрическими термометрами, заложенными в кладку печи, а начиная с температуры 900°C — оптическим пирометром. Скорость подъема температуры футеровки в зоне подогрева и отходящих газов в загрузочной головке печи контролируют по показаниям стационарно установленной аппаратуры.

Дальнейший разогрев печи выполняют в следующем порядке. После разогрева футеровки в зоне обжига до температуры 500...600°C печь переводят на постоянное вращение от вспомогательного привода. При нормальном процессе разогрева печи и достижении температуры футеровки в зоне обжига 1100°C (ярко-красное свечение), а температуры газов в загрузочной головке 350...400°C включают в работу электрофильтр, а затем на минимальную производительность — дозатор сырья в печь. Одновременно плавно увеличивают расход топлива и воздуха, а также тягу дымососа. Когда материал войдет в зону обжига, вновь увеличивают подачу в печь топлива, воздуха, сырья и соответственно тягу дымососа. При выходе извести из зоны обжига включают привод холодильника извести и пластинчатый конвейер для доставки извести на склад.

Розжиг печи с шахтным теплообменником выполняют в том же порядке, что и печи с котлом-утилизатором, со следующими дополнениями. При достижении температуры газов в загрузочной головке печи до 400°C включают электрофильтр, а затем механизм выгрузки теплообменника, установив

его на минимальную производительность. По мере разогрева печи и повышении температуры газов на входе в теплообменник до $750 \dots 800^{\circ}\text{C}$ увеличивают выгрузку известняка из теплообменника, постепенно доведя ее до 50% от проектной величины.

В дальнейшем в соответствии с графиком разогрева печи плавно увеличивают подачу в нее топлива, воздуха, сырья и тягу дымососа, контролируя при этом температуру на входе и выходе из теплообменника перед электрофильтром и перед дымососом. При выходе из зоны обжига пускают в работу холодильник и пластинчатый конвейер для доставки извести на склад.

Розжиг печи с конвейерной решеткой выполняют следующим образом. Перед розжигом печи открывают шибер розжиговой трубы и закрывают крышки люков и лазов конвейерной решетки кожуха.

Печи, работающие на газообразном топливе, разжигают в следующем порядке. Продувают газопровод перед горелкой на продувочный трубопровод, закрывают шибер розжиговой трубы и пускают дымосос и вентилятор первичного воздуха. Открыв направляющие аппараты дымососа и вентилятора, продувают газовый тракт печи в течение 5...10 мин. После этого дымосос и вентилятор останавливают, приоткрывают шибер розжиговой трубы, закрывают направляющие аппараты. Затем разжигают горелку и устанавливают расход газа в размере 10...15% от нормального.

После того как температура печных газов на входе в конвейерную решетку поднимется до 400°C , вновь открывают шибер на розжиговой трубе и пускают вспомогательный привод печи. Спустя 30 мин печь переводят на минимальную частоту вращения от главного привода.

В период розжига печи рекомендуется периодически поворачивать приводной вал конвейерной решетки каждый раз на одну четвертую часть полного оборота.

При достижении температуры газов на входе в конвейерную решетку $650 \dots 700^{\circ}\text{C}$ пускают 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 колосниковой решеткой, а затем привод решетки. При этом направляющий аппарат дымососа остается закрытым и все газы из печи удаляются в атмосферу через розжиговую трубу.

По мере разогрева футеровки прибавляют количество топлива и воздуха, следя при этом за тем, чтобы топливо полностью сгорало в зоне обжига. В противном случае оно догорает в рабочей камере конвейерной решетки и может разрушить решетку и камеру. После того как при непрерывной подаче сырья в печь температура газов на выходе из барабана поднимается до $800 \dots 850^{\circ}\text{C}$, пускают в работу дымосос.

По истечении 1 ч работы печи на тихом ходу ее останавливают на 2...3 мин для первого осмотра футеровки. Когда материал войдет в зону обжига, увеличивают подачу топлива, воздуха и тягу дымососа. При выходе извести из зоны обжига пускают пластинчатый конвейер извести и холодильник печи.

В дальнейшем, при достаточном запасе тяги у дымососа, шибер розжиговой трубы закрывают постепенно, в течение 30 мин, после чего необходимое разрежение в горячей головке печи устанавливается с помощью направляющего аппарата дымососа.

Печь выводят на рабочий режим, плавно увеличивая до проектной величины подачу топлива, воздуха, сырья и частоту вращения ее корпуса. Продолжительность розжига и разогрева печи с открытой розжиговой трубой — 8...10 ч.

Обжиг карбонатных пород. В коротких вращающихся печах с запечными теплообменниками используют такие же горелки, как и в длинных печах. На некоторых заводах в печах этого типа применяют двухканальные горелки, в которых вместо воздуха используется кислород. Горелка представляет собой вставленные одна в другую трубы. По центральной трубе горелки под давлением 250...300 кПа поступает газ, по внешней трубе под давлением 200...250 кПа — кислород. В случае применения двух горелок кислород подается в печь через нижнюю горелку. Использование кислорода существенно увеличивает светимость факела. Поэтому при регулировании соотношения расхода топлива и кислорода оптимальную величину устанавливают по максимальной светимости факела. Производительность печи повышается на 10...15%.

Стадии обжига и их характеристика. В короткой вращающейся печи, как и в длинной, различают три зоны термообработки материала. В печи с котлом-utiлизатором в пределах ее барабана расположены зоны подогрева, обжига и предварительного охлаждения материала. Соотношение длины зон в печи такое же, как в длинной печи. Из-за короткого времени пребывания материала в зоне подогрева его быстрый нагрев достигается за счет высокой температуры газового потока, что сопровождается повышенным удельным расходом топлива на единицу продукции. В результате температура газов в загрузочной головке печи составляет 900...1000 °С. Котел-utiлизатор отбирает большую часть теплоты газов, снижая их температуру до 280...320 °С. При этом с паром возвращается теплота, эквивалентная 100 кг условного топлива на 1 т извести. Поэтому печи с котлом-utiлизатором потребляют столько же топлива, сколько и длинные печи.

Более рационально с точки зрения экономии топлива — использование коротких печей с подогревателями сырья шахтного типа или с конвейерной решеткой.

На рис. 73 приведены кривые распределения температуры газов и материала, содержания CaO в извести и разрежения в печи с конвейерной решеткой размером 2,8×9,5 м. Сушка и частичный подогрев сырья происходят на конвейерной решетке и в печь ма-

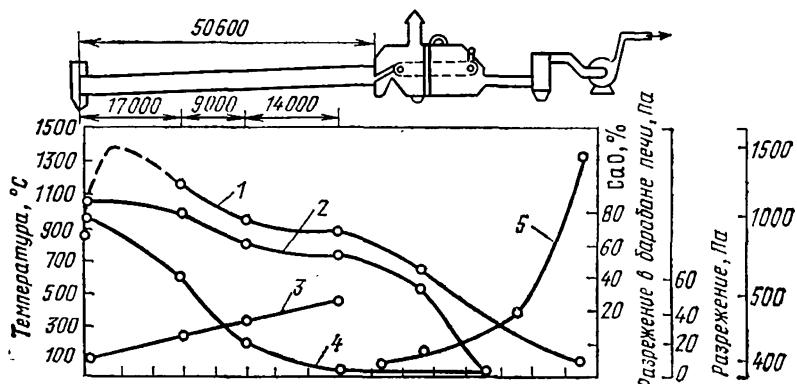


Рис. 73. Кривые распределения температуры (1, 2), разрежения (3, 5) и содержания CaO в извести (4) при обжиге мела в печи размером $2,7 \times 50,6$ м с колосниковой конвейерной решеткой (производительность печи 7...7,5 т/ч по извести)

териал поступает уже нагретым до температуры 700...750°C (кривая 2). В результате сокращается время подогрева материала до температуры диссоциации и тем самым длина зоны подогрева, которая составляет менее 50% общей длины корпуса печи. Выходящие из печи с температурой 900...1000°C газы (кривая 1) проходят через слой материала на конвейерной решетке и отдают ему большую часть своей теплоты, охлаждаясь до температуры 350...400°C. Из-за подсосов холодного воздуха в теплообменнике температура отходящих газов равна 200...250°C. Таким образом, большая часть теплоты отходящих из печи газов возвращается в нее, что сопровождается снижением удельного расхода топлива примерно 100 кг на единицу продукции по сравнению с печью, оборудованной котлом-utiлизатором.

Отходящие из барабана печи газы вследствие меньшего удельного расхода топлива на обжиг содержат 26...28% CO₂ и 1,5...2% O₂.

Зона обжига короткой вращающейся печи с теплообменником занимает 40...45% общей длины корпуса. Для увеличения времени пребывания материала в зоне обжига выкладывают 2..3 порога высотой 350...450 мм. Расстояние между порогами зависит от диаметра печи и составляет 7...12 м. Известь выходит из зоны обжига с температурой 1150...1200°C. Длину и расположение зоны обжига регулируют длиной и формой факела.

Зона предварительного охлаждения занимает до 10% длины корпуса печи. Известь охлаждается здесь до температуры 900...1000°C, а воздух нагревается до температуры 600...700°C.

Тепловой КПД печи поясняет диаграмма (см. рис. 65,б) теплового баланса короткой вращающейся печи ($L/D_0 = 16,7$), оборудованной запечным теплообменником. Сырье — известняк фракции 20...50 мм. Топливо — мазут. Расход условного топлива на обжиг — 180 кг на 1 т извести.

По диаграмме находим, что потери теплоты с отходящими газами и в окружающую среду составляют $18,7 + 12 = 30,7\%$, что существенно ниже, чем в длинной вращающейся печи. Потери теплоты с отходящими газами снижены за счет применения эффективного запечного теплообменника, в котором известняк нагревается до температуры 900°C и происходит частичная диссоциация карбоната кальция. Потери теплоты в окружающую среду ниже в результате сравнительно небольшой длины корпуса печи. В итоге тепловой КПД вращающейся печи составляет $67,7\%$, т. е. находится на уровне многих шахтных печей, работающих на мазуте.

Регулирование процесса обжига. Температуру, факел и частоту вращения короткой печи регулируют так же, как и в длинной печи. Кроме того, регулируют процесс нагрева материала в теплообменнике, так как от этого зависит эффективность работы всей печи. Чем выше температура нагрева сырья в теплообменнике, тем выше производительность печи и ниже удельный расход топлива на обжиг. Наилучшая температура материала на выходе из подогревателя — 900°C . При этом часть CaCO_3 сырья разлагается, отбирая теплоту у отходящих из печи газов. В результате сырье загружается в корпус печи со значительным содержанием ($20 \dots 30\%$) CaO и на его диссоциацию затрачивается меньше топлива. Наблюдаемая на практике организация теплового режима подогревателей сырья с температурой сырья на выходе $400 \dots 600^{\circ}\text{C}$ не дает существенной экономии топлива.

Отклонения от заданного режима обжига и их устранение. Эти отклонения в основном такие же, как и в длинной печи. Возможны следующие дополнительные варианты.

Снизилась температура материала в зоне обжига. Если при этом снизилась температура материала на выходе из подогревателя, то проверяют температуру на его входе и устраниют подсосы холодного воздуха в загрузочной головке печи.

Уменьшилось разрежение в горячей головке печи. Причиной может быть забивание щелей в колосниковой решетке шахтного подогревателя или щелей в колосниках конвейерной решетки, резкое увеличение содержания мелочи в шихте, нарушение герметизации кожуха подогревателя. Соответственно очищают щели от застывшего материала, регулируют сортировочную установку, плотно закрывают крышки люков и смотровые окна подогревателя.

Колосники конвейерной решетки не закрыты материалом. Это может вызвать их прогорание. Срочно останавливают колосниковую решетку и разравнивают материал на ней, предварительно остановив линию подачи сырья. Если колосники прогорели, прекращают работу и после снижения температуры в камере решетки до 50°C заменяют колосники.

Остановка печи. При остановке печи с запечным теплообменником вначале постепенно снижают подачу в печь топлива, воздуха, сырья, уменьшают тягу дымососа и переводят печь на по-

ниженную частоту вращения. Останавливают линию подготовки и запрузки сырья в теплообменник. Спустя некоторое время прекращают подачу в печь топлива и останавливают вентилятор. После выхода материала из теплообменника останавливают его механизм выгрузки, а затем главный привод печи. По мере остывания печи ее периодически поворачивают на четверть оборота. Когда температура в печи снизится до 50°C , осматривают футеровку и решетки теплообменника.

Остановку вращающейся печи с котлом-утилизатором выполняют в том же порядке, что и рассмотренную выше длинную печь.

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, останавливают дымосос, а также линию подготовки и подачи сырья на решетку. После того как она полностью освободится от сырья, ее останавливают.

После выхода материала печь останавливают, лишь периодически включая ее для предотвращения прогиба. Холодильник останавливают после выхода из него остатков материала. При снижении температуры в печи до 50°C закрывают шибер на розжиговой трубе и осматривают печь и футеровку.

§ 35. Автоматизация процесса обжига во вращающихся печах

Автоматизация процесса обжига карбонатных пород во вращающихся печах позволяет увеличить их производительность, снизить расход топлива на обжиг и повысить качество извести.

На рис. 74 представлена блок-схема системы автоматического контроля и регулирования процессом обжига карбонатного сырья в длинной вращающейся печи, оборудованной рекуператорным холодильником и работающей на природном газе.

Система контроля предусматривает автоматическое измерение и запись приборами расхода сырья и выпуска извести; температуры, давления и расхода природного газа; разрежения в разгрузочной головке печи; температуры газов в загрузочной головке и перед электрофильтром; температуры материала в зонах обжига и подогрева; содержания кислорода в отходящих газах; температуры масла в системе централизованной смазки приводов печи и роликовых опор.

Расход подаваемого в печь сырья регистрируется прибором учета суммарного количества сырья, прошедшего через дозатор СБ-111, количество производимой в печи извести — расходомером 21, работающим в комплекте с преобразователем 5 автоматических ленточных весов ВН-1С.

Расход природного газа определяется комплектом, состоящим из камерной диафрагмы 2, колокольного дифманометра ДКО, и

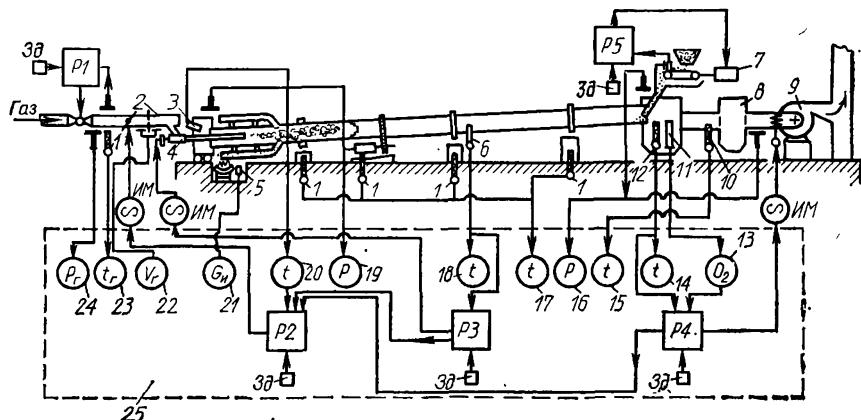


Рис. 74. Блок-схема системы контроля и регулирования процесса обжига в длинной вращающейся печи:

1 — термометры сопротивления ТСМ, 2 — камерная диафрагма ДК, 3, 5 — преобразователи, 4 — горелка, 6 — термометр ТПР, 7 — электропривод дозатора СБ-111, 8 — электрофильтр, 9 — дымосос, 10, 12 — термоэлектрические термометры ТХК, 11 — газоотборное устройство УГ-5, 13 — газоанализатор кислорода МН-5130М, 14, 15, 18 — потенциометры КСП2, 16 — тягомер ТММП, 17 — электронный мост КСМ4, 19 — тягомер КСД3, 20 — логометр КСЛ-2, 21 — расходомер ВФС, 22 — расходомер КСД2, 23 — электронный мост КСМ2, 24 — напорометр КСД2, 25 — щит печи; ИМ — электрический исполнительный механизм, Р1 — регулятор давления РДУК2, Р2—Р5 — электронные регуляторы РП2, Зд — задатчик регулятора

регистрируется расходомером 22, температура и давление природного газа — электронным мостом 23 и напорометром 24.

Разрежение в разгрузочной головке печи измеряется колокольным дифманометром ДКО и регистрируется тягомером 19, разрежение в загрузочной головке печи и перед дымососом — мембранным показывающим тягомером 16.

Температура газового потока перед электрофильтром и в загрузочной головке измеряется хромель-копелевыми термометрами 10, 12 и регистрируется электронными потенциометрами 14, 15. Температура материала в зоне обжига определяется и регистрируется цветовым пирометром «Спектропир 4-01», состоящим из первичного преобразователя 3 и самопищущего логометра 20, температура материала в зоне подогрева печи — комплектом, состоящим из малоинерционного термоэлектрического термометра 6, помещаемого в специальный карман, и электронного потенциометра 18.

Карман (рис. 75, 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 5 кармана 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.

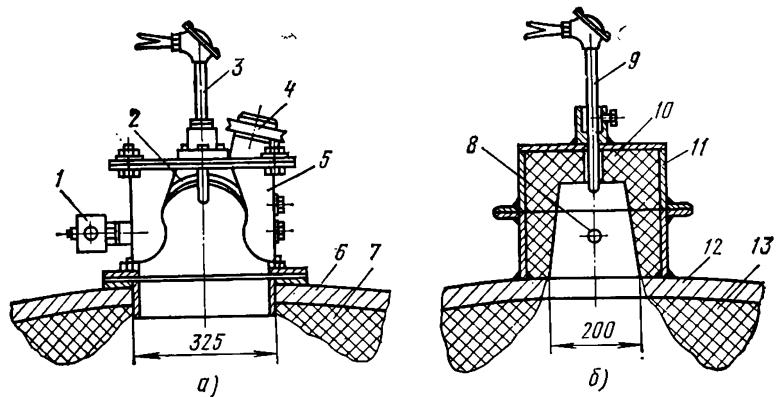


Рис. 75. Устройство и крепление кармана с термометром для измерения средней (а) и высокой (б) температуры материала во вращающейся печи:

1 — груз, 2 — скребок, 3, 9 — термометры, 4 — лючок для отбора проб материала, 5, 11 — корпуса кармана, 6, 12 — корпуса печи, 7, 13 — футеровки печи, 8 — отверстие, 10 — футеровка кармана

Карман для измерения высоких температур (рис. 75, 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.

В устройстве для измерения температуры материала в печи (рис. 76) к ее корпусу приварена пружина 2, расположенная ниже кармана 6 на расстоянии около $\frac{1}{3}$ длины его окружности. По обе стороны от пружины 2 приварены опоры 1, к которым с по-

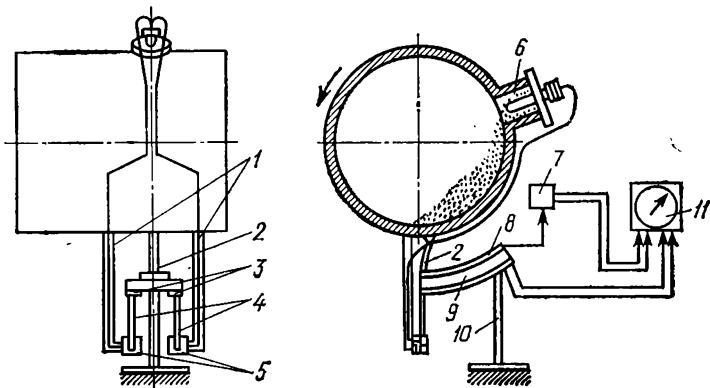


Рис. 76. Схема устройства для измерения температуры материала в печи:

1, 10 — опоры, 2, 4 — пружины, 3, 5, 8 — пластины, 6 — карман, 7 — реле, 9 — токоприемный стол, 11 — электронный потенциометр

мощью изоляционных пластин 5, изготовленных из стеклотекстолита, прикреплены токонесущие латунные пружины 4. ЭДС термоэлектрического термометра, помещенного в карман 6, по проводам подводится к пружинам 4. Токоприемное устройство состоит из стола 9 и опоры 10. Под столом смонтированы токоприемные пластины 3, подключенные к потенциометру 11. На наружной стороне стола расположена управляющая пластина 8, подключенная к реле 7. Пластины 3 и 8 изготовлены из латуни, их ширина подбирается такой, чтобы обеспечить надежный контакт с пружинами 4 и 2 при осевом смещении печи во время работы. Длина пластин 3—1 м.

При вращении печи пружины 4 периодически касаются пластин 3 и потенциометр 11 записывает ЭДС термоэлектрического термометра. Чтобы потенциометр фиксировал только температуру материала в печи, он включается в работу после того, как карман заполнится материалом, и выключается, когда материал высыпается из кармана. Это достигается тем, что в момент начала контакта пружины 2 и пластины 8 срабатывает реле 7, которое разрывает цепь заземления на входе потенциометра и он записывает показание термоэлектрического термометра. При размыкании контакта реле 7 заземляет вводы потенциометра и на его шкале остается результат прежнего измерения.

Карманы и токосъемники для удобства их обслуживания монтируют на печи в месте расположения опор.

Содержание кислорода в отходящих печных пазах (см. рис. 74) измеряется автоматическим терромагнитным газоанализатором 13 типа МН-513ОМ, снабженным записывающим прибором, шкала которого градуирована в объемных процентах. Для непрерывного отбора, очистки и подачи в прибор пробы газа служит газоотборное устройство 11 типа УГ-5, устанавливаемое в загрузочной головке печи.

Газоотборное устройство (рис. 77) состоит из установленной вертикально газоотборной трубы 1, конденсационного сосуда 2, фильтра 3 вторичной очистки и газоанализатора 4. Газоотборная труба 1 вставляется в загрузочную головку печи через свод 5 и концом входит за линию обреза печи, что предотвращает подсасывание воздуха в заборное устройство. Отбиаемый газ последовательно просасывается через трубу 1, конденсационный сосуд 2, фильтр 3 и поступает в газоанализатор 4.

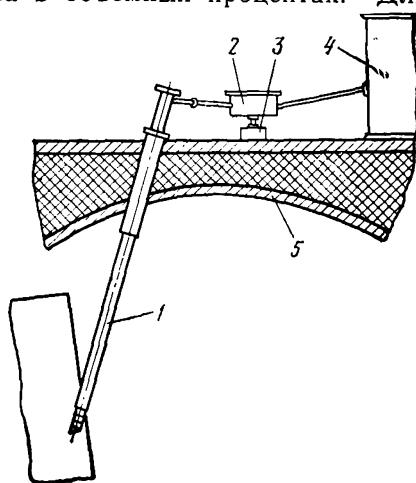


Рис. 77. Схема установки газоотборного устройства:

1 — труба, 2 — конденсационный сосуд, 3 — фильтр, 4 — газоанализатор, 5 — свод загрузочной головки

Электронный мост 17 (см. рис. 74) регистрирует температуру масла в смазочной системе приводов и опорных подшипников печи. При повышении температуры масла выше допускаемого значения он замыкает выходные реле, которые включают световой или звуковой сигнал.

Система регулирования предусматривает стабилизацию температуры в зонах обжига и подогрева печи, давления природного газа перед горелкой и количества подаваемого в печь сырья, а также обеспечивает требуемую химическую полноту сгорания топлива в печи.

Универсальный регулятор прямого действия $P1$ поддерживает постоянное давление газа перед горелкой 4, воздействуя на клапан, дросселирующий газ в газопроводе.

Температура в зоне обжига поддерживается регулятором $P2$ следующим образом. При отклонении температуры материала в зоне обжига от заданного задатчиком Зд значения логометр 20 посылает в измерительную схему регулятора электрический сигнал, который сравнивается с электрическим сигналом задатчика. Разность сигналов преобразуется в регуляторе в управляющий импульс и поступает на исполнительный механизм, который поворачивает регулирующую заслонку в газопроводе, увеличивая или уменьшая подачу газа в горелку 4. Регулятор $P2$, кроме того, получает корректирующие импульсы при значительных отклонениях от заданных значений температуры материала перед зоной обжига (от регулятора $P3$) и содержания кислорода в отходящих газах (от регулятора $P4$) и соответственно изменяет в определенных пределах расход топлива в горелку.

Регулятор $P3$ поддерживает температуру материала перед зоной обжига в заданных пределах, перемещая вперед-назад сердечник горелки 4 с помощью своего исполнительного механизма. При этом изменяется длина факела и соответственно количество теплоты, передаваемой факелом в зону подогрева.

Чтобы топливо в печи полностью сгорало, регулятор $P4$ воздействует своим исполнительным механизмом на направляющий аппарат дымососа 9. 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. Разрежение в разгрузочной головке печи снижается, что уменьшает поступление в печь вторичного воздуха и содержание O_2 в отходящих газах.

Регулятор $P5$ дозатора сырья СБ-111 получает импульс от преобразователя расхода материала в печь и воздействует на частоту вращения электропривода 7 ленточного питателя, снижая или повышая его производительность. Таким образом он поддерживает постоянную массу загружаемого в печь сырья. Новое значение расхода материала устанавливают задатчиком Зд.

§ 36. Организация рабочего места у вращающейся печи. Техника безопасности

Организация рабочего места у вращающейся печи. Вращающейся печью управляют из специально оборудованного помещения, расположенного на площадке перед разгрузочной головкой печи. Через застекленную стенку помещения должна хорошо просматриваться передняя стенка разгрузочной головки печи. В помещении смонтированы пульт управления и щит управления (рис. 78).

На пульте управления 1 размещены выключатель питания схемы управления; ключи выбора управления (ручное — автоматическое); кнопки «Пуск» и «Стоп» главного и вспомогательного приводов печи, дымососа, вентилятора первичного воздуха, холодильника извести, дозатора и подогревателя сырья; переключатель частоты вращения 17 печи от главного привода; электроизмерительные приборы, контролирующие нагрузку главного привода

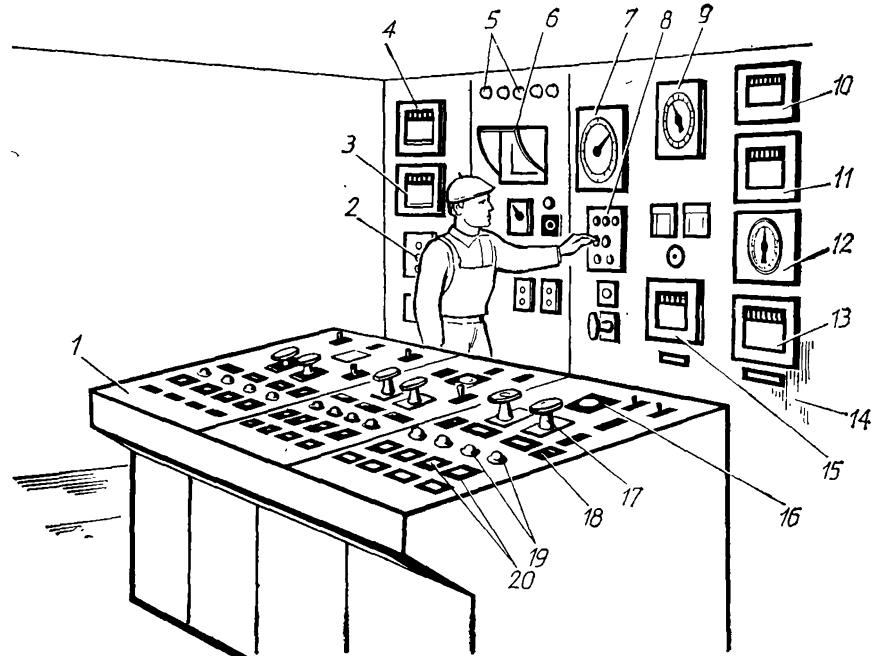


Рис. 78. Пульт и щит управления вращающейся печи:

1 — пульт управления, 2 — регулятор температуры в зоне обжига, 3 — самопищущий прибор для регистрации температуры в зоне обжига, 4 — вторичный прибор для регистрации разрежения в разгрузочной головке печи, 5, 19 — сигнальные лампы, 6 — приемная камера, 7 — потенциометр для регистрации температуры в зоне подогрева печи, 8 — регулятор стабилизации температуры в зоне подогрева, 9 — электронный мост для регистрации и сигнализации температуры масла в смазочной системе приводов и опорных подшипников печи, 10 — потенциометр для регистрации и сигнализации температуры перед электрофильтром, 11 — потенциометр для регистрации температуры в загрузочной головке печи, 12 — газоанализатор кислорода, 13 — расходомер природного газа, 14 — щит управления, 15 — прибор для регистрации давления газа перед горелкой, 16 — амперметр электродвигателя главного привода печи, 17 — переключатель частоты вращения печи, 18 — рамки с надписями, 20 — кнопки «Пуск»

печи и дымососа; сигнальные лампы 19 включения основного технологического оборудования линии.

На щите управления вверху смонтирована мнемосхема технологической линии производства извести во вращающейся печи с лампами 5 зеленого и красного цветов. Ниже мнемосхемы установлены приборы 3, 7 и регуляторы 2, 8 системы автоматического контроля и регулирования процесса обжига, а также приемная камера 6 промышленной телевизионной установки (ПТУ). Под регуляторами расположены переключатели выбора управления (ручное — автоматическое), приборы дистанционного указателя положения регулирующего органа (ДУП) и др.

Рабочее место у вращающейся печи необходимо содержать в чистоте, периодически очищать площадку перед головкой печи и помещение от мусора и пыли.

Во время приема-сдачи смены обжигальщик выполняет 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 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 расположением факела горения топлива (не допуская касания факелом футеровки);

наблюдать по приборам или визуально за температурой корпуса печи, не допуская его перегрева (появления красных пятен);

следить за механическим состоянием корпуса печи, бандажей, роликовых опор, холодильника извести и подогревателя сырья, загрузочных и выгрузочных устройств печи;

контролировать состояние главного привода печи по показаниям амперметра, не допуская перегрузок;

следить за наличием смазочного материала в главном приводе, редукторе и опорных роликах печи;

роверять герметичность трубопроводов, пылеосадительных устройств, загрузочных и выгрузочных механизмов печи, не допуская 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.

Техника безопасности. При пуске, остановке и работе вращающейся печи обжигальщик соблюдает следующие правила техники безопасности:

перед пуском находящейся в эксплуатации вращающейся печи дает два звуковых сигнала с интервалом 4...5 с и после этого включает электродвигатель главного или вспомогательного привода;

при визуальном контроле процесса обжига через гляделку головки печи пользуется защитными очками; лючки гляделок открывает в рукавицах;

во время осмотра газовых горелочных устройств и подводящих трубопроводов надевает шланговый противогаз;

в процессе осмотра корпуса печи, холодильника, оборудования и механизмов пользуется переносной электролампой напряжением 12 или 36 В;

в случае появления на корпусе печи красных пятен накала, образования сваров материала в зоне обжига и появления давления в разгрузочной головке печи немедленно снижает расход топлива;

во время ликвидации сваров работает в очках и рукавицах при полностью остановленной печи; свары сбивает с помощью металлических штанг через люк разгрузочной головки печи.

Контрольные вопросы

1. По какому показателю различают длинные и короткие вращающиеся печи?
2. С какой целью устанавливают теплообменники внутри корпуса вращающейся печи? 3. Расскажите о назначении холодильника извести. 4. В чем преимущества многобарабанного холодильника по сравнению с однобарабанным? 5. В результате каких потерь теплоты длинные печи характеризуются более низким тепловым КПД по сравнению с короткими печами? 6. В чем преимущества шахтного холодильника извести по сравнению с барабанными? 7. Расскажите о назначении подогревателя сырья и котла-utiлизатора. 8. В чем преимущества одноканальных регулируемых горелок по сравнению с двухканальными? 9. До какой температуры рекомендуется подогревать мазут перед подачей его в форсунку вращающейся печи? 10. Расскажите о целях и задачах техники безопасности при эксплуатации вращающихся печей.

ГЛАВА VIII. ОБЖИГ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД В ПЕЧАХ КИПЯЩЕГО СЛОЯ

§ 37. Устройство и работа печей кипящего слоя

Печи кипящего слоя позволяют получать известь высокого качества при обжиге мелкодробленного фракционированного известняка и доломита фракций 3...12 и 12...25 мм.

Сущность метода обжига в кипящем слое заключается в том, что через слой материала, находящегося на решетке цилиндрической или прямоугольной камеры, пропускают восходящий поток газа со скоростью, при которой в слое непрерывно циркулируют отдельные частицы. В таком состоянии материал приобретает текучесть, т. е. имеет сходство с жидкостью (псевдоожижение), подчиняясь законам гидравлики.

Псевдоожижение измельченного материала резко увеличивает поверхность соприкосновения материала с газом. Темпера-

носится от одной части слоя к другой благодаря интенсивному перемешиванию частиц, что выравнивает температуру по всему слою. Поэтому при обжиге в кипящем слое температуру газов можно поддерживать близкой к теоретической температуре диссоциации карбоната кальция.

Недостатки печей кипящего слоя — высокий пылеунос из печи (до 30%), сложная технология подготовки материала к обжигу, значительный удельный расход топлива на обжиг (180 ... 190 кг на 1 т извести), необходимость использования энергоемких и сложных центробежных нагнетателей.

Основные характеристики печей кипящего слоя даны в табл. 5.

Таблица 5. Основные характеристики печей кипящего слоя

Показатели	Производительность, т/сут		
	200*	400	1000
Рабочие размеры шахты в зоне обжига, м:			
диаметр (в свету)	2,75	3,93	4,554
высота	4,0	11,3	7,7
Полезный объем печи, м ³	62	242	285
Удельный съем извести:			
т/м ² в сутки	24,2	33,3	83
т/м ³ в сутки	3,23	1,65	3,5
Содержание активных CaO+MgO в извести, %	88	85	90
Удельный расход условного топлива, кг/т извести	183,5	170	185,6
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т извести	52	100	100
Вид сырья	Известняк	Доломит	Известняк
Размер кусков, мм	3...12	2,5...10	12...25
Химический состав, %:			
CaCO ₃	96,0	66,5	96,7
MgCO ₃	1,25	30,7	1,1
SiO ₂ +R ₂ O ₃	2,75	2,8	2,25
Влажность сырья, %	2,0	4,0	2,0
Удельный расход сырья с учетом пылеуноса, кг сырья/кг извести	2,1	2,04	2,0
Вид топлива	Природный газ	Сжиженный бутан	
Число горелок, шт.	108	192	192
Температура, °С:			
отходящих газов	470	400	450
выгружаемой извести	800	120	102

* Эксплуатационная.

Печь кипящего слоя производительностью 300 т/сут (рис. 79) включает в себя шахту 2, циклон 14 промежуточной очистки газов, газогорелочное устройство 16 и холодильник 1.

Шахта выполнена из огнеупорной кладки и цилиндрического кожуха. Зазор между ними (50 мм) заполнен теплоизоляционными каолиновыми матами. Кладка всех зон печи состоит из футеровки

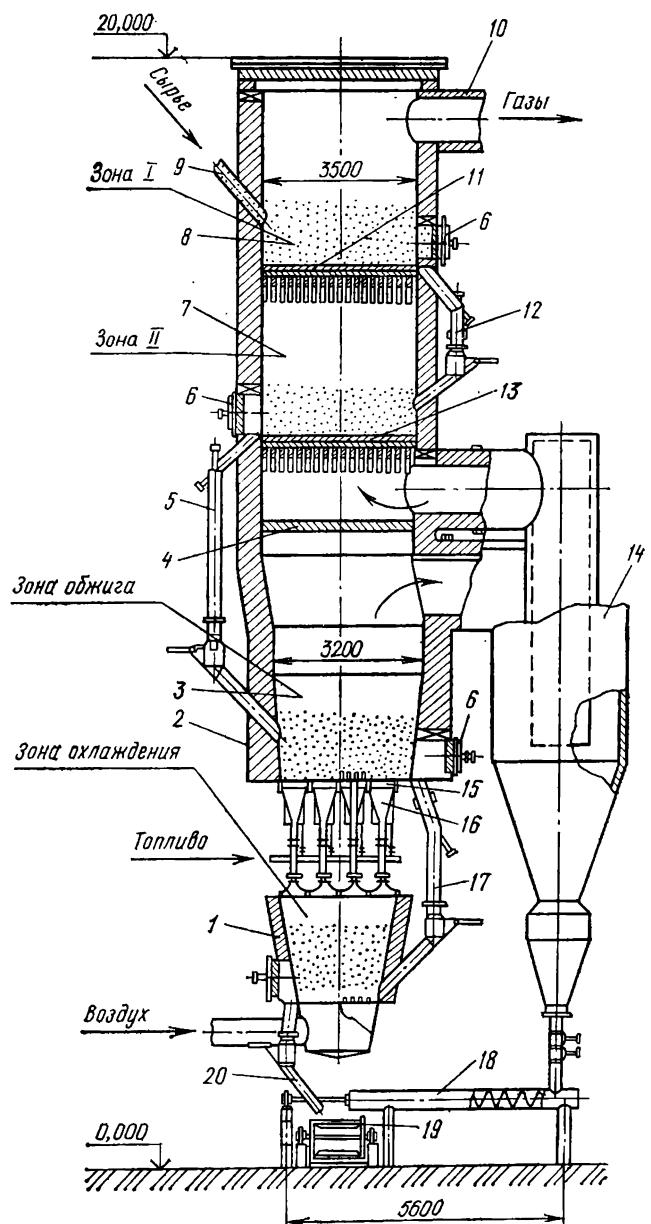


Рис. 79. Печь кипящего слоя производительностью 300 т/сут:
 1 — холодильник, 2 — шахта, 3, 7, 8 — камеры, 4 — перегородка, 5, 12,
 17, 20 — переточные устройства, 6 — люк, 9 — загрузочный патрубок,
 10 — патрубок для отвода газов, 11, 13, 15 — решетки, 14 — циклон,
 16 — газогорелочное устройство, 18, 19 — конвейеры

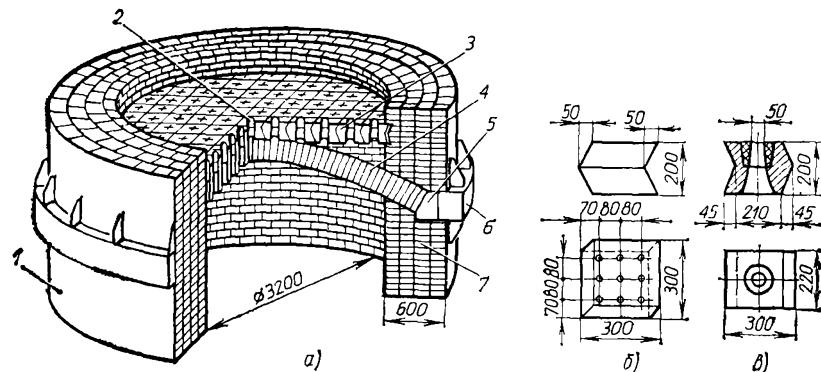


Рис. 80. Керамическая решетка:
а — общий вид, б — вариант с девятью отверстиями, в — то же, с одним отверстием; 1 — кожух, 2 — стакан, 3 — блок, 4 — арка, 5 — кирпич, 6 — опорный пояс, 7 — огнеупорная кладка печи

толщиной 345 мм шамотным кирпичом и слоя толщиной 230 мм легковесного кирпича ШЛБ-1,3. Внутренний диаметр шахты в зоне обжига — 3,2 м. В шахте устроены лазы с люками 6 для ремонта и очистки решеток. Шахта по высоте разделена керамическими газораспределительными решетками 11 и 13 на три камеры: верхняя камера 8 служит для сушки сырья (зона I), камера 7 — для подогрева (зона II), нижняя камера 3 — для зоны обжига.

Газораспределительная керамическая решетка (рис. 80) выполнена из огнеупорных блоков в виде арки. Опорой решетки служит пятитавровый кирпич 5, расположенный в металлическом опорном поясе 6, соединенном с кожухом 1 печи. Боковые грани огнеупорных блоков 3 имеют в разрезе треугольные выступы и такой же формы впадины. Блоки 3 укладываются на арки 4, перекрывающие сечение шахты с шагом, равным ширине блока. В блоках может быть выполнено одно отверстие для прохождения газов (рис. 80, а, в) или несколько отверстий (рис. 80, б). Размер отверстия определяется размером сменного стакана 2.

Решетка 15 зоны обжига (см. рис. 79) изготовлена из жаропрочной стали и представляет собой перфорированный лист толщиной 16 ... 20 мм. Над каждым отверстием решетки приварены муфты с резьбой, в которые ввернуты насадки горелочного устройства. Сплошная перегородка 4 выполнена из огнеупорного кирпича ШПД-37 и отделяют зону обжига от подготовительных зон. Камеры сообщаются между собой внешними переточными устройствами 5 и 12.

Переточное устройство гравитационного типа (рис. 81) состоит из приемной трубы 5 и сливной трубы 9, клапана 8 и компенсатора 6 температурных удлинений трубы. Ось клапана 8 обдувается воздухом, который одновременно оттесняет горячий материал от рычага клапана и охлаждает его. Клапан регулирует расход материала через сопло 7 между зонами и является отсечным устройством

при нарушении режима работы печи. Переточные устройства устанавливают по два, так как одно служит резервным.

Для сжигания природного газа в кипящем слое материала применяют диффузионные горелки с предварительным смешением газа и воздуха. Газогорелочное устройство 16 (см. рис. 79) печи кипящего слоя состоит из нескольких трубчатых пучков-смесителей, прикрепленных к стальной распределительной решетке 15 зоны обжига.

Газогорелочное устройство (рис. 82) включает в себя несколько горелок, объединенных в общий воздухосборник 4 и газовый коллектор 6. Горелка состоит из трубы 3 и воздухораспределительной насадки 2, снабженной решеткой 8 с отверстиями для выхода воздуха. Трубы соединены с газовым коллектором резиновыми шлангами 5. Насадки 2 закреплены в основаниях 7, которые вмонтированы в стальную распределительную решетку 1.

Печная установка работает следующим образом (см. рис. 79). Известняк через патрубок 9 загружается в верхнюю камеру 8 печи, где ожигается газами с температурой 600 ... 650 °C (I зона). Высушенный и подогретый известняк по переточному устройству 12 поступает в камеру 7, где поддерживается температура 700 ... 750 °C (II зона). Здесь известняк подвергается частичной декарбонизации, после чего он по переточному устройству 5 поступает в третью камеру 3 (зону обжига) с температурой поверхности материала 900 ... 950 °C.

Из зоны обжига известь по внешнему переточному устройству 17 выводится в холодильник 1 кипящего слоя (зона охлаждения). В холодильнике воздух нагревается за счет физической теплоты извести и поступает в смесители газогорелочного устройства 16. Выходящая из этого устройства газовоздушная смесь является сжижающей средой для материала зоны обжига. Газ сгорает в кипящем слое.

Из холодильника известь по переточному устройству 20 попадает на пластинчатый конвейер 19. Выходящий из зоны обжига запыленный газовый поток очищается в циклоне 14 и затем через газораспределительную решетку 13 поступает в камеру 7. Осажденные в циклоне частицы извести винтовым конвейером 18 периодически подаются 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 конструкции НИИОГАЗ и водяного скруббера.

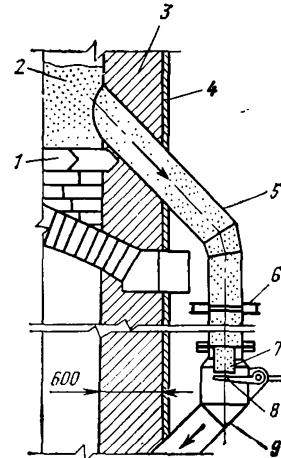


Рис. 81. Внешнее переточное устройство гравитационного типа:

1 — керамическая решетка,
2 — кипящий слой, 3 — футеровка,
4 — кожух печи, 5 — приемная труба,
6 — компенсатор, 7 — сопло, 8 — клапан, 9 — сливная труба

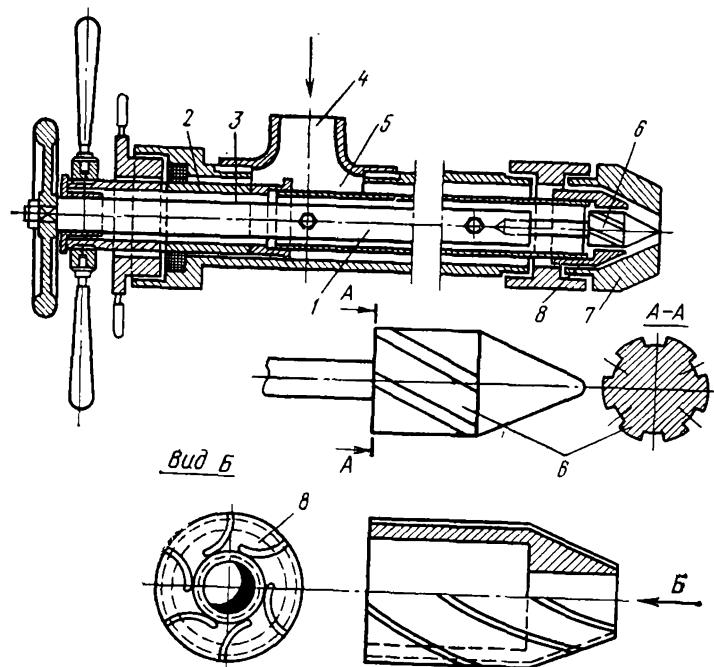


Рис. 82. Газогорелочное устройство:
а — группа горелок, б — горелка; 1 — решетка зоны обжига, 2 — насадка,
3 — труба, 4 — воздухосборник, 5 — шланг, 6 — коллектор, 7 — основание
насадки, 8 — решетка насадки

§ 38. Эксплуатация печей кипящего слоя

Сушка. Печи сушат так же, как шахтные.

Пуск. Перед пуском печи проверяют готовность оборудования всей технологической линии от склада сырья до склада извести. Тщательно осматривают и проверяют готовность оборудования подготовки и загрузки сырья в печь, механизмов выгрузки извести, установки очистки отходящих газов, механизмов подачи топлива в печь, воздуховодки и дымососа, контрольно-измерительной и регулирующей аппаратуры.

Тщательно осматривают футеровку печи, керамические решетки, футеровку горячего циклона и переточные устройства. С пульта управления печью проверяют работу клапанов переточных устройств и устанавливают их в положение «Закрыто». Отверстия решеток всех зон должны быть чистыми; отверстия решеток зон подогрева снабжены стаканами одного размера; насадки воздухораспределителей зоны обжига и охлаждения — одинаковой высоты; кирпичи арок керамических решеток могут быть изношены не более чем на 30 %.

Проверяют дроссельные заслонки воздуховодов и устанавливают их в нейтральное положение.

Холодное опробование печи. Его проводят при пуске вновь построенной или прошедшей капитальный ремонт печи для проверки на герметичность и определения работоспособности ее механизмов. Для этого закрывают люки и гляделки печи, клапаны и запорные устройства всех механизмов, включают воздушное охлаждение осей клапанов переточных устройств. Наполняют расходный бункер материалом. Включают дымосос и воздуходувку на рабочую производительность. Тщательно проверяют герметичность всех соединений, люков, гляделок, сварочных швов, уплотнений механизмов. Проверяют работу клапанов переточных устройств и дроссельных заслонок воздуховодов, полностью открывая и закрывая их. По приборам устанавливают одинаковый расход воздуха на каждый воздухосборник.

Пускают винтовой питатель сырья на малую частоту вращения и в зоне I набирают кипящий слой в соответствии с заданной величиной. Открывают на заданный угол клапан переточного устройства и набирают кипящий слой материала в зоне II. Далее аналогичным приемом набирают кипящий слой в зонах обжига и охлаждения.

Открывают клапан механизма выгрузки и в течение 0,5 ч пропускают материал через всю печь при проектной производительности. В это время вторично проверяют на герметичность соединения, люки и уплотнения.

Выключают питатель сырья и по мере схода материала по зонам печи закрывают клапаны переточных устройств. Прекращают подачу в печь воздуха и останавливают воздуходувку и дымосос. Открывают люки и осматривают решетки, газогорелочные устройства и футеровку печи.

Разогрев печи. Повторно проверяют готовность всей технологической линии к пуску. Приборы на щите управления печи должны показывать, что клапаны переточных устройств закрыты. Далее закрывают люки во всех зонах печи и горячего циклона. Включают в работу дымосос и воздуходувку и устанавливают рабочий расход воздуха.

Последовательно загружают зоны печи материалом. Прекращают подачу в печь воздуха, останавливают воздуходувку и дымосос. Открывают люк зоны обжига и на материале раскладывают костер из дров. Футеровку печи прогревают дымовыми газами при горении дров на естественной тяге печи.

После того как температура в зоне обжига поднимется до заданной величины ($500 \dots 550^{\circ}\text{C}$), закрывают люк и включают дымосос, отрегулировав разрежение под сводом зоны обжига в пределах $40 \dots 50$ Па. Затем включают воздуходувку, подают в зону обжига 10% от номинального расхода воздуха и приступают к пуску розжиговых горелок. Три такие горелки устанавливают под углом 120° в зоне обжига печи заподлицо с футеровкой.

Далее постепенно увеличивают расход воздуха и топлива, продолжая разогрев печи. При этом постоянно контролируют температуру отходящих газов, следя за тем, чтобы она не превышала

400 °С. С ростом температуры отходящих газов зону I, а затем и зону II постепенно догружают материалом до рабочего уровня. После достижения в зоне обжига температуры 800 °С печь готова к пуску.

Пуск и вывод печи на рабочий режим. Пуск печи начинают с увеличения подачи воздуха до рабочего расхода и подачи природного газа в рабочие горелки, расположенные под факелом розжиговых горелок, а затем и остальные рабочие горелки. Количество подаваемого в рабочие горелки газа регулируют таким образом, чтобы топливо горело устойчиво. Характер горения газа при этом контролируют визуально через гляделки зоны обжига печей. В дальнейшем расход топлива на рабочие горелки постепенно увеличивают, а на розжиговые уменьшают.

При увеличении температуры кипящего слоя по зонам до проектной величины открывают клапаны переточных устройств в зону обжига и постепенно догружают ее материалом. Одновременно зоны I и II пополняют материалом, периодически включая винтовой питатель.

Выключают розжиговые горелки. Увеличивают подачу топлива в рабочие горелки и прогревают кипящий слой материала до заданной температуры (900 ... 950 °С), после чего открывают на минимальный угол клапаны переточных устройств в зону охлаждения. Набирают кипящий слой материала в зоне охлаждения и после охлаждения извести открывают на минимальный угол клапаны выходного устройства.

Включают на постоянную работу винтовой питатель и увеличивают степень открытия клапанов переточных устройств в зонах подогрева и обжига.

С выводом печи на рабочий режим включают систему автоматического управления печью.

Обжиг. В печах кипящего слоя в основном используют газообразное топливо.

Сжигание газообразного топлива. В кипящем слое топливо должно равномерно распределяться по поперечному сечению. При вводе газообразного топлива в кипящий слой с помощью газогорелочного устройства скорость горения топлива зависит от скорости смешивания его с воздухом. Эта скорость зависит от расстояния, на которое выдвинута вверх горелочная труба, от числа и расположения на ее конце выходных отверстий. Для образования в зоне обжига равномерного температурного поля топливо должно сгорать в области развитого кипящего слоя.

Регулирование процесса обжига в печи кипящего слоя. Вследствие подвижности (текучести) частиц кипящий слой сохраняет в зоне определенный уровень, который зависит от перепада давления газов в слое. При добавлении в слой материала из него соответственно вытекает такое же количество материала. Это свойство кипящего слоя позволяет управлять процессом обжига и изменять время пребывания материала в слое.

Среднее время пребывания частиц материала в кипящем слое $\tau_{к.с}$, ч, определяется как отношение количества материала в кипящем слое $G_{к.с}$ к часовому расходу материала $G_ч$:

$$\tau_{к.с} = G_{к.с}/G_ч.$$

Колебания расхода материала (подачи его в кипящий слой) существенно влияют на температуру в слое. Например, увеличение или уменьшение подачи материала в слой на 4 ... 5 % повышает или уменьшает температуру в камере (зоне) на 20 ... 30 °C. Поэтому материал должен подаваться в печь автоматическим дозатором.

Большую роль в поддержании оптимального процесса обжига играет правильный выбор соотношения размеров частиц материала $d_{\max} : d_{\min}$. Допускаемое соотношение — 3 ... 5.

Унос мелких фракций из кипящего слоя зависит от степени полидисперсности обжигаемого материала ($d_{\max} : d_{\min}$); скорости газового потока, высоты слоя, высоты надслоевого пространства камеры, конструкции газораспределительного устройства решетки. Наилучшие гидродинамические условия ожигания слоя материала создаются при высоте слоя, равной 0,4 ... 0,5 от диаметра (до 3 м) камеры.

Максимальная температура в кипящем слое зоны обжига зависит от коэффициента расхода воздуха. Поэтому температуру обжига изменяют, регулируя соотношение топливо — воздух.

Отклонения от заданного режима обжига и способы их устранения.

Изменилась температура в зоне обжига. Если при этом подача материала в печь не изменилась, то проверяют расход топлива. В случае неизменной подачи топлива определяют соотношение топливо — воздух. При отклонении одного из указанных параметров приводят его в соответствие с заданным значением.

Изменилась высота кипящего слоя в одной из зон печи. Если высота кипящего слоя в остальных зонах осталась прежней, то проверяют работу переточного устройства, отводящего материал из данной зоны.

Большие колебания давления в зонах печи. Это указывает на нарушение процесса ожигания слоя, что происходит вследствие плохой работы распределительных решеток, переточных устройств или спекания частиц материала в слое. Чтобы исключить спекание частиц, снижают температуру обжига. Если нет спекания, то проверяют работу переточных устройств. При их нормальной работе проверяют газораспределительные устройства решеток, что требует остановки и охлаждения печи.

Остановка печи. Снижают подачу газа в основные горелки и количество загружаемого в печь материала. В течение 1 ч температуру в зоне обжига снижают до 800 °C, после чего включают розжиговые горелки, а рабочие горелки выключают. Одновременно останавливают винтовой питатель сырья. Постепенно материал

выгружается из всех зон печи. После выпуска материала из печи клапан переточного устройства зоны охлаждения закрывают.

При снижении в зоне обжига температуры до 450 °C розжиговые горелки выключают и печь продолжает охлаждаться воздухом. После того как температура в печи достигает 200 °C, останавливают воздуходувку и уменьшают тягу дымососа до минимальной. Открывают люки в зонах. При охлаждении печи до температуры 50 °C выключают дымосос и осматривают футеровку и решетки печи.

При пуске, остановке и обслуживании печи кипящего слоя обжигальщик руководствуется правилами безопасности, изложенными в соответствующих разделах шахтных печей.

§ 39. Автоматизация процесса обжига в печах кипящего слоя

Так как технологический процесс в печи кипящего слоя протекает очень быстро, то управлять им можно лишь с помощью систем автоматического регулирования (рис. 83). Приборы этой системы измеряют и контролируют температуру, расход, состав отходящих газов, давление и уровень материала в зонах.

Загрузка печи известняком регулируется импеллерным расходомером 10 типа РМ-200 и электронным регулятором 13 типа РП2, воздействующим исполнительным механизмом 12 на частоту вращения электродвигателя винтового питателя. Расходомер 14 записывает количество известняка, поступающего в зону 1 печи.

Температура в зоне обжига поддерживается электронным регулятором 28 типа РП2, получающим импульс от потенциометра 29 типа КСП-2, работающего в комплекте с малоинерционным термометром 37 типа ТХА-0806. При изменении температуры в зоне регулятор с помощью исполнительного механизма 27 соответственно изменяет подачу в печь газообразного топлива путем поворота регулирующей заслонки 26 на газопроводе.

Стабильная подача воздуха в газогорелочное устройство печи поддерживается регулятором 24 типа РП2, получающим импульс от расходомера 23 типа КСД-2, исполнительным механизмом 22 и поворотной регулирующей заслонкой 21, установленной на воздухопроводе. Расходомер 23 работает в комплекте с преобразователем ДКО-3701 и диафрагмой 20.

Подача газа на обжиг регистрируется расходомером 31 типа КСД-2, который работает в комплекте с преобразователем ДКО-3701 и диафрагмой 30. Расход газа и воздуха по группам (пучкам) газогорелочного устройства контролируется диафрагмами 36 и 35.

Температура газов и кипящего слоя по зонам печи измеряется термометрами 3, 4, 7—9 и автоматическим многоточечным потенциометром 41 типа КСП-2, температура кипящего слоя в зоне обжига — потенциометром 39, работающим в комплекте с малоинерционным термометром 38 типа ТХА-0806.

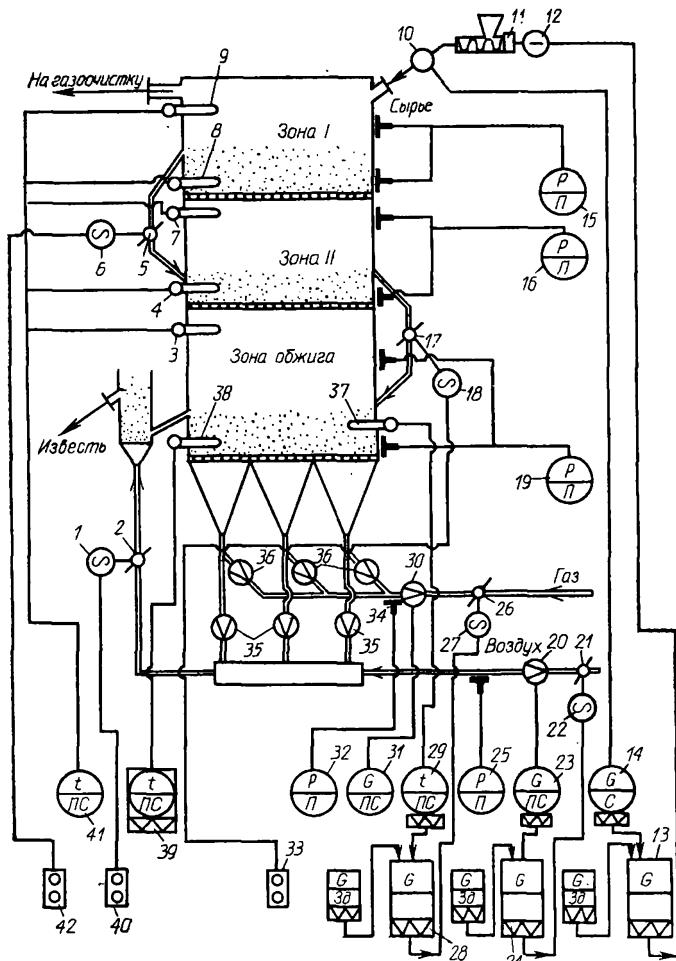


Рис. 83. Блок-схема системы автоматического контроля и регулирования процесса обжига в печи кипящего слоя:

1, 6, 12, 18, 22, 27 — исполнительные механизмы, 2, 21, 26 — поворотные заслонки ПРЗ, 5, 17 — клапаны, 3, 4, 7—9, 37, 38 — термометры, 10 — расходомер сырья, 11 — винтовой питатель, 13, 24, 28 — регуляторы, 14 — расходомер газа, 15, 16, 19, 25, 32 — напоромеры, 20, 30, 35, 36 — диафрагмы, 23, 31 — расходомеры воздуха и газа на печь, 29, 39, 41 — электронные потенциометры, 33, 40, 42 — кнопки управления, 34 — импульсная трубка

Давление по зонам печи контролируется показывающими напоромерами 15, 16, 19 типа НММП-52. Давление газа и воздуха в трубопроводах регистрируется автоматическими самопишущими напоромерами 32 и 25 типа КСД2, работающими в комплекте с преобразователями типа ДКО-3701.

Клапанами 5 и 17 переточных устройств управляют дистанционно с помощью исполнительных механизмов 6 и 18, на которые воздействуют кнопками управления 42 и 33. Так же дистанционно с

помощью кнопок 40 управляют исполнительным механизмом 1, соединенным с регулирующей заслонкой 2, которая установлена в воздухопроводе подачи воздуха в гидрозатвор извести.

§ 40. Организация рабочего места у печи кипящего слоя. Техника безопасности

Организация рабочего места у печи кипящего слоя. Обжигальщик управляет печью из специально оборудованного помещения, в котором смонтированы пульт и щит управления.

На пульте управления размещены выключатель питания схемы управления; ключи выбора управления (дистанционное — автоматическое); кнопки «Пуск» и «Стоп» воздуходувки, дымососа, дозатора сырья, конвейера для подачи извести из циклона; ключи управления клапанами переточных устройств; электроизмерительные приборы, контролирующие нагрузку электродвигателей воздуходувки и дымососа; сигнальная аппаратура.

На щите управления смонтирована мнемосхема технологической линии производства извести в печи с лампочками зеленого и красного цветов, приборы системы автоматического контроля и регулирования процесса обжига и приемная камера промышленной телевизионной установки. Под регуляторами расположены ключи выбора управления (дистанционное — автоматическое), приборы дистанционного указателя положения регулирующего органа (ДУП) и другие.

Рабочее место у печи должно содержаться в чистоте и порядке. Во время приема-сдачи смены обжигальщик производит наружный осмотр корпуса, переточных и газогорелочных устройств, воздуходувки, дымососа, питателя сырья, пылеосадительной установки, конвейера извести из циклона; проверяет запас сырья в приемном бункере, расписывается в приемо-сдаточном журнале.

В течение смены обжигальщик обязан:

систематически следить за показаниями контрольно-измерительных приборов и работой системы автоматического регулирования процесса обжига; изменять задание регуляторам в соответствии с данными лаборатории о качестве сырья и извести; управлять процессом обжига при переходе с автоматического управления на дистанционное;

выполнять установленные задания по качеству извести, производительности печи, нормам расхода топлива на обжиг и стойкости футеровки;

наблюдать с помощью телевизионной камеры за кипящим слоем материала в зонах печи;

следить за состоянием кожуха печи, переточных устройств, дозатора сырья и конвейера для подачи извести из циклона;

смазывать механизмы;

следить за герметичностью печи, трубопроводов и пылеосадительных устройств не допуская выброса пыли и печных газов в помещение;

ежечасно записывать в приемо-сдаточном журнале основные показатели работы печи, а в конце смены — данные о состоянии печи и ее вспомогательного оборудования.

Техника безопасности. При обслуживании печи кипящего слоя обжигальщик руководствуется правилами безопасности, изложенными в соответствующем разделе шахтных печей.

Контрольные вопросы

1. В чем преимущества получения извести в печах кипящего (псевдоожженного) слоя?
2. Какое сырье наиболее целесообразно обжигать на известь в печи кипящего слоя?
3. Для чего служат переточные устройства в печи кипящего слоя?
4. Расскажите, используя рисунок, об устройстве керамической газораспределительной решетки.
5. Расскажите об особенностях конструкции газогорелочного устройства печи кипящего слоя.
6. Для чего предназначена система автоматического регулирования процесса обжига в печи кипящего слоя?
7. В чем особенности эксплуатации печей кипящего слоя?

ГЛАВА IX. КОНТРОЛЬ ПРОИЗВОДСТВА ИЗВЕСТИ

§ 41. Контроль качества сырья и топлива

Качество исходных материалов (сырья и топлива) контролируют при их поступлении на склад, периодически во время хранения на складе и один раз в смену на технологической линии перед поступлением в печь.

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

Каждую партию прибывшего на заводской склад сырья поставщик сопровождает паспортом, в котором указана дата выдачи документа, класс породы, количество сырья, номер партии, результаты испытания проб.

Работники предприятия 2...4 раза в месяц проводят контрольную проверку соответствия поступающей карбонатной породы требованиям стандарта данной отрасли. С этой целью отбирают среднюю пробу, которую используют для определения зернового состава, влажности и химического состава сырья. Предел прочности при сжатии карбонатной породы определяют как среднее значение результатов проверки образцов, изготовленных и испытанных в соответствии с ГОСТ 8462—85.

Если контрольная проверка качества сырья дала неудовлетворительные результаты, т. е. не выполнено хотя бы одно из требований стандарта, то повторно проверяют сырье, отбирая двойное количество проб. При отрицательных результатах анализов предприятие не принимает партию карбонатной породы и непускает ее в производство.

Зерновой состав карбонатного сырья один раз в смену проверяют на технологической линии перед его подачей в печь.

Все данные соответствующих анализов заносят в журнал контроля сырья.

Контроль топлива. Твердое топливо контролируют особенно тщательно, так как его состав и качество существенно изменяются в процессе добычи, хранения и поставки потребителю. Поставщик обязан выслать предприятию удостоверение на отгруженную партию, в котором указаны 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 и зольность твердого топлива определяют один раз в сутки, а сортность — один раз в смену. Кроме того, периодически проверяют, как топливо хранится в штабелях.

Жидкое топливо контролируют как по паспорту поставщика, так и путем отбора проб от полученной партии. В паспорте указывают марку мазута, содержание серы и удельную теплоту сгорания.

Качество мазута контролируют 2...4 раза в месяц.

Газообразное топливо проверяют в лабораториях специализированных организаций.

Все данные по качеству топлива заносят в специальный журнал контроля.

§ 42. Контроль качества извести

Отбор пробы. Каждые 2 ч с конвейера печи равномерно отбирают 20 кг негашеной комовой извести и измельчают ее до размера кусков не более 10 мм. На выходе из мельницы (дробилки) отбирают 15 кг молотой (дробленой) извести.

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 закрытый сосуд.

Полученный порошок извести используют для проведения химического анализа, определения содержания остаточной углекислоты СО₂, температуры и времени гашения в соответствии с ГОСТ 22688—77.

Результаты испытаний заносят в журнал контроля.

Контрольные вопросы

- С какой целью организуют контроль качества сырья, топлива, извести на предприятии?
- Расскажите о порядке отбора пробы сырья для анализа его качества.
- Перечислите, по каким показателям контролируют качество сырья.
- По каким показателям контролируют качество топлива на предприятии?
- Поясните порядок отбора пробы извести.
- Какие показатели качества извести контролируют при ее производстве?

ГЛАВА X. СКЛАДИРОВАНИЕ ПРОДУКЦИИ

Современные предприятия оборудуют отдельными складами под каждый вид продукции. Емкость склада выбирают, учитывая продолжительность хранения продукции (5...6 сут).

Склад дробленой или молотой извести вместимостью 2000 т (рис. 84) состоит из четырех силосов 6 объемом 500 т каждый, снабженных аспирационной системой 8. Высота железобетонной банки силоса—20,6 м при диаметре 6 м. Силосы загружаются пневмотранспортом по трубопроводу 7. Дробленая или молотая известь распределяется по банкам с помощью двухходовых переключателей 12. Известь выгружается из силоса двумя пневматическими боковыми разгрузителями 10 через выпускные отверстия, расположенные в нижней части банки. Из склада известь подается в автомобильный 9 или железнодорожный 11 транспорт. Для улучшения движения материала к выпускным отверстиям дно силосной банки выполняют наклонным и на него укладывают воздухораспределители 13.

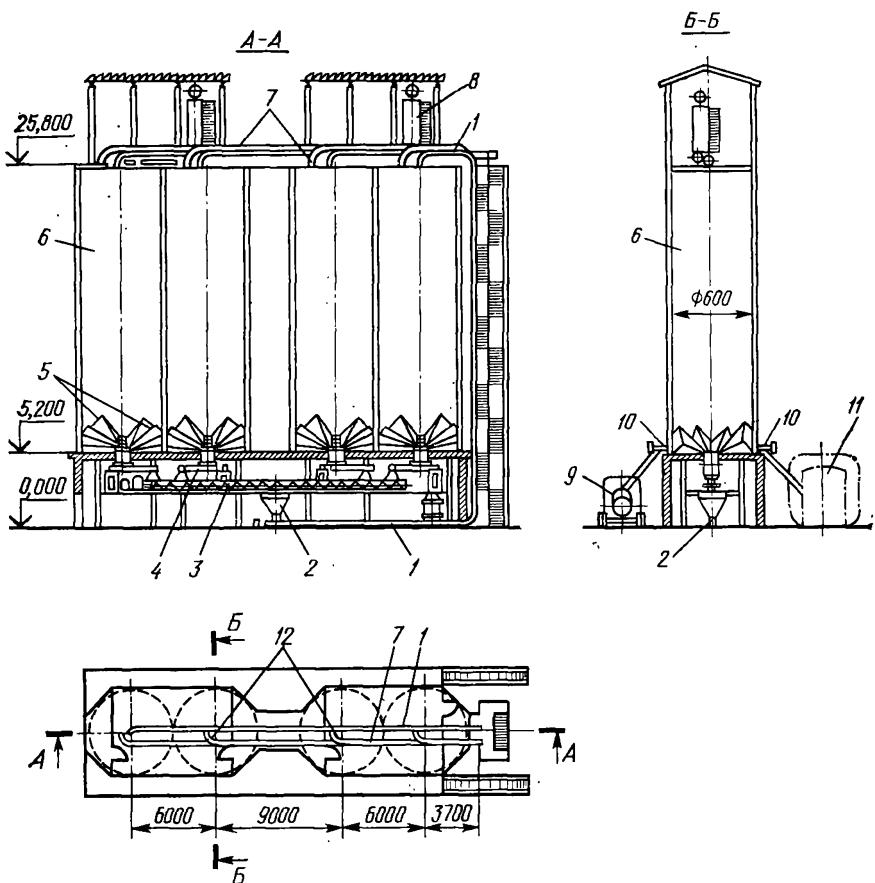


Рис. 84. Склад дробленой или молотой извести вместимостью 2000 т:
 1, 7 — трубопроводы, 2 — насос, 3, 4 — конвейеры, 5 — воздухораспределительные коробки,
 6 — силос, 8 — аспирационная система, 9, 11 — автомобильный и железнодорожный транс-
 порт, 10 — разгрузители с дистанционным управлением, 12 — переключатели

тельные коробки 5, под которые подается воздух от главного воздухопровода. При подаче воздуха в силос материал насыщается воздухом и приобретает текучесть, в результате чего он легко стекает к выпускным отверстиям.

При длительном хранении продукции она слеживается и поэтому плохо выгружается из силоса. Чтобы предотвратить это, известь периодически перекачивают из одного силоса в другой с помощью разгрузочных 4 и транспортного 3 винтовых конвейеров, которые направляют ее в бункер пневмовинтового насоса 2. Он подает материал по трубопроводу перекачки 1 в тот же бункер или другой, заполняя его сверху.

Порошковые материалы могут уплотняться в силосах, образуя своды. Для рыхления материала пользуются укрепленными на стенках банок вибраторами.

Бункера и силосы осматривают и ремонтируют при полном отсутствии в них материала. Для осмотра и обслуживания пользуются респираторами или марлевыми повязками.

Люки силосов во время их работы закрывают крышками и запирают на замок.

Контрольные вопросы

1. Поясните, с какой целью сооружают склады извести. 2. Расскажите об устройстве склада молотой извести.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обжигальщику извести приходится иметь дело не только с печными агрегатами, но и с сырьем различного качества и особенно некачественным твердым топливом. Свойства сырья и топлива существенно влияют на характеристики получаемой извести, в чем учащиеся могли убедиться как при изучении настоящего учебника, так и во время производственной практики. От квалификации рабочего, его добросовестного труда и широты кругозора зависит не только производительность печи и качество выпускемой извести, но и экономия топливно-энергетических ресурсов. Надо помнить, что доля затрат на топливо в себестоимости 1 т выпущенной извести зачастую составляет 40..50% общей стоимости затрат на ее производство. Поэтому учащиеся и молодые рабочие могут стать настоящими мастерами своего дела, если научатся выпускать высокосортную известь с наименьшими затратами топлива. Этого можно достичь при постоянном совершенствовании теоретических знаний и практических навыков.

Учащимся рекомендуется с этой целью ознакомиться с литературой, приведенной в прилагаемом к учебнику списке. Молодым рабочим необходимо, кроме того, постоянно следить за новинками технологии и оборудования, освещаемыми в журнале «Строительные материалы» и изданиях Всесоюзного научно-исследовательского института научно-технической информации и экономики промышленности строительных материалов /ВНИИЭСМ/, а также изучать отраслевые и государственные стандарты на известь, сырье и топливо.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Вахнин М. П., Анищенко А. А. Производство силикатного кирпича. М., 1983.
- Жарковский Б. И. Приборы автоматического контроля и регулирования. М., 1983.
- Короеv Ю. И. Чертение для строителей. М., 1982.
- Монастырев А. В., Александров А. В. Печи для производства извести. Справочник. М., 1979.
- Пашков Н. Н., Ильинко Н. А. Техническая механика для строителей. М., 1984.
- Попов К. Н. Материаловедение для каменщиков, монтажников конструкций. М., 1986.
- Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под общ. ред А. А. Русанова. М., 1983.
- Фейгин Л. А. Дробильные, сортировочные и транспортирующие машины. М., 1983.
- Чепель В. М., Шур И. А. Сжигание газов в топках котлов и печей и обслуживание газового хозяйства предприятий. Л., 1980.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
Г л а в а I. Общие сведения об извести, ее применении и производстве	8
§ 1. Виды извести и ее использование	8
§ 2. Основные требования к негашеной извести	9
§ 3. Способы производства комовой и дробленой извести	11
Г л а в а II. Сведения из теплотехники	13
§ 4. Способы передачи теплоты	13
§ 5. Топливо для производства извести	14
§ 6. Горение топлива	17
§ 7. Движение газов	18
§ 8. Естественная и искусственная тяга	19
§ 9. Тепловой баланс и коэффициент полезного действия печного агрегата	21
Г л а в а III. Карбонатное сырье для производства извести	22
§ 10. Характеристика карбонатного сырья	22
§ 11. Складирование топлива и сырья	26
Г л а в а IV. Переработка, транспортирование и дозирование материалов, очистка воздуха и газов от пыли	29
§ 12. Переработка материалов	29
§ 13. Транспортирование и дозирование материалов	32
§ 14. Очистка дымовых газов и воздуха от пыли	37
Г л а в а V. Общие сведения о процессах получения извести из карбонатных пород	44
§ 15. Физико-химические процессы	44
§ 16. Влияние режимных параметров процесса обжига на производительность печи и качество извести	45
§ 17. Влияние минеральных примесей на качество извести, выбор режима обжига и производительность печи	47
Г л а в а VI. Обжиг карбонатных пород в шахтных печах	49
§ 18. Технологические схемы производства извести в шахтных печах	49
§ 19. Шахта печи	52
§ 20. Загрузочное устройство шахтной печи	54
§ 21. Выгрузочное устройство шахтной печи	60
§ 22. Устройство и работа шахтных пересыпных печей	68
§ 23. Эксплуатация шахтных пересыпных печей	73
§ 24. Устройство и работа шахтных печей на газообразном топливе	85
§ 25. Эксплуатация шахтных печей на газообразном топливе	93
§ 26. Устройство и работа шахтных печей, работающих на мазуте	102
§ 27. Эксплуатация шахтных печей, работающих на мазуте	107
§ 28. Автоматизация процесса обжига в шахтных печах	111
§ 29. Организация рабочего места у шахтной печи. Техника безопасности	121
	191