

691
Ш 82

Проф. К. ШОХ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

часть I



ОНТИ • ГОССТРОЙИЗДАТ • 1934

Проф. К. ШОХ

КОНТРОЛЬНЫЙ
ЭКЗЕМПЛЯР

Д В П

1956

Строительные ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА ЦЕМЕНТ—ИЗВЕСТЬ—ГИПС

Часть I

ПЕРЕВОД С НЕМЕЦКОГО ПОД РЕДАКЦИЕЙ
инж. В. А. БАУЭР и проф. В. Н. ЮНГ

Комитетом по высшему техническому
образованию при ЦИК СССР допущено
к изданию в качестве учебного пособия
для технологических вузов

ПОГАСИТЕ
65-1
Ш-82



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ И СУДОСТРОЕНИЯ
ОНТИ • ГОССТРОЙИЗДАТ • НКТП • СССР

МОСКВА

1934

ЛЕНИНГРАД

Республиканская
навукова-технічна
бібліотека

155066
7590

С-11-5-3(2)

Госстройиздат

Выход в свет май 1934 г.

3-я тип. ОНТИ им. Бухарина. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава I

	Стр.
Предисловие к русскому переводу	6
Предисловие к четвертому немецкому изданию	7

Общая терминология, классификация и номенклатура строительных вяжущих материалов

1. Терминология	9
2. Классификация	9
3. Номенклатура	10
а) Воздушная известь	10
б) Гидравлическая (слабо гидравлическая) известь, предельная известь	11
в) Гидравлические извести особого вида	12
г) Романский цемент (романская известь)	12
д) Магнезиальные извести и цементы	12
е) Пуццолановые цементы	12
ж) Натуральные цементы	13
з) Смешанные цементы	13
и) Специальные цементы	13
к) Германские стандартные цементы	14
л) Рудные цементы	15
м) Высококачественные цементы	15
н) Глиноземистые цементы	15
о) Вяжущие вещества, подобные цементам	15
п) Гипс	16

Глава II

Исходные материалы, их добыча и стоимость

1. Исходные материалы (сырье)	17
а) Известняк, доломит, мергель	17
б) Гипс	25
в) Пуццоланы	26
г) Глина	32
д) Искусственные материалы, заменяющие глину в портландцементном производстве	34
е) Боксит	34
ж) Песок, песчаник	37
з) Искусственные пуццоланы	38
2. Добыча и стоимость сырья	40
а) Общие сведения	40
б) Добыча известняка, мергеля и глины	41
в) Стоимость	73

Глава III

Методы химического и технического анализа

1. Общие приемы работы и обращение с приборами	77
а) Отбор пробы	77
б) Высушивание	78
в) Измельчение	79
г) Взвешивание	80
д) Разложение и прокаливание	80
е) Дальнейшая обработка	84
ж) Титрование	87
2. Методы химического и технического анализа сырых материалов, готового продукта и топлива	94
Естественная влажность материалов	95
Отмучивание	96
Потеря при прокаливании	98
Точные анализы	106
Отделение закиси железа от окиси	113
Определение серы	113
Определение и разделение щелочей	114
Определение двуокиси титана	115
Стандартный метод анализа цемента	116
а) Введение	116
б) Отбор пробы и подготовка к анализу	117
в) Концентрация реактивов и растворов	117
г) Последовательный ход анализа	119
Сокращенные и ускоренные методы анализа	127
Определение ангидрита в гипсе	131
Анализ бетона	132
Определение доменного шлака в цементе	135
а) Предварительные испытания	136
б) Отделение шлака от портланд-цемента	136
Анализ топлива и дымовых газов	138
Свойства и испытание питательной воды для котлов	139
Пробный обжиг	140
Свободная известь в затвердевшем цементе	140

Глава IV

Гипс

1. Гипс как вяжущий материал	142
а) Исторические данные	142
б) Разновидности гипса	143
в) Выделение кристаллизационной воды, полуводный гидрат, растворимый ангидрит	144
г) Эпстрих-гипс, ангидразит, лейколит, ангидритовый цемент	146
д) Свойства различных видов гипсовых вяжущих веществ	150
2. Техника производства гипса	154
а) Перечень аппаратов, машин и печей	154
б) Машины для измельчения	155
в) Аппараты для сжига	171
г) Аппаратура для просеивания	183
д) Аппаратура для перемешивания, транспортеры, весы и магнитные сепараторы	184
е) Обеспыливающие устройства	184
ж) Схема производства гипса	185
з) Свойства штукатурного гипса и эпстрих-гипса	192

Глава V

Воздушная известь

1. Исторические данные	203
2. Производство воздушной извести	203
а) Теория обжига	203
б) Техника производства воздушной извести. Обжигательные печи	206
в) Гашение извести	237
г) Общее руководство для издания инструкций по гашению извести	254

Глава VI

Гидравлическая известь

1. Исторические данные	257
2. Классификация и состав разновидностей гидравлической извести	257
3. Обжиг гидравлических известей	261
4. Гашение гидравлической и цементной известей	262
5. Гидравлическая известь	264
6. Цементная известь	267
7. Роман-цемент	273
Австрийские нормы для роман-цемента	276
а) Определение роман-цемента	276
б) Упаковка и вес	276
в) Сроки схватывания	276
г) Постоянство объема	278
д) Тонкость помола	279
е) Прочность	279
ж) Сопротивление растяжению и сжатию	281
8. Доломитовая известь или доломитовый цемент	284
Извлечение из технических условий для строительной извести союза германских известковых заводов	285
а) Испытание	285
9. Подобные цементам вяжущие вещества	291
а) Натуральные цементы	291
б) Известково-пуццолановые цементы	292
в) Цементы из искусственных пуццолан	299
г) Известково-пуццолановый цемент из сиптофа	300
д) Известково-пуццолановые цементы из других искусственных пуццолан	302

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ПЕРЕВОДУ

Выпуск русского перевода капитального труда проф. К. Шоха „Строительные вяжущие вещества: цемент, известь и гипс“ является более чем своевременным и должен восполнить тот пробел, который у нас в СССР имеется в литературе по вяжущим материалам. Труд этот является не только весьма ценным пособием для изучения технологии вяжущих веществ студентами вузов, но служит вместе с тем прекрасным руководством и для проектирующих организаций, инженеров и техников в производстве, а также преподавательского персонала техникумов и вузов.

В этом труде после кратких исторических очерков развития производства поименованных вяжущих веществ изложено все необходимое для ознакомления и изучения всех предъявляемых к сырьевым материалам требований, характеристик месторождений сырья, способов разработки последних, сведений о технике дробления и переработке сырья, о способах производства, типах аппаратов для обжига, все необходимое о главнейших типах мельниц для перемола сырья, о топливе и о готовой продукции. В книге описываются аппараты для упаковки, транспортные устройства и прочее оборудование. Далее даются основные сведения о производстве анализов сырья и готовой продукции, словом все, что имеет отношение не только к изучению предмета, но и к практике производства.

Помимо описательной части отдельных стадий производства и применяемой аппаратуры во многих случаях дается критическая оценка способов производства и оборудования как со стороны технологической, так и экономической в разрезе германских условий (1927 — 1928 гг.) с интересными часто поучительными для нас данными. Охвачена вся многообразная разновидность выпускаемой продукции с характеристикой ее основных свойств и применения.

Вместе с тем необходимо отметить, что со времени выпуска в 1928 г. четвертого немецкого издания этого капитального труда — издания, с которого сделан перевод, появилось много нового как в области производства вяжущих веществ, так и исследовательских работ, что, понятно, не могло найти соответствующего отражения в этом переводе, который мы считаем необходимым дать в оригинальном изложении. Этот недостаток в отношении цемента в существенной части пополняется выпускаемой Госстройиздатом книгой Векке.

Мы хотели бы здесь упомянуть о производстве и характеристике пуццолановых портланд-цементов, которые на основе проделанной у нас в Союзе большой исследовательской работы должны приобрести исключительное значение для работ, производимых в морских и минерализованных водах, и вообще для гидротехнических сооружений. Далее мы еще укажем на претерпевший коренное изменение расчет сырьевой смеси для производства портланд-цемента, изменение, вызванное совершенно новым представлением о степени насыщения кремнекислоты и полуторных окислов известью.

Можно бы указать еще на целый ряд моментов, которые дают иное направление развитию техники производства вяжущих веществ, но все же перевод классического труда проф. Шоха, выдержавшего 4 издания и не могущего, как уже указано, содержать последние достижения как в области производства, так и исследовательских работ, дает в своем оригинальном тексте все основное для понимания и изучения вяжущих веществ и содержит чрезвычайно много ценных данных и указаний для практиков и исследователей.

Мы полагаем, что переводом данного капитального труда, выдержавшего за границей четыре издания, положено лишь начало к изданию литературы по вяжущим веществам, и дальнейшей задачей в этом направлении является выпуск оригинальных монографий по технологии отдельных видов строительных вяжущих материалов с охватом всех новейших достижений науки и техники.

Редакция

ПРЕДИСЛОВИЕ К ЧЕТВЕРТОМУ НЕМЕЦКОМУ ИЗДАНИЮ

В соответствии с требованиями современной экономики способы производства строительных вяжущих материалов за последние 10—15 лет подверглись коренным изменениям. Необходимо было всеми доступными средствами рационализировать технологические процессы, так как основным условием для развития строительства являются удешевление строительных материалов и улучшение их качества.

Одновременное понижение себестоимости и повышение качества продукции оказались возможными благодаря успехам машиностроения. Усовершенствования в конструкции мельниц и печей для обжига конкурируют по скорости развития, и те заводы строительных материалов, которые не используют достижения в этой области, не в состоянии идти наравне с другими.

В большинстве случаев техника и производителям и хозяйственникам затруднительно следить за быстрым развитием техники производства вяжущих материалов. Вот почему издатели сочли необходимым взамен третьего издания хорошо известного специалистам и оцененного ими по достоинству труда проф. К. Шоха, вышедшего в середине 1913 г. незадолго до смерти автора, выпустить новое.

Сложную задачу переработки этой книги взял на себя прив.-доц. Ницше, которому удалось привлечь по специальным отделам выдающихся специалистов: д-ра Фритца, Гарта, Клее и инж. Мартина. Отдел, относящийся к нормам, переработан д-ром Гехтом.

Проф. Шох, создавая свой труд, главным образом имел в виду применение его в качестве практического руководства и очень мало поэтому касался чисто научных вопросов.

Такой характер книги сохранен и в этом издании. В тех же случаях, когда научные данные являлись необходимым материалом для практических целей, они подвергались переработке, дополнялись и исправлялись; между прочим в главе II внимание уделено также местоположению сырьевых материалов в геологических системах, тогда как обычно в практических руководствах об этом содержатся весьма скудные сведения.

Однако для лиц, желающих ближе ознакомиться с научными вопросами, в соответственных отделах указаны заслуживающие внимания источники. Издательством было решено, не меняя расположения содержания в III изд., в новом издании полностью отразить современное состояние „Производства строительных вяжущих материалов: извести, гипса и цемента“. Таким образом в задачу лиц, взявших на себя переработку книги, входило, сократив излишние подробности и таким образом получив больше места, разместить новый материал, касающийся достижений науки и техники за последние десятилетия в области основных видов вяжущих веществ.

В процессе работы однако выяснилось, что сокращение общего объема в целях удешевления издания невозможно было провести без значительных пробелов, так как дополнительный материал, накопившийся за полтора десятилетия, потребовал много места. После обсуждения первоначально возникшего предположения разделить книгу на выпуски решено было отказаться от этого. Однако, чтобы дать возможность приобретать отдельные части врозь, три части книги в переплетенном издании были сброшюрованы отдельно. Таким образом 1-я часть содержит первые три главы, 2-я от IV до VI главы, а 3-я от VIII по XII, включая нормы для цемента.

Как издательством, так и сотрудниками приложены все старания к созданию „нового Шоха“ в таком виде, чтобы он нашел среди читателей такой же хороший прием, какой заслужил в свое время оригинал.

Март, 1928.

Глава 1

ОБЩАЯ ТЕРМИНОЛОГИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ И НОМЕНКЛАТУРА СТРОИТЕЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ

1. Терминология

Под словом „раствор“ в строительном деле подразумевают материал, служащий для связывания таких элементов кладки, как кирпич, гравий или щебень, и состоящий из смеси собственно вяжущего вещества и наполнителя, который обычно бывает минерального происхождения. Например цемент, известь, гипс служат вяжущим веществом, а песок — наполнителем. В таком случае говорят о цементном, изв. стковом или гипсовом растворе.

На немецком языке существует, правда, и другое толкование термина „раствор“, согласно которому „раствором“ („Mörtel“) называют само вяжущее вещество¹.

В нашем изложении мы придерживаемся первого из этих определений и будем всюду подразумевать под „раствором“ смесь вяжущего вещества с наполнителем.

Собственно строительным вяжущим материалом минерального происхождения, каковы известь, цемент и гипс, мы даем следующее определение:

Строительные вяжущие вещества представляют собою порошкообразные материалы, при затворении с водой образующие тестообразную массу, которая затвердевает в камневидное тело, связывая при этом частицы добавленного наполнителя.

Процессы, происходящие при переходе из тестообразного состояния в твердое, с научной точки зрения еще не вполне выяснены, особенно для цементов, где эти процессы очень сложны; господствующие взгляды излагаются нами в соответствующих отделах об извести, гипсе и цементе.

2. Классификация

Тетмайер² разделяет вяжущие вещества на отвердевающие самостоятельно и несамостоятельно. Первые при затворении с водой могут твердеть без доступа воздуха при обыкновенной температуре, вторые же для этого требуют воздействия атмосферной углекислоты. Промежуточное место занимают такие вяжущие вещества, которые способны к дальнейшему затвердеванию под водою только лишь после предварительного отвердевания на воздухе; тем не менее их следует отнести к несамостоятельно твердеющим вяжущим материалам.

¹ „Tonind.-Ztg“, 1921, стр. 743; 1386—1922, стр. 102, 215. (Was ist „Zement“?), Burchartz, Hydraulische Kolke, 1912, стр. 8.

² L. Tetmajer, Hydraulische Bindemittel, 1893. Тетрадь 6, стр. 66. См. также Kühl и Knothe, Die Chemie der hydraulischen Bindemittel, 1915.

Для некоторых из многочисленных встречающихся в продаже вяжущих материалов не существует пока еще общепризнанной номенклатуры¹.

Пользуясь классификацией, предложенной Тетмайером, получаем следующую таблицу, в которой, как и в дальнейшем изложении, сохранено не совсем удачное, но прочно укоренившееся название „гидравлические“ для таких вяжущих веществ, которые после отвердевания являются, практически говоря, нерастворимыми.

Таблица 1

Вяжущие вещества

Твердеющие несамостоятельно		Твердеющие самостоятельно	
негидравлические	слабогидравлические	негидравлические	гидравлические
Воздушная известь	Те из гидравлических известей, которые требуют предварительного отвердевания на воздухе	Гипс, цемент Сореля	Гидравлические извести (естественные и особого изготовления). Предельные извести (так называемые „цементные“): романские цементы, магнезиальные цементы, пуццолановые цементы, портландский цемент, рудный цемент, шлако-портландцементы, высокосортные цементы, глиноземистый цемент

Мы ограничиваемся означенной классификацией; желающих ознакомиться с иными отсылаем к названным трудам Кюля и Кноте, а также Бургартца.

3. Номенклатура

а) Воздушная известь

Воздушная известь является продуктом, получаемым посредством обжига известняков. Сообразно с местными условиями воздушная известь поступает в продажу негашеной, в виде кусков (кусовая, или „комовая“, известь), или гидратизированной (пушонка) в виде порошка.

„Нормы для поставки и испытаний строительной извести“, установленные союзом германских известковых заводов в 1927 г., содержат следующие определения:

„Белой известью называется продукт, получаемый посредством обжига ниже точки спекания, энергично гасящийся и после гашения в тесто дающий белый цвет. Белая известь состоит главным образом из окиси кальция, но может содержать окись магния, кремневую кислоту, глинозем и окись железа в общем до 10% от обожженного продукта“.

Все надлежаще обожженные известняки как кристаллически-зернистые, так и плотные во время гашения выделяют значительное количество тепла, увеличиваются в объеме и распадаются, превращаясь в мучнистый мягкий порошок, и дают „воздушную известь“.

Обожженная известь (кипелка) при гашении сначала превращается в порошкообразный гидрат извести (пушонка), а при большом количестве воды —

¹ Номенклатуру, принятую в СССР см. ГОСТ 5051.

в жирное тесто (известковое тесто). При еще большем избытке добавляемой воды получается „известковое молоко“.

Перед употреблением известковое тесто следует выдерживать в твдрилах, чтобы еще непогасившиеся зерна при этом догасились и распались.

После этого известковое тесто становится более однородным, плотным, пластичным и, что важнее всего, улучшает свои качества, теряя способность дальнейшего гашения, могущего вызвать растрескивание отвердевшего раствора.

При гашении меньшим количеством воды, т. е. при так называемом „сухом“ способе гашения, получается гидрат извести в виде порошка. Кроме того более или менее тощая воздушная известь получается как побочный продукт при фабрикации гидравлической извести по методу сепарации также в виде порошка. Гидравлически действующие составные части, содержащиеся в извести в различных количествах в зависимости от состава данного сырья, повышают качество порошкообразной воздушной извести, применяемой для надземных сооружений.

Известковый воздушный раствор во влажном состоянии вследствие поглощения углекислоты из атмосферы постепенно отвердевает, начиная с наружной поверхности, в глубь раствора. В воде воздушная известь распадается и растворяется.

(О свойствах и способах испытания см. гл. V.)

б) Гидравлическая (слабо гидравлическая) известь, предельная известь

По Бурхартцу¹ под гидравлической известью (называемой в Германии также серой, черной или тощей), вообще говоря, подразумевают продукт, получаемый посредством обжига ниже температуры спекания известняков, содержащих глину и магнезию; благодаря содержанию в нем веществ, отвердевающих с водой (гидравлитов), получаемый продукт способен твердеть под водой вследствие присоединения воды в отличие от воздушной извести, именуемой также жирной или белой известью. Подобными составными частями, придающими извести свойство твердеть под водой, считаются способные к соединению с известью кремневая кислота, глинозем, окись железа и кроме того магнезия.

Определения, данные Гейзингером фон-Вальдек, Фейхтингером, Михаэлисом и Гауеншильдом, приводятся у Бурхартца, куда и отсылаем читателя.

Указанные выше „Нормы“ содержат следующую более подробную номенклатуру.

„Серая известь“ есть материал, полученный путем обжига ниже точки спекания, который, вообще говоря, по сравнению со свежей белой известью немного менее энергично гасится водой и после гашения приобретает серовато-белый или более темный цвет.

Серая известь состоит главным образом из окисей кальция и магния; она может содержать силикатообразующие вещества в количестве до 10% от обожженного продукта.

Серая известь представляет слабогидравлический вяжущий материал.

„Гидравлическая известь“ (включая и магнезиальную известь) есть материал, полученный путем обжига ниже точки спекания, который лишь медленно гасится и после затвердевания при надлежащем обращении не распадается в воде.

Существенную часть „гидравлической извести“ составляет окись кальция, иногда окись кальция вместе с окисью магния. Она содержит силикатообра-

¹ Burchartz, Hydraulischer Kalk, 1912.

вяжущие вещества в количестве более 10⁰/₀ от общего количества обожженного продукта.

Этого вида известь, в Германии именуемая „водяной известью“, относится к слабогидравлическим известям.

„Предельная известь“, называемая в Германии „цементной“, есть материал, полученный путем обжига ниже точки спекания и распадающийся при добавлении воды только отчасти. Цементная известь продается в размолотом виде (как негашеная, так и гашеная), имеет способность отвердевать под водой и дает большую прочность, чем обыкновенная гидравлическая известь (натуральная цементная известь). Кроме того к цементной извести можно причислить также материалы другого происхождения, которые удовлетворяют требованиям механической прочности и обладают также способностью твердеть под водой (искусственная цементная известь)¹.

(О свойствах и способах испытаний см. гл. VI.)

в) Гидравлические извести особого вида

В отличие от вышеописанных вяжущие материалы особого вида согласно Бургхартцу характеризуются, хотя и не вполне четко, тем признаком, что они в качестве разновидности натурального цемента получаются из естественных известняков путем обжига их до более или менее полного спекания. На самом деле по большей части они представляют искусственные смеси известкового гидрата и особых добавок богатых кремнеземом²; при сравнительно малом содержании извести они имеют большой объемный вес, большой удельный вес и дают большой прочности растворы.

Подобные вяжущие материалы можно отнести уже к группе „цементов“ (гл. V).

г) Романский цемент (романская известь)

Согласно нормам „романский цемент“ (романская известь) представляет продукт, получаемый путем обжига ниже точки спекания известняков, богатых содержанием силикатообразующих веществ. Он не распадается при добавлении воды и потому поступает в продажу в размолотом виде.

Союз германских известковых заводов составил в виде схемы классификацию всех имеющихся в продаже вяжущих материалов, перечисленных выше, которую и помещаем на отдельной странице.

д) Магнезиальные извести и цементы

В то время как гидравлические извести в узком смысле содержат небольшое количество магнезии или вовсе ее не содержат, более или менее значительное содержание последней, до известной степени замещающей известь, обуславливает цвет серой и черной извести, почему последние и называются „магнезиальными известями“. Соответственно этому Кюль подразделяет романские цементы на „собственно романские цементы“ (романские извести) и на „магнезиальные извести“ и „доломитовые цементы“ (магнезиальные цементы).

е) Пуццолановые цементы

Пуццолановые цементы представляют собою материал, получаемый при помощи механического смешения гидрата извести, гидравлической извести или портландского цемента с гидравлическими добавками (пуццоланами).

¹ См. Hirsch. Zementkalke, „Tonindustrie-Kalender“, 1925, стр. 42.

² Burchartz. Mittlgen. a. d. Materialprüfungsamt, 1912, тетрадь 3.

Гидравлические добавки, или пуццоланы, являются искусственными или природными материалами, не твердеющими самостоятельно. Однако, будучи смешаны с гидратом извести, обладают свойством гидравлически отвердевать.

К гидравлическим добавкам относится целый ряд изверженных горных пород позднейшего периода, как например трасс, вулканический туф, пуццоланы, санторинская земля, далее основные доменные шлаки, а также обожженная глина и некоторые другие содержащие глинозем и кремнекислоту вещества, как например колошниковая пыль, сиштоф.

Содержащие известь или выделяющие известь при своей гидратации добавки оживляют скрытые гидравлические свойства пуццолан. Подобного рода смеси могут образовать вяжущие вещества, которые по своим гидравлическим и другим технически важным свойствам и в зависимости от качества добавок и особенностей катализаторов дают вяжущие вещества высокого качества.

Цементам этой категории дают названия, указывающие на применяемые для их производства материалы, например шлако-портланд-цемент, шлаковый цемент, трассовый портланд-цемент и т. п.

Хорошо перемолотые пуццолановые цементы теряют песчано-землистое строение исходных материалов; они делаются мучнистыми и мягкими на ощупь. Цвет пуццолановых цементов зависит от цвета применяемой гидравлической добавки. При затворении пуццолановые цементы не нагреваются и схватываются медленно.

ж) Натуральные цементы

Так называются цементы, которые получают при обжиге сырья, встречающегося в природе в виде готового для наших целей материала, не требующего искусственного исправления своего состава.

з) Смешанные цементы

Смешанными цементами называются (по Кюлю) такие цементы, которые получают при совместном перемоле веществ, обладающих скрытой гидравлическостью, с другими, способными к самостоятельному затвердеванию и действующими на первые как катализатор; таким образом сюда относятся указанные в группе „е“ пуццолановые цементы.

и) Специальные цементы

К специальным цементам относят вяжущие вещества, обладающие особенностями, имеющими значение в строительном деле. Для примера назовем:

1. Рудный цемент; это портландский цемент, в котором глинозем почти полностью заменен окисью железа в целях получения продукта, обладающего большой способностью сопротивляться действию сернокислых солей (гл. VII и XII).

2. Водонепроницаемые цементы, которые могут быть получены совместным перемолом, например с примесью битумных веществ, как-то: известный антиквацимент и недавно появившийся сиксификс-цемент¹.

3. Солидтит-цемент, дающий бетон, отличающийся большой прочностью на сжатие и своею вязкостью и потому считающийся особо

¹ „Zement“, 1923, № 46—47; 1924, № 13, 15, 17.

пригодным для одежды дорог¹. С другой стороны, имея в виду особенности сырья, входящего в состав готового цемента, можно отнести к специальным цементам также ангидритовые цементы, в том числе описанные Будниковым и Левиным²; известный лейколит Гартнера растворим в воде и потому не может быть отнесен к этой группе. Далее назовем цементы, изготовленные из битуминозных сланцев³, например „портланд-юрамент“, производимый заводом по обработке юрских битуминозных сланцев в Штутгарте, и „осромент“, изготавливаемый заводом „Рекорд-цемент“ в Орлингегаузене, а также зольные цементы^{4, 5}.

к) Германские стандартные цементы

(портланд-цемент и шлако-портланд-цемент)

Согласно официальным германским нормам для портланд-цемента, изданным 16 марта 1910 г., и таким же нормам для разновидностей шлако-портланд-цемента, изданным 30 декабря 1909 г. и 22 ноября 1917 г., имеем следующее определение:

„Портланд-цемент представляет собою гидравлический вяжущий материал, содержащий не менее 1,7 весовых единиц извести (CaO) на 1 весовую единицу растворимой кремнекислоты (SiO_2) + глинозем (Al_2O_3) + окись железа (Fe_2O_3), получаемый измельчением в тонкий порошок и тесным смешением сырьевых материалов, подвергаемых обжигу по меньшей мере до спекания с последующим тонким перемолом. К портланд-цементу для особых целей разрешается добавка не свыше 3% других веществ“.

Количество магнезии в прокаленном портландском цементе не должно превышать 5%, а количество ангидрида серной кислоты не должно превышать 2,5%.

В Германии шлако-портланд-цемент производится в двух видах: так называемый „железо-портланд-цемент“, который состоит главным образом из портланд-цемента с небольшим количеством основного гранулированного доменного шлака, и так называемый „доменный цемент“, состоящий, как на это указывает и название, главным образом из доменного шлака с небольшим количеством портланд-цемента.

„Железо-портланд-цемент“ — гидравлический вяжущий материал, состоящий не менее чем на 70% из портланд-цемента и не более как на 30% из гранулированного доменного шлака. Железо-портланд-цемент изготавливается согласно „Нормам союза германских портландцементных заводов“. Доменные шлаки состоят из силикатов и алюминатов кальция и получают при выплавке чугуна в доменной печи. Они должны содержать на 1 весовую единицу растворимой кремневой кислоты (SiO_2) + глинозема (Al_2O_3) не менее 1 весовой единицы извести и магнезии. Как портланд-цемент, так и доменный шлак должны быть тонко размолоты и заводским способом тщательно смешаны. Добавки для специальных целей, а именно для регулирования скорости схватывания представляются необходимыми; однако количество добавки ограничивается 3% от веса общей смеси, чтобы

¹ „Zement“, 1925, № 40; Zbl. der Bauverwelt. 1926, № 13.

² „Tonind. Ztg.“, 1926, № 57.

³ „Zement“ 1921, № 19 и 1925, стр. 615; Z. f. ang. Ch. 1922, № 91; „Tonind. Ztg.“, 1922, № 83.

⁴ „Tonind. Ztg.“, 1924, № 45, 104; 1925, № 5; 1926, № 22.

⁵ Z. f. ang. Ch. 1923, № 57; „Zement“, 1924, № 6, 91; „Tonind. Ztg.“, 1923, № 54.

совершенно исключить возможность добавления отошающих материалов только с целью увеличения веса.

„Доменный цемент“—гидравлический вяжущий материал, который при содержании в нем портланд-цемента не менее 15%, по весу, состоит главным образом из основного доменного шлака, гранулированного посредством быстрого охлаждения расплавленной массы. Как доменный шлак, так и портланд-цемент совместно тонко перемалываются и тесно перемешиваются.

Для изготовления доменного цемента могут применяться доменные шлаки, в отношении своего состава удовлетворяющие следующему требованию:

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \frac{1}{3} \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2 + \frac{2}{3} \text{Al}_2\text{O}_3} > 1.$$

Доменный шлак не должен содержать более 5% MnO .

Добавляемый портланд-цемент готовится согласно определению, данному в „Нормах союза германских портландцементных заводов“.

Добавки для особых целей, а именно для регулирования скорости схватывания, допускаются в количестве не свыше 3% общего веса, чтобы исключить возможность производить добавки только для увеличения веса.

Производство обоих видов шлако-портланд-цемента осуществляется в непосредственной связи с доменными заводами; последние именуются кратко словом „Hütte“; вот почему шлако-портланд-цемент вообще называют иногда в Германии „Hüttzement“.

л) Рудные цементы

(См. в группе „и“).

м) Высокосортные цементы

Высокосортные цементы—это цементы высокого качества, которые, обладая согласно требованию норм медленным схватыванием, в краткие, иногда даже весьма краткие сроки достигают большой сопротивляемости. Названные высокие качества достигаются особой тщательностью производства. (Единообразного названия для этих видов цемента еще не установлено.)

н) Глиноземистые цементы

Глиноземистые цементы—это медленно схватывающиеся цементы, обычно получаемые обжигом до плавления и в отличие от портланд-цемента содержащие большое количество глинозема (35—50%) и соответственно меньшее количество извести (35—45%) и кремнезема (5—10%).

Грюн¹ предлагает называть такого рода цементы, если они содержат извести больше, чем глинозема, „известково-глиноземистыми“ цементами, а содержащие глинозема больше, чем извести,—„глиноземистыми“ цементами.

о) Вяжущие вещества, подобные цементам

(См. также „в“)

Вяжущие вещества, подобные цементам, представляют собою смесь извести и способных вступать с известью в соединение силикатов, полученных из природных или из искусственных материалов, но без какой-либо

¹ Tonerdezement, „Tonind. Ztg.“, 1924, № 24.

особой обработки и без совместного обжига. Они обнаруживают способность к законченному схватыванию подобно подлинным цементам, не требуя гашения или выдержки теста в творялах на месте постройки. Материалы, относящиеся к этой группе, в отношении прочности, постоянства объема и своей однородности не вполне достигают показателей, присущих цементам.

Способы приготовления вяжущих материалов, подобных цементам, довольно разнообразны; они зависят главным образом от свойств того или иного сырья, требующего специальной обработки и обжига, производимого например только до частичного спекания.

К таким веществам в первую очередь следует отнести разновидности „предельной извести“, поступающие в продажу под марками „Метеор“, „Глория“; затем натуральные цементы, получаемые из не вполне однородного сырья; к таковым относятся некоторые бельгийские и бекумские марки, носящие неопределенные названия, вроде „Метеор-экстра“ и т. п.; кроме того к этой группе относятся цементы, получаемые частично при обжиге гидравлической извести, именуемые по-немецки „кребс-цемент“ и по-французски „граппье-цемент“.

Пуццолановые цементы также можно причислить к этому классу.

Приведенный нами обзор показывает, во-первых, что вяжущие вещества получаются на основе обыкновенного известняка (CaCO_3), во-вторых, что классификация вяжущих материалов связана с целым рядом затруднений и наконец, в-третьих, что некоторые вяжущие материалы могут быть отнесены с одинаковым основанием к той или иной группе.

Гораздо проще и яснее дело обстоит с другим вяжущим материалом — гипсом.

п) Г и п с

Гипс, как и воздушная известь, представляет собою однородное вещество, получаемое без специальной переработки сырья из естественной горной породы (камня) путем пережога и последующего обжига или, в обратном порядке, сначала обжига, а затем пережога.

Соответственно температуре обжига различают два рода гипса: штукатурный гипс, для производства которого обычно сначала размалывают сырой камень и затем обжигают его при температуре около 150°C , и эштрих-гипс (по русской номенклатуре—гидравлический гипс), который подобно роман-цементу обжигают при температуре красного каления, а затем перемалывают.

Штукатурный гипс отличается ясно выраженным быстрым схватыванием и соответственно этому применяется главным образом для отделочных и лепных работ. Ввиду того что, будучи растворим в воде, гипс образует типичный воздушный раствор, наружные гипсовые архитектурные отделки должны покрываться прочным защитным слоем для предохранения их от атмосферных влияний, что проще всего достигается покрытием масляной краской. Гораздо более стойким в этом отношении надо считать медленно схватывающийся эштрих-гипс; его применяют преимущественно для устройства полов, обычно покрываемых затем линолеумом. Такие полы, будучи теплыми, отличаются большой прочностью, заглушают звук и легко содержатся в чистоте.

(Испытание гипса см. гл. IV.)

Глава II

ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИХ ДОБЫЧА И СТОИМОСТЬ

1. Исходные материалы (сырье)

а) Известняк, доломит, мергель

Наибольшее значение в качестве сырья для производства вяжущих веществ имеет известняк. Он представляет осадочную породу, являясь результатом отложения главным образом в морских бассейнах веществ, взвешенных в воде. Эти отложения во многих случаях были следствием жизнедеятельности животных или растительных организмов, которым для образования своих раковин или иных твердых оболочек необходима углекислая известь; некоторые известняки целиком состоят из остатков таких оболочек, в других случаях отложения являются результатом чисто химических процессов. Известняк по большей части состоит из кристаллизующегося в гексагональной системе в виде ромбоэдров минерала, известкового шпата или кальцита, представляющего соединение с формулой CaCO_3 , содержанием 56% CaO и 44% CO_2 и удельным весом 2,7; твердость его по шкале Мооса равна 3.

Другая разновидность углекислого кальция — минерал арагонит, кристаллизующийся в ромбоэдрической системе, не является пороодообразующим минералом.

Цвет известняка в большинстве случаев белый или серый, разных оттенков, реже черный, коричневый, желтый, красный или зеленый. Черная или серая окраска известняков объясняется чаще всего присутствием углерода или углеводородов, а цветная зависит от металлических окислов. По структуре различаются зернисто-кристаллические, плотные, пористые оолитовые и землисто-рыхлые известняки. Зернисто-кристаллические, или настоящие „мраморы“, состоят из неправильно расположенных, заметны даже для невооруженного глаза скоплений кристалликов известкового шпата, которые в плотных, пористых и землястых известняках видны только под микроскопом в тонком шлифе или даже вовсе незаметны. Оолитовые известняки состоят главным образом из концентрически скорлуповатых или радиально-волоконистых шариков известкового шпата. Все известняки содержат также в большем или меньшем количестве посторонние примеси, главным образом глину, углекислую магнезию, кремнекислоту в очень мелких частицах или же в виде зерен кварца, окись железа, глауконит (железисто-глиноземный водный калийный силикат) и битуминозные вещества. Род и количество этих посторонних составных частей имеют решающее значение для производства вяжущих веществ ввиду того, что от них зависит в значительной степени качество продукта. Наиболее важные из них глина и углекислая магнезия.

Известняки со значительным содержанием глины называются мергелями и образуют как бы промежуточное звено между известняками и глинами. Соответственно сказанному можно составить следующую градацию¹:

	В процентах
Чистые известняки	98—100 CaCO_3
Мергелистые известняки	90—98 CaCO_3
Известковые мергели	75—90 CaCO_3
Мергели	40—75 CaCO_3
Глинистые мергели	10—40 CaCO_3
Мергельные глины	2—10 CaCO_3
Глины	0—2 CaCO_3

Образование мергелей можно объяснить притоком речной воды, содержащей взвешенные глинистые вещества, в те морские бассейны, в которых происходило отложение углекислой извести, одновременно с которой осаждалась и глина. Так же как среди известняков и здесь мы встречаем оолитовые, глауконитовые, песчаные, битуминозные и тому подобные виды мергелей. Как разновидность мергеля можно рассматривать и кремнистые известняки, т. е. такие, в которых содержится кремневая кислота, распределенная в виде мельчайших частиц.

Известняки со значительным содержанием углекислой магнезии называются доломитами. Так называемые нормальные доломиты отвечают составу ромбоэдрически кристаллизующегося минерала — бурого шпата или доломита; это двойная соль состава $\text{MgCO}_3 + \text{CaCO}_3$, где на 54,3% CaCO_3 приходится 45,7% MgCO_3 , но такие нормальные доломиты редко встречаются, обычно содержание извести бывает выше. Доломит тяжелее известняка, его удельный вес равен приблизительно 2,9. Твердость также больше — около 3,5—4 по шкале Мосса. В противоположность известняку на доломит мало действуют слабые кислоты в холодном состоянии и он с ними едва вскипает. Образование доломита происходило таким же образом, как и образование известняка, т. е. как при содействии организмов, так и химическим путем. Но кроме того при его образовании имеют место метасоматические процессы, при которых отложения известняка превращались в доломит под действием растворов, содержащих магнезиальные соли. Таким образом некоторые массивные доломитовые залежи следует считать вероятно бывшими ранее коралловыми образованиями, изменившимися впоследствии под действием магнезиальных солей морской воды. Этот процесс мог происходить также в отложениях известняка, уже давно ставших частью материка, под действием воды, содержащей магнезию, просачивавшуюся через трещины. Наконец известняки с небольшим содержанием магнезии могли превратиться в доломит вследствие выщелачивания более растворимого углекислого кальция, причем они обогащались менее растворимой двойной углекислой солью кальция и магния. Цвет доломитов обычно светлосерый и светлосурый. Среди доломитов также различают зернисто-кристаллические (доломитовые мраморы), плотные, пористые и солитовые. Рыхлые доломитовые массивы, представляющие результат выветривания доломитовых известняков, называют в Германии доломитовой золой. Примеси, встречающиеся в доломитах, те же, что и в известняках. Таким образом имеются глинистые (доломитовые мергели), кремнеземистые, песчаные, железистые и битуминозные доломиты.

Что касается распространения известняков в различных геологических системах, то их можно найти в каждой из них в различных количествах.

¹ Kühl u. Knothe. (См. сноску 2 на стр. 2).

В то время как средние слои триасовых и верхние юрских отложений состоят почти исключительно из известняков, в других формациях они образуют только более или менее мощные пласты, залегающие между глинистыми, песчаными и другими породами. Относительно распространения известняков¹ в Германии можно сказать следующее: они встречаются среди так называемых кристаллических сланцевых пород, которые относятся к древнейшим известным нам, и следовательно имели большое значение в начальные периоды истории земной коры. Однако они попадают и в позднейших формациях, геологический возраст которых не всегда может быть точно установлен, залегая в виде пластов зернисто-кристаллических известняков и доломитов, пригодных для производства извести: в районе Судетских гор Нижней Силезии; в горах Фихтеля и в районе Баварских и Богемских массивов в Баварии, а также в Гессенском Оденвальде. Мелкозернисто-кристаллические известняки и доломиты гор Канизбаха и возле Горлитца в Нижней Силезии, положившие начало выработке извести, надо определенно отнести к палеозойскому периоду, именно к силуру. Далее, известняки в саксонской части сланцевых образований по Эльбе. Большое экономическое значение имеют в большинстве случаев мелкозернистые, преимущественно кораллового происхождения массивные девонские известняки и доломиты прирейнских сланцевых образований. Добыча производится в крупном масштабе в Вестфалии, в Гессен-Нассау и в Оберессене, на левом берегу Рейна, в Эйфеле и котловине Ахена. Разработка таких девонских известняков ведется также в Гарце и в Саксонском Фогтланде. В нижних каменноугольных отложениях мы находим так называемый углестый известняк, который встречается в районе прирейнских сланцевых образований, а именно в Вестфальском Рейнланде и на левом побережье Рейна, в Эйфеле и в Ахенской котловине. Он широко применяется в местной промышленности как сырьевой материал. На многих небольших каменоломнях пфальзийской седловины Саарбекена в Рейнфальце большею частью шахтным способом разрабатываются пермские известняки для обжига извести.

К верхним пластам пермской формации, а именно к цехштейну, относятся некоторые известняковые и доломитовые отложения в области Судетских гор Нижней Силезии и Оберлаузитца. Для известковой промышленности Саксонии также имеют большое значение цехштейнские доломиты. Местонахождения их в Мюгельн и в Гейт хайн-Гриммтау-Мееран. Там же находятся самые крупные саксонские заводы. Кроме того имеются отложения в тюрингской котловине у Песнека, в Баварии в Форшпрессарте и в Гессене в Оденвальде. Очень богаты промышленными известняками, мергелями и доломитами мезозойские образования. Средняя часть триасовых отложений, из которых на первом месте стоит ракушечный известняк, представляет сырьевой материал для многочисленных германских заводов, изготовляющих известь и портланд-цемент. Например в Марке возле Рюдесдорфа, в окрестностях Берлина на песчаной равнине делювиального периода выдается седловина ракушечного известняка. В Силезии в пределах Верхнесилезского плато, в Средней Германии, в Магдебурго-Габерштадской мульде, к северо-западу и востоку от Гарца, в Ангальтском районе, в Брауншвейгском, Липском и Ганноверском; в Тюрингской котловине и в Баварии, Вюртемберге и Бадене и на левом побережье Рейна в местностях Триера, Саара и Блиса. Часть Баварских известковых Альп также состоит главным

¹ Kossmann, Die Verbeitung der Kalksteine in nördlichen Deutschland Berlin, 1914.—Fritz, Vorkommen nutzbarer Kalksteine in Süddeutschland. Berlin 1925.

образом из мощных известковых и доломитовых массивов, относящихся к средним и поздним триасовым образованиям. Затем очень богаты промышленными известняками юрские массивы. В нижней части они состоят преимущественно из мергелей, из которых следует отметить посидонский сланец — битуминозный глинистый мергель, который применяется при производстве вяжущих веществ как в качестве горючего, так и в качестве вяжущего материала. Средние отложения его состоят из песчано-глинистых напластований. Верхняя же часть, так называемая Белая Юра, образована исключительно из известняков. В Померании, в провинции Позен, в Брауншвейге, у области Везерских холмов, в Ганновере и Липпе для производства извести и портланд-цемента пользуются юрскими известняками. Однако наибольшей базой в Юрской области служит Швабфранская Альба, известняки которой имеют большое значение для промышленности Бадена, Вюртемберга и Баварии. В этой области имеются между прочим известные цементные мергели верхней Юры, залегающие в местности Блаубейрен в Вюртемберге. Юрские пласты участвуют в образовании Баварских Альп, хотя они и уступают триасовым. При изготовлении портланд-цемента большое значение имеют отложения мелового периода. Они широко разрабатываются в Померании как на континенте, так и на островах, а также в Шлезвиг-Голштинии близ Легерндорф-Итцехо, близ Люценбурга, Гемоора, Мисбург-Лерте и близ Дейстера в Ганновере. В верхней Силезии, близ Опельна, и особенно в большой Мюнстерской меловой котловине и соседних холмах развились заводы гидравлической извести и портланд-цемента, использующие мергель верхних меловых отложений. В Южной Германии меловые отложения появляются только на небольшом пространстве в районе Регенсбурга. Большую площадь они занимают в Баварских Альпах. Здесь в одном месте мергели меловых отложений применяются на портланд-цементных заводах. В кенозойских отложениях обнаруживаются мощные пласты известняка третичного образования. Наибольшего распространения они достигают в самых обширных третичных отложениях Германии в котловине Майнца. Здесь они служат основой для мощно развитой цементной промышленности. Эти известняки используются в качестве сырья для самого крупного завода на континенте. Четвертичные отложения не имеют значения, так как луговая известь и травертино только в отдельных местностях, например в Тюрингии, идут на обжиг извести.

Известняки и мергели, применяемые для производства портланд-цементов, не должны содержать вредных примесей. Таковыми являются магнезия в значительных количествах, затем колчедан, гипс и при заметных количествах окислы марганца. Для производства белой извести требуется по возможности полное отсутствие примесей, особенно если известь идет для химических и металлургических заводов. Напротив, мергелистые известняки, применяемые для обжига гидравлической извести, должны содержать известное количество силикатов в легко реагирующей форме. Особенно ценными считаются такие мергели, которые содержат известь и глину в пропорции, необходимой для получения портланд-цемента. Из подобных мергелей возможен обжиг портланд-цемента без предварительной обработки сырья. Особенно известны месторождения таких мергелей в Новороссийске на берегу Черного моря и в Сплато в Далмации. Оба названные месторождения относятся к меловым отложениям. В Австрии имеются пригодные для производства так называемого натурального цемента мергели меловых отложений близ Гартенау, недалеко от Зальцбурга и нижнетретичные близ Перльмооса в Тироле. В Германии в известных цементных мергелях мелового отложения.

Верхнего Мальма Швабской Альбы встречаются пласты, пригодные для обжига портланд-цемента. Но даже в тех случаях, когда приходится смешивать различные сорта мергелей для получения цементной смеси надлежащего состава, они все же предпочтительнее всех других сырых материалов, потому что в этих породах природа создала такое тесное смешение известняка с глинистыми веществами, которое нельзя получить механическими способами при искусственном изготовлении смеси из известняка и глины.

Ниже приводится ряд анализов известняков, по своему составу пригодных для изготовления белой извести, гидравлической извести, предельной или цементной извести, романского цемента и портланд-цемента.

Известняки, применяемые для обжига белой извести:

I. Зернисто-кристаллический известняк (мрамор), залегающий в филлите (доставляется в естественном виде, а затем отделяется чисто белая порода, не применяемая для обжига, а служащая для других целей) из Зинатенгруна в горах Фихтель.

II. Известняк, так называемый массивный, среднедевонского периода из Хегена в Вестфалии (анализ Шварца).

III. Известняк из нижних каменноугольных отложений, так называемый углистый известняк из Добры в Франквальде в Баварии.

IV. Известняк нижних отложений ракушечного известняка, так называемая „пенистая“ известь из Кальберга близ Рюдерсдорфа (анализ геологической лаборатории в Берлине).

V. Известняки нижних мальмских отложений, так называемая строительная известь (белая юра) из Гартмансгофа во Франконской Юре и в Баварии.

VI. Известняк нижних миоценовых отложений (церитовая известь) из Вейсенау в Майнской котловине и Прирейнского Гессена (анализ Эггера).

	В п р о ц е н т а х		
Углекислой извести	94,74	96,96	97,67
Углекислой магнезии	2,54	0,60	1,84
Кремневой кислоты	1,75	0,18	—
Глинозема	0,10	—	0,19
Окиси железа	0,05	0,30	0,33
Заиси железа	—	—	—
Щелочей	—	—	—
Ангидрида фосфорной кислоты	—	—	—
Ангидрида серной извести	—	—	—
Нерастворимого остатка	—	—	0,62
Воды и органических веществ	0,42	—	—
	100,00	100,04	100,00

	В п р о ц е н т а х		
Углекислой извести	94,68	96,64	96,25
Углекислой магнезии	1,13	1,91	1,61
Кремневой кислоты	1,66	0,91	0,30
Глинозема	0,30	0,46	0,02
Окиси железа	0,12	0,30	0,42
Заиси железа	0,15	—	—
Ангидрида фосфорной кислоты	0,86	0,38	0,43
Щелочей	0,06	—	—
Ангидрида серной кислоты	0,28	—	—
Нерастворимого остатка	—	—	0,36
Воды и органических веществ	0,96	6,53	1,08
	100,14	100,63	100,47

При добавлении в надлежащем количестве глины, глинистого мергеля или доменного шлака все эти известняки могут быть применены для изготовления портланд-цемента.

Доломиты, применяемые для обжига „серой“ извести

I. Доломит в гнейсах Рудных гор при Франкенштейне-Мемендорфе в Саксонии (анализ Мербаха).

II. Серый мелкозернистый доломит из средних девонских отложений в Гюкингене в Вессене Нассау (анализ Фрезениуса).

III. Доломитовый плитняк из Цехштейна в Гера (анализ Либе).

IV. Доломит из верхних отложений ракушечника в Паллине близ Темельса (Трир), Рейнская область.

V. Доломит из верхних мальмских отложений (белая юра) из Франкенальба в Деинсдорфе, Бавария.

VI. Доломит из верхних миоценовых отложений из Фуксберга близ Нордлингена и Баварии (анализ Роте).

	I	II	III
	В п р о ц е н т а х		
Углекислой извести	53,99	54,98	63,60
Углекислой магнезии	40,02	43,71	30,69
Углекислой закиси железа	—	—	—
Кремневой кислоты	1,97	—	—
Глинозема	1,52	—	—
Окиси железа	2,03	0,49	1,25
Щелочей	—	0,47	—
Нераств. остатка (глина и песок)	—	0,35	2,36
Воды и органических веществ	—	—	2,10
	99,53	100,00	100,00
	IV	V	VI
	В п р о ц е н т а х		
Углекислой извести	52,89	57,82	68,62
Углекислой магнезии	42,84	40,95	28,65
Углекислой закиси железа	0,48	—	—
Кремневой кислоты	—	—	—
Глинозема	—	—	—
Окиси железа	—	—	—
Щелочей	—	—	—
Нераств. остатка (глина и песок)	3,34	0,62	0,98
Воды и органических веществ	0,36	—	1,67
	99,91	99,39	99,92

Известковые и доломитовые мергели, применяемые для изготовления гидравлической извести

I. Известковый мергель нижних отложений ракушечника из Калькберга, Рюдерсдорф, Марк (анализ горного надзора в Рюдерсдорфе).

II. Известковый мергель верхних мальмских отложений, так называемый „портландский“ (белая юра) из Альтмендингена в Вюртемберге.

III. Известковый мергель верхних меловых отложений из Бохума в Вестфалии.

IV. Доломитизированный известковый мергель нижних ракушечных отложений в Калькберге, Рюдерсдорф в Марке (анализ Горного надзора в Рюдерсдорфе).

V. Доломитный мергель верхних ракушечных отложений из Рита, Вюртемберг.

	I	II	III
	В процентах		
Углекислой извести	84,70	85,72	82,90
Углекислой магнезии	3,55	0,94	0,50
Кремневой кислоты	5,52	3,14	10,82
Глинозема	2,70	3,70	2,74
Окиси железа	0,69	0,30	1,70
Щелочей	—	—	0,50
Ангидрида серной кислоты	—	0,34	—
Нераств. остатка	1,84	—	—
Воды и органических веществ	0,92	—	—
	99,92	99,14	99,16

	IV	V
	В процентах	
Углекислой извести	86,13	49,44
Углекислой магнезии	4,33	40,28
Кремневой кислоты	4,13	6,17
Глинозема	3,22	1,20
Окиси железа	0,99	1,40
Окиси магния	—	0,20
Воды и органических веществ	0,98	0,60
Щелочей и неопр. ост.	—	0,51
	99,78	100,00

(Примечание. При соответствующей добавке глины, мергеля или глинистого мергеля известковые мергели II и III могут быть применены для производства портланд-цемента.)

Известковые и доломитовые мергели, применяемые для изготовления предельной или „цементной“ извести. Кремнистый известняк.

I. Доломитовый мергель из нижних ракушечных отложений из Фордештета, Саксония.

II. Известковый мергель из верхних лиассовых отложений из Боля, Вюртемберг.

III. Известковый мергель из верхних меловых отложений из Зальдера, Брауншвейг.

IV. Кремнистый известняк нижних меловых отложений, так называемый Шо-дю-Тейль, во Франции.

	I	II	III
	В процентах		
Углекислой извести	67,16	78,98	78,21
Углекислой магнезии	19,31	0,50	1,08
Углекислой закиси железа	—	4,83	—
Кремневой кислоты	3,67	15,24	16,15
Глинозема	5,01		3,77
Окиси железа	—		1,37
Ангидрида серной кислоты	—	—	0,21
	100,15	99,55	100,99

	IV
	В процентах
Углекислой извести	81,07
Кремневой кислоты	16,89
Глинозема	0,81
Воды	1,23
	100,00

Мергель и доломитовый мергель, применяемые для изготовления романского цемента:

I. Доломитовый мергель альпийского лиаса (пятнистый мергель) из Штайлаха, Верхняя Бавария.

II. Мергель верхнего мальма (белая юра) из Альмендингена, Вюртемберг.

III. Мергель верхнего мальма (белая юра) из Альмендингена, Вюртемберг. Смешивается для обжига с пятнистым. Средний состав сырья таким образом следующий: 67,12% CaCO_3 ; 2,85% MgCO_3 ; 14,42% SiO_2 ; 9,22% Al_2O_3 ; 2,00% Fe_2O_3 ; 1,15% SO_3 ; 2,64% воды, углекислоты и органических веществ.

При соответственной добавке известняка или известкового мергеля мергели II и III могут быть применены для изготовления портланд-цемента.

IV¹. Мергель нижнетретичного периода из Перлмоса в Тироле.

	I	II
	В процентах	
Углекислой извести	55,93	71,84
Углекислой магнезии	6,54	2,77
Кремневой кислоты	24,22	14,25
Двуокиси титана	0,10	—
Глинозема	4,01	7,10
Окиси железа	2,98	1,90
Закиси марганца	0,35	—
Щелочей	1,11	—
Ангидрида серной кислоты	—	1,20
Воды, углекислоты, органических веществ	3,41	0,06
	98,65	99,12
	III	IV
	В процентах	
Углекислой извести	62,41	70,64
Углекислой магнезии	2,94	1,02
Кремневой кислоты	14,59	15,92
Двуокиси титана	—	—
Глинозема	11,35	5,94
Окиси железа	2,10	3,98
Закиси марганца	—	—
Щелочей	—	1,37
Ангидрида серной кислоты	1,10	—
Воды, углекислоты, органических веществ	5,23	0,79
	99,72	99,96

Известковый мергель, который можно применять непосредственно для производства портланд-цемента:

I. Известковый мергель верхнего мальма (белая юра) из Альмендингена, Вюртемберг.

II. Известковый мергель из альпийских нижнемеловых отложений (Неоком) из Гартенау, Зальцбург.

	I	II
	В процентах	
Углекислой извести	75,00	75,50
Углекислой магнезии	2,70	1,25
Кремневой кислоты	11,10	17,60
Глинозема	7,8	—
Окиси железа	1,40	4,65
Ангидрида серной кислоты	1,40	—
Воды и органических веществ	—	0,55
Щелочей по разности	—	0,45

¹ Klepenhauer, Kalk und Mörtel., Köln 1907.

б) Гипс.

Другое соединение кальция, встречающееся в природе и служащее сырым материалом для изготовления вяжущих веществ, это сернокислая известь. Она находится в виде безводного соединения так называемого ангидрита, CaSO_4 и содержит 41,2% CaO и 58,8% SO_3 , а также в виде водного соединения, а именно гипса, содержащего 32,55% CaO ; 46,52% SO_3 и 20,93% H_2O . В виде отдельных образований ангидрит представляет собой минерал, кристаллизующийся в гексагональной системе, уд. вес 2,8—3, твердость 3—3,5; что касается гипса, он кристаллизуется в моноклинической системе, уд. вес 2,3, твердость по шкале Мооса, 2. Обе разновидности образуют часто массивные залежи. Чаще всего встречаются залежи гипсового камня, который и поныне является для нас наиболее ценным сырым гипсовым материалом.

Гипсовый камень представляет собой породу осадочного происхождения. Содержащийся в морской воде сульфат кальция осаждался в водоемах и бухтах, иногда соединявшихся узкими проливами с морем и под влиянием сухого климата пустыни подвергавшихся усиленному испарению и в конце концов совершенно высохавших. Благодаря постепенно усиливающейся концентрации раствора соли щелочных металлов осаждались последними; вот почему гипс так часто встречается вместе с отложениями соли. Сульфат кальция выделялся исключительно в виде ангидрита и превращался в гипс уже впоследствии, когда эта часть морского дна делалась сушей. Вот почему в некоторых залежах часто встречаются куски гипса, внутри которых еще содержится не подвергшийся изменению ангидрит. Очень часто гипс встречается в других горных породах в виде линз и более крупных включений. Гипсовый камень обычно белого или серого цвета, реже голубоватый или красноватый. Строение гипса обычно плотное, иногда крупно- или мелкокристаллическое. В последнем случае, если порода имеет чисто белый цвет, ее называют алебастром. В некоторых месторождениях, в особенности в Америке, землистый гипсовый камень встречается в виде отдельных кристаллических чешуек. В тонких прослойках других горных пород он иногда обнаруживает волокнистое строение и нередко отливался шелковистым блеском. Нередко в гипсовом камне попадаются совершенно прозрачные включения — так называемый гипсовый шпат. Очень часто гипс загрязнен другими породами. В большинстве случаев посторонними примесями являются глина или глинистый сланец и кварцевый песок. Гипсовый камень со значительным содержанием глины в Германии иногда называют гипсовым мергелем. При небольшом содержании указанных примесей гипс еще может применяться для производства штукатурного гипса. Если же эти примеси имеются в значительном количестве, гипсовый камень делается непригодным для обжига. Присутствие углекислой извести, которая также иногда оказывается примесью, хотя и не является вредной для штукатурного гипса, но вредит при обжиге эштрих-гипса. Загрязненную известняком породу не следует применять, так как в этом случае есть опасность образования окиси кальция, которая может вызвать затем явления непостоянства объема в растворе. Гипсовый камень сильно битуминозный также непригоден для эштрих-гипса вследствие образования сернистого кальция при обжиге. Также вредно значительное содержание хлористого натрия, попадающегося в тех месторождениях, где гипс отлагался вместе с каменной солью.

Гипсовый камень встречается в природе в значительных количествах, хотя распространен все же менее, чем известняк. В Германии значительные

промышленные месторождения имеются в пермских, триасовых и в отдельных случаях в третичных отложениях. К верхним пермским образованиям относятся замечательные цехштейнские гипсовые пласты, выступающие в равнине у Зегеберга в Голштинии, в Люнебурге, в Шперенберге возле Берлина и в Эскике в Познани. К верхним пермским отложениям относятся также месторождения в Нейланде в Нижней Силезии, а равным образом и самые мощные пласты ангидрита и гипса в Германии, которые тянутся на 85 км параллельно южным отрогам Гарца, достигая особенной мощности у Нордгаузена. Затем сюда же надо причислить тюрингенские месторождения близ Фридрихрода, Киттельталя, Песнека и Крельпа. Нижнетриасовые отложения: к верхним песчаникам относятся гипсовые отложения близ Иены, близ Фульды и Верхней Верры; к среднему триасу или ракушечным известнякам принадлежат отложения близ Эрфурта, также в области среднего Неккара и среднего Вутаха и Бадене, в отрогах Шварцвальда в Вюртемберге и близ Делау, недалеко от Байрейта в Баварии. Верхнетриасовые: к кейперу относятся баденские месторождения в Крайхгау и предгорьях, затем Вюртембергские при Асперге, Унтертюркгейме, Гессентале и др., кроме того баварские среднефранкские месторождения, на что указывают самые названия местностей, как-то: Ипегейм, Ипгофен, Иппесгейм и т. п. К триасу относятся и гипс, добываемый в Баварских Альпах близ Ленгриса, Оберау, Райхенгаля, Хоеншвангау и др. В третичных отложениях гипс встречается в Верхней Силезии, в районе Леобшютца, Рибника, Плеса и Тоста; затем в горах Гильс в районе Гильдесхайма и в Бадене в юго-восточной части Кейзерштула и в Хегау. Из других месторождений в Европе назовем австрийские в области альпийского триаса близ Галлейна, Галлштадта, Ауозе и третичные венской котловины. Во Франции отметим гипсовый камень нижнего олигоцена парижских третичных отложений, из которого выжигают знаменитый „plâtre de Paris“ (алебастр). В Италии имеются мощные пласты в верхнем кейпере, далее — в альпийском триасе Верхней Италии и в третичных отложениях Сицилии. В Испании значительные месторождения — в третичных образованиях Каталонии и Арагонии. В Англии гипсовый камень разрабатывается в кейпере Кумберленда, Стафордшира, Дербишира, Вестморсланда и в верхнем мальме Суссекса. Многочисленные месторождения известны в СССР.

Для производства гипсовых вяжущих материалов: штукатурного гипса и эштрих-гипса применяется исключительно гипсовый камень. Однако благодаря выработанным за последнее время способам ангидрит также может употребляться в качестве сырья. На химических заводах б. Ф. Байера в Леверкузене гипсовый камень и ангидрит применяются для производства серной кислоты, причем в виде побочного продукта получается портланд-цемент. Следует указать еще на применение размолотого гипсового камня для регулирования сроков схватывания портланд-цемента и шлако-портланд-цемента. Наконец, применяя соответствующие добавки, гипсовый камень и ангидрит в перемолотом виде употребляют для изготовления некоторых вяжущих материалов (например лейколит).

в) Пуццоланы •

Вулканические туфы. Пуццоланами называют горные породы или искусственно приготовленные материалы, обладающие способностью в размолотом виде и в смеси с гидратом извести давать растворы, гидравлически отвердевающие. Материалы эти получили название по местности, лежащей

в Неаполитанском заливе, — Пуццуоли; здесь добывается горная порода, именуемая пуццолой. Пригодность пуццоланы для водостойкого вяжущего материала была известна уже римлянам, которые широко пользовались ее свойствами. Ими применялась также санторинская земля, встречающаяся в виде рыхлых отложений на некоторых из Цикладских островов, особенно на Тера и Санторине в Эгейском море.

Естественные пуццоланы представляют собою вулканические туфы, состоящие из более или менее пористых изверженных масс, вулканических бомб, шлаков, лапилли и пепла, связанных в более или менее прочные образования, содержащие кроме того осколки пород, составляющих кратер вулкана. Соответственно роду изверженных пород, сопровождающих туфы, их называют порфировыми, базальтовыми, трахитовыми туфами и т. д. Пуццолана и санторинская земля представляют собою трахитовые туфы, происходя таким образом из позднейшей вулканической породы, как и все естественные пуццоланы этого рода. Кроме указанных известны месторождения пуццоланы во Франции, Испании, юго-восточной Венгрии и Японии. В Германии залежи подобных горных пород встречаются главным образом в виде трахитовых и лейцитито-фонолитовых туфов близ Эйфеля.

Трахитовый туф имеется в Неттетале и Брольтале в районе вулканов Лахерзее, действовавших в третичном и дилuviальном периодах. Кроме мельчайших частиц пепла он содержит пемзу и осколки трахита, а также вакки, глинистого сланца, санидина, слюды, роговой обманки, авгита, титанина и т. п. Мощностъ отложений туфа различна; в главнейших разработках месторождений близ Плайдта, Кретца и Круфта в Неттетале она доходит до 25 м. Толщина вскрыши, состоящей помимо гумусного слоя из пемзы и более или менее плотного пепла, непригодных в качестве гидравлической добавки, колеблется в пределах от 5—20 м. Пригодная же средней плотности с ясно выраженной слоистостью порода лежит ниже уровня грунтовых вод. В верхней части она желтоватого цвета, затем переходит в светло-серый и наконец темносерый. Добытый материал высушивается и размалывается, причем берется смесь из различных слоев в пропорции, отвечающей их наличию в залежи. Трахитовый туф Брольтала и Неттетала известен еще под названием „трасса“; однако трассом следовало бы называть измеленную породу, полученную из природных пуццолан, независимо от месторождений.

До последнего времени считали, что из вулканических туфов верхнего Эйфеля для пуццолан пригодны только упомянутые уже трахитовые туфы. Теперь однако выяснилось, что издавна разрабатываемый в качестве строительного камня лейцитито-фонолитовый туф, имеющийся близ Эттрингена и Коттенгейма, дает трасс хорошего качества. Уже ранее из эттрингенского туфа вырабатывали трасс, затем им перестали пользоваться вероятно потому, что оказалось выгоднее применять его для штучного камня. Лейцитито-фонолитовый туф из Эттрингена и Коттенгейма представляет породу желтоватого цвета, содержащую, кроме плотной основной массы из тончайшего пепла более крупные включения пемзы, серой вакки и осколки глинистого сланца.

Анализы южноевропейских и прирейнских пуццолан.

- I. Пуццолана из Сан-Паоло-Тре-Фонтане в Италии (анализ Гино Галло)¹.
- II. Пуццолана из Баколи-Пуццуоли в Италии (анализ Гино Галло).
- III. Санторинская земля из Санторина в Греции (анализ Михаэлиса).

¹ „Tonindztg.“, 1909.

IV. Пуццолана из Валенции в Испании (анализ Иозе Игуаль).

V. Трахитовый туф из Неттетала, Рейнская область (анализ Михаэлиса).

VI. Трахитовый туф из Неттетала, Рейнская область (анализ Тетмайера).

VII. Лейцитито-фонолитовый туф из Когтейнгейма, Рейнская область (анализ гессенской лаборатории в Дармштадте).

VIII. Пемза из Рейнской области (анализ Кюля).

	I	II	III
В процентах			
Кремневой кислоты	45,50	64,71	65,43
Двуокиси титана	—	—	0,69
Глинозема	15,12	20,03	15,01
Окиси железа	12,05	4,98	1,88
Захиси железа	—	—	2,06
Захиси марганца	—	—	0,50
Извести	9,33	4,39	2,84
Магнезии	3,59	0,96	1,06
Щелочей	5,93	4,84	7,61
Серного ангидрида	—	—	—
Потери от прокаливания (вода и пр.)	8,45	0,09	4,29
	99,97	100,00	101,37

	IV	V	VI
В процентах			
Кремнекислоты	63,28	60,08	65,49
Двуокиси титана	—	—	—
Глинозема	15,00	19,42	15,59
Окиси железа		4,84	6,81
Захиси железа	—	—	—
Захиси марганца	—	0,49	—
Извести	7,14	2,23	2,74
Магнезии	3,18	1,74	0,99
Щелочей	—	10,46	—
Серного ангидрида	—	—	—
Потери от прокаливания (вода и пр.)	8,15	0,92	6,61
Неопредел. остатка	3,30	—	1,77
	100,05	100,18	100,00

	VII	VIII
В процентах		
Кремнекислоты	56,07	57,55
Двуокиси титана	0,95	—
Глинозема	16,75	20,38
Окиси железа	4,07	3,90
Захиси железа	1,46	—
Захиси марганца	0,23	—
Извести	2,51	1,16
Магнезии	2,10	0,31
Щелочей	9,30	12,27
Серного ангидрида	0,34	—
Хлора	0,19	—
Гигроскоп. воды	2,14	4,43
Связанной воды	4,42	
	100,03	100,00

За вычетом кислорода (по хлору) 0,04

99,99

Вулканического происхождения туф, перемалываемый для получения трасса, встречается еще в Рисе; эта котловина вулканического происхождения в швабо-франконской юре, диаметром около 20 км. Здесь туфы располагаются венцом по краям котловины близ местностей Ауфгаузен, Амердинген, Большата, Рингинген, Маурен, Зульцдорф, Итцинг, Вемдинг, Хайнфарт, Марктоффинген, Оттинген, Шмехинген и во многих других. Они, повидимому, расположены в мульдах, с подстилающими юрскими отложениями и имеют ясное слоистое строение. В большинстве случаев поверх туфов лежат небольшой мощности глинистые отложения. Верхние пласты слабо связаны между собой, но по мере углубления становятся плотнее и могут применяться в качестве строительного камня, чем и пользовались в прежнее время в Рисе. Мощность пластов здесь колеблется от 2 до 30 м. Эти туфы ранее также считались трахитовыми, но это неправильно, так как неизвестна сопровождающая их магма. Зауер допускает, что здесь первичная магма имела основной характер и только затем благодаря сплавлению с богатыми кремнекислотой породами получила более кислый состав. Теперь эти породы из Риса носят название „зуэвиты“. Вулканические туфы Риса серо-желтоватого цвета, который с глубиной переходит в серо-синий и реже — в красноватый; благодаря обилию включений порода имеет вид брекчий. Основная масса состоит из стекловидных частиц пепла в соединении с мельчайшими осколками кварца, полевого шпата, слюды и т. п. В этой основной массе имеются более крупные включения в форме пористых шлакообразных, стекловатых масс, бомб и тому подобных округленных и более плоских продуктов извержений величиной с голову. Кроме того в основной массе находятся угловатые обломки частью сохранившихся, частью же уже изменившихся гнейсов, гранитов, диоритов, роговой обманки, а также песчаника и суглинка (кейпер), мергеля и мергелистого сланца (лиас), песчаника и глин (доггер) и осколки известняка (мальм). Стекловидная основная масса отчасти не изменилась и прозрачна: в большинстве же случаев стала тусклой и разложилась. Очень часто она имеет включения известкового шпата и вещества цеолитового характера.

Количество различных составных частей в туфе разных месторождений различно, как это видно из приведенных анализов.

По сопротивлению сжатию, определенному согласно принятым в настоящее время для трасса нормам, трассы из Риса, разрабатываемые ныне в единственном карьере под Большатом, превосходят требуемую по норме величину, хотя значительно уступают рейнским трассам. В общем туфы Риса еще недостаточно полно исследованы в отношении их пригодности как трасса. Такое исследование следовало бы начать с таких пород, которые главным образом состоят из стекловидной основной массы с небольшим количеством посторонних включений. Шустер предлагает разделить туфы Риса на два вида („Schlottrasse и Wannentrasse“). К первому виду по его мнению принадлежат те туфы, которые образовались еще в кратере вулкана¹, ко второму — такие, которые очутились вдали от очагов извержения и образовались из более мелких частиц изверженных пород, отброшенных на далекое расстояние; понятно, что первые содержали более крупные обломки. Вулканический туф из Большата, причисляемый им к первому типу, обладает удовлетворительными пуццоланическими свойствами, тогда как туф из Оттинга относится ко второму виду и его следует считать малоприспособным.

¹ Schuster. Geolog. Beiblatt der Bayer. „Industrie- und Handelsztg“, 1922.

Этот факт Шустер объясняет тем обстоятельством, что туф из Оттинга залегает в области грунтовых вод, вследствие чего в нем происходит выщелачивание активной кремнекислоты. Но по признанию самого Шустера это противоречит обстоятельствам, наблюдаемым в разработках Неттеталя, где пригодными оказались как раз туфы, залегающие в области грунтовых вод.

Вопрос может быть разрешен только после испытаний, которые по заявлению Шустера уже производятся.

Еще не вполне выяснено, какие именно составные части пуццолан являются носителями гидравлических свойств. Фейхтингер считает активным фактором свободную, способную к реакциям кремнекислоту, Лунге и Мильберг—цеолиты, а Тангеаер, по крайней мере в отношении рейнских туфов,—содалитовые минералы: содалит $= \text{SiO}_4 \cdot 3\text{Al}_2\text{Na}_3 \cdot \text{NaCl}$; гауин $= \text{SiO}_4 \cdot 3\text{Al}_2\text{Na}_3 \cdot (\text{CaNa}_2)\text{SO}_4$ и нозеан $= (\text{SiO}_4) \cdot 3\text{Al}_2\text{Na}_3 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$. По его мнению отвердевание происходит вследствие замены щелочей известью в этих хлорнокислых и сернокислых глиноземных щелочных силикатах. Так как, повидимому, найдена зависимость между содержанием гидратной воды и качеством трасса хотя другие исследователи эту зависимость отрицают, то согласно нормам минимальное содержание воды должно быть равно 7%. Меньшее количество (6%) может быть допущено только в том случае, если при этом получается прочность, требуемая нормами. Количество гидратной воды определяется как потеря при прокаливании материала, высушенного предварительно при 98°.

Понятно однако, что для пород, содержащих карбонаты подобно туфам Рнса, потерю при прокаливании нельзя считать равной содержанию гидратной воды.

Пемзу также следует считать пуццоланой. Пемза—известная вулканическая, губчатая, стекловидная порода, которая встречается в Германии в массивных залежах, особенно в Нейвидере, где она идет на изготовление пемзового камня.

	I	II
	В процентах	
Кремнекислоты	56,85	58,50
Двуокиси титана	0,74	0,78
Глинозема	8,96	15,05
Окиси железа	5,89	5,46
Извести	8,53	6,12
Магнезии	2,25	1,58
Ангидрида фосфорн. кислоты	Следы	0,50
Щелочей	8,29	7,43
Углекислоты	1,37	0,80
Воды	7,71	4,37
	100,59	100,59
	III	IV
	В процентах	
Кремнекислоты	62,59	56,64
Двуокиси титана	—	—
Глинозема	15,15	17,28
Окиси железа	6,21	
Извести	3,50	7,39
Магнезии	3,29	2,46
Ангидрида фосфорн. кислоты	—	—
Щелочей	4,21	—
Углекислоты	0,68	3,50
Воды	3,69	10,74 (в том числе 55,45% гидратной воды)
	99,32	98,01

Естественные пуццоланы (рисские вулканические туфы из Риса).

I. Вулканический туф (зуевит) из Ципплингена в Баварии (анализ Обердорфера).

II. Вулканический туф (зуевит) из Риса, Бавария (анализ Обердорфера).

III. Вулканический туф (зуевит) из Остергофена в Феррите, Бавария (анализ центральной лаборатории в Штутгарте).

IV. Вулканический туф (зуевит) из Больштата в Форрисе, Бавария (анализ Лаборатории испытания материалов в Берлине, Далем).

Заметим, что вулканические туфы могут применяться в качестве сырья для производства портланд-цемента взамен глины. На одном цементном заводе в районе Баварского Риса зуевит из Больштата (анализ IV) и известняк средней юры из Ципплингена применяются для производства портланд-цемента.

Пуццоланы органического происхождения. Кизельгур или диатомовая земля (инфузорная земля, трепел) также представляют собой естественные пуццоланы. Они состоят главным образом из скоплений кремнистых панцирей одноклеточных растительных организмов (водорослей). Кизельгур встречается как в виде рыхлых отложений, так и в виде более плотных масс белого, серого, буроватого, желтого или зеленоватого цвета. Объемный вес его очень мал: 0,24 в воздушно-сухом виде и 0,37 в прокаленном состоянии. Нередко порода содержит минеральные примеси, чаще всего песок и глину, иногда известь, кроме того довольно много органических веществ.

Кизельгур встречается в позднейших формациях: третичной, деллюви и аллюви, часто попутно с бурым углем или торфом. Главные месторождения кизельгура имеются во Франции в Оверне, в Шотландии, Норвегии, Дании (здесь он известен под названием „молер“, представляя олигоценное отложение, выделившееся из морской воды), в Финляндии, Венгрии, Богемии, во многих местах СССР и Закавказья, Алжире и Америке; затем — в Германии в долине Люнебурга, где близ Обероэ залегает пласт с простираем на 3 км мощностью в 12 м. При Госвике в Ангальте и в Гессене, близ Штейнсфурта у Фогельсберга, также имеются месторождения кизельгура.

Следующие анализы материала различных месторождений показывают, что в состав его входит главным образом кремнекислота: а) Белый кизельгур из Оксилака, Канталь в Оверне; б) Белый кизельгур из Унтерлюса в Ганновере; в) Серый кизельгур из Унтерлюса в Ганновере; г) Зеленый кизельгур из Унтерлюса в Ганновере; д) Кизельгур из Альтеншлиффа в Гессене;

	I	II	III
	В процентах		
Кремнекислоты	91,61	69,17	81,25
Двуокиси титана	0,10	0,12	0,15
Глинозема	1,53	1,89	1,82
Окиси железа	2,22	0,35	1,34
Извести	0,18	следы	0,18
Магнезии	0,29	0,22	0,20
Щелочей	следы	1,08	1,27
Воды	2,33	3,49	5,26
Углекислоты и органических веществ	1,74	3,58	8,43
	100,00	100,00	100,00

	IV	V
	В процентах	
Кремнекислоты	71,22	90,80
Двуокиси титана	0,14	0,50
Глинозема	4,09	0,97
Окиси железа	2,22	2,68
Извести	следы	следы
Магнезии	следы	0,30
Щелочей	1,33	0,94
Воды	4,83	3,50
Углекислоты и органических веществ	16,17	1,03
	100,00	100,72

В природе кремневая кислота в более значительных количествах встречается в виде трех модификаций: в виде кристаллической кремнекислоты т. е. кварца (тридимит встречается редко и его можно не брать в расчет), в виде скрытокристаллической в форме халцедона и наконец в виде аморфной, или опаловидной, кремнекислоты. Из этих трех форм кварц в обычных условиях, вообще говоря, не реагирует с гидратом окиси кальция. Заметно реагируют некоторые виды скрытокристаллической кремнекислоты, так например встречающаяся в баварском Оберпфальце порода, представляющая результат выщелачивания тулонских кремнистых известняков; она носит название „амбергского трепела“ и отличается исключительно малым объемным весом. Наконец аморфная, или опаловидная, кремнекислота, содержащаяся в упомянутых выше кремневых панцирях диатомовой земли, реагирует с гидратом извести очень хорошо. Аналогичные соотношения получаются при действии окиси кальция на различные модификации кремневой кислоты при нагревании. В то время как кварц вступает в реакцию с известью только при самом тонком помоле и при высокой температуре, скрытокристаллическая кремнекислота, например в виде кремня, вообще говоря, содержащего также и опаловидную модификацию, вступает в реакцию уже при более крупном помоле и при значительно более низкой температуре; еще лучше эта реакция протекает для опаловидной кремнекислоты.

г) Глина

Глины представляют продукт разрушения полевошпатовых горных пород. В наиболее чистом виде глина представлена в виде каолина, состоящего исключительно из гидросиликата глинозема с формулой $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Каолин — это порода, образовавшаяся путем разложения пород в послевулканический период, т. е. вследствие процессов, происходящих после прекращения самого извержения вулканов, процессов, состоящих в выделении кислых газов и более или менее минерализованных горячих вод.

Другим путем каолин образуется при действии на полевошпатные породы кислых болотных вод.

Обыкновенные глины представляют осадочные отложения естественных продуктов выветривания полевошпатных пород. Кроме гидросиликата глинозема и гидрата окиси железа они содержат нередко еще алофанониды, т. е. выделившуюся в студенистой форме смесь гидратов кремнекислоты и глинозема. Кроме того в большинстве случаев они содержат двуокись титана, гидраты окислов марганца, углекислую известь и магнезию; щелочные

силикаты, колчедан и марказит, песчинки разных пород и кварцевый песок. Чаще всего глины представляют собою образования землистого характера. Те из них, которые находились под большим давлением, как это имело место в более древних формациях, превратились в твердые, сланцеватые породы. Особенности названных разновидностей глин послужили для такой их классификации, которая очень подходит для наших целей и заключается в разделении глин на плотные и на землистые, более мягкие образования, и наконец на глиносодержащие горные породы. К первому классу относятся:

1. Сланцеватые глины, т. е. сравнительно мягкие и пластичные сланцеватые отложения от серого до черного цвета всех оттенков, с заметной слоистостью; встречаются чаще всего в мезозойской и кроме того в третичной формации. Эти породы состоят из уплотнившейся глины с содержанием мелких зерен кварца и листочков слюды. Встречаются кроме того примеси колчедана и марказита, затем остатки растительных и животных организмов. Пестрые сланцеватые глины, попадающиеся в пластах пестрого песчаника и в кейпере, носят название сланцеватых суглинков.

2. Глинистый сланец — твердая, слоистого строения порода темносерого цвета, содержащая кроме отвердевшей глины еще микроскопические кристаллические включения. Вообще говоря, глинистый сланец встречается только в палеозойской системе от силура до карбона.

3. Кристаллический сланец, или филлит, состоящий исключительно из кристаллических веществ, связан с древними образованиями.

Ко второму классу относятся:

4. Событобенная глина, т. е. мягкая масса от серого до черного цвета. Отдельные разновидности лучше всего подразделять соответственно периоду их образования, как-то: юрские глины, третичные глины и т. п. Глина отлагалась главным образом в позднейших формациях, начиная с мезозойских.

К третьему классу, т. е. к твердым глиносодержащим породам, относятся:

5. Мергеля — представляют промежуточное звено между известняками и глинами. Они образовывались преимущественно в мезозойском периоде: в среднем триасе, в юрском и меловом периодах, затем в кенозойском периоде в третичных отложениях.

6. Лесс — порода, состоящая главным образом из тонкого порошка горных пород, в особенности кварца, в меньшем количестве — известняка и глины, желтовато-серого цвета. Лесс характеризуется присутствием многочисленных, состоящих из известняка конкреций, так называемых лессовых кулоков. Образование лесса относят к диллювию.

7. Глинистый ил (Lehm) — также относится к четвертичному периоду и представляет буровато-желтый, на ощупь песчано-глинистый рыхлый материал, который образовался, вероятно, главным образом в результате выветривания мергелей или лесса и поэтому часто перекрывает их массы.

При соответственной добавке известняков сланцеватая глина, глина и мергель, а иногда и глинистый ил служат непосредственно или после их предварительной обработки (отмучивания) для производства портланд-цементов.

Пригодные для изготовления портланд-цемента глины не должны содержать вредных примесей, т. е. большого количества магнезии, колчедана, гипса или окислов марганца (последние уменьшают механическую прочность цемента). В прежнее время к вредным примесям причисляли также кварцевый песок, который считали необходимым отделять путем отмучивания;

теперь при современном состоянии техники производства цемента его уже не опасаются, а в некоторых случаях даже добавляют к сырым материалам. Вообще число сортов глины, применяемых для производства портланд-цемента, в значительной степени увеличилось, так что в настоящее время к этой категории относятся глины не только со средним силикатным модулем Кюля, выражающим отношение количества кремневой кислоты к глинозему плюс окись железа, но также такие, для которых силикатный модуль оказывается очень высоким или же очень низким.

Далее приводятся анализы некоторых пригодных для производства портланд-цемента глин.

I. Глина средних лиасовых отложений из Кессвасера в Баварии (анализ Кауля).

II. Глина из нижнего доггера, в Керсбахе, Бавария (анализ Кауля).

III. Глина верхнеглетичных отложений из Чирина, Силезия.

IV. „Идеальная“ глина по Кюлю (вычисленного состава).

	10%	100%
Кремнекислоты	58,80	67,43
Глинозема	20,61	14,87
Окиси железа	6,40	6,48
Извести	1,13	0,17
Магнезии	0,61	2,01
Закиси марганца	1,42	—
Окиси калия	1,51	2,95
Окиси натрия	1,22	0,36
Серного ангидрида	0,20	0,15
Потери при прокаливании	10,01	7,50
	101,91	101,62

	III	IV
Кремнекислоты	61,35	66,55
Глинозема	20,27	18,15
Окиси железа	1,12	8,40
Извести	0,10	0,42
Магн. зин	0,52	0,32
Закиси марганца	—	—
Окиси калия	—	—
Окиси натрия	3,15	1,20
Серного ангидрида	—	—
Потери при прокаливании	7,35	5,10
	99,86	100,14

д) Искусственные материалы, заменяющие глину в портланд-цементном производстве

Вслед за глинами необходимо указать материалы, могущие их заменять в производстве портланд-цемента. В первую голову надо иметь в виду доменные шлаки (см. раздел, посвященный искусственным пуццоланам), широко применяемые для этой цели; затем — золу каменного угля. На одном из крупных заводов в САСШ зола и известняк служат единственными сырыми материалами для производства ¹. Кроме того взамен глины была предложена зола бурого угля, применяемая однако в немногих случаях.

е) Боксит

В чистом виде боксит представляет гидроксид глинозема с формулой $Al(OH)_3$ и содержанием 65,34% Al_2O_3 и 34,57% H_2O . Но в большинстве

¹ TIZ. 1926, № 22.

случаев он содержит $Al(OH)_3$, также в кристаллических формах, называемых гипситом, или гидрагиллитом, а также кристаллы дигидрата $Al_2O_3 \cdot H_2O$ и очень часто гидрогель окиси железа, который придает бокситу красный цвет.

Так же точно как латерит и терра росса, боксит представляет продукт выветривания, образовавшийся при определенных климатических условиях из известняков, содержащих глинозем, или из некоторых изверженных полевых пород позднейшего происхождения, особенно из базальта. Боксит встречается в виде массивных залежей или же заполняет трещины и жилы в других породах. Главнейшие месторождения в Европе находятся в Австрии, Далмации, Кроации, Венгрии, Италии, Франции, Ирландии; встречающиеся в Германии имеют малое значение. В Австрии боксит имеется в Нижней Австрии в окрестностях Винер Нейштат, в Верхнем Мархграбене, в Штейермарке и Крайне; во всех этих месторождениях он связан с мезозойскими известняками, так же как в Венгрии в Бигарских горах, где он залегает поверх юрских известняков. В Италии боксит имеется в центральной части Аппенин, близ Рокка-ди-Менцо, Овиндоли, Лечче-ди-Марси на месте древнего Фуцинского озера, в горах Матео в провинции Беневенто и близ Пьемонте д'Алифе в провинции Казерта, где он залегает в более или менее мощных пластах среди известняков. Во Франции боксит встречается от северного склона Пиренеев до отрогов Альп в пластах мощностью до 30 м. Главные месторождения находятся в районе Бо (Les Beaux — откуда и произошло название), Бриньоля и Полана. Во всех указанных местах боксит представляет древнюю поверхность земной коры, и его следует считать продуктом выветривания горных пород. В последующие периоды эта часть материка была затоплена морем, которое затем образовало отложения, перекрывшие пласты боксита. Германские месторождения, которые могут иметь промышленное значение, встречаются только в районе Фогельсберга в Обергессене, близ городов Грюнберг, Лихи Хунген. Боксит здесь залегает в красной латеритовой глине в виде неоднородных скоплений размерами от величины ореха до головы, без сомнения, являясь продуктом разложения базальтов или базальтовых туфов Фогельсберга верхнетретичного возраста. Мощность пластов содержащих боксит глины колеблется от нескольких сантиметров до 15 м. Содержание бокситовых включений колеблется в пределах от 5 до 20%. Добыча боксита может производиться открытыми разработками, так как мощность вскрыши над бокситовой глиной обычно невелика. Для извлечения бокситовых образований из общей массы глины последнюю подвергают обработке, состоящей из просева и промывки вручную. Общие запасы возможного для добычи в этой местности боксита нельзя определить вследствие того, что он распределен гнездами неравномерно, но запасы все же надо считать значительными. Другие известные в Германии месторождения в Ветерау, близ Хадамара в Вестервальде, в Семигорье и др. не имеют промышленного значения. Месторождения боксита в Ирландии имеют такой же характер, как в Фогельсберге, так как и там он представляет продукт выветривания базальтовых пород.

Боксит имеет большое значение как сырой материал для производства глиноземистого цемента. Помещенные ниже анализы бокситов различного происхождения показывают, что бокситы из Фогельсберга сравнительно богаты кремнекислотой и окисью железа и соответственно мало содержат глинозема; поэтому ставилась под сомнение пригодность их для производства глиноземистого цемента. Агде и Клемм, производившие по предложению Нидше исследование фогельсберг-

ских бокситов для определения их пригодности, решили вопрос в утвердительном смысле, тогда как Биль нашел их малоподходящими. Агде и Клемм, повидимому, производили испытания необогащенной породы; они дают следующий анализ применявшегося ими материала:

	в %/о
Глинозема	32,40
Окиси железа	31,51
Кремневой кислоты	12,34
Двуокиси титана	4,26
Извести	0,52
Воды	18,98

Эти данные в общем находятся в пределах состава, который Гюфнер дает для бокситового сырья (красная глина с включениями). Обогащенные бокситы, анализ коих приводится в нижеследующей сводке анализов, дают существенно иную картину.

В производстве портланд-цемента боксит применяется как добавка для повышения содержания глинозема в сырьевой смеси, если в том встречается надобность.

Анализы бокситов различного происхождения. I. Красно-бурый боксит, из верхнемальских известняков, Бигарские горы в Венгрии (анализ Технического бюро в Париже).

II. Красно-бурый боксит из верхнемальских известняков из Деалуль Круци, Бигарские горы в Венгрии (анализ Горного училища в Земельцбанье).

III. Светлый боксит из нижнемеловых известняков, департамент Бо, Франция.

IV. Боксит из нижнемеловых известняков, Рокка-ди-Мощо в Италии (анализ лаборатории сталелитейного завода в Терни).

V. Боксит из мезозойских известняков, Пришова в Штейермарке.

VI. Бокситовые включения (обогащенные) из верхнемиоценовых базальтов, Горбах в Фогельсберге, Обергессен.

VII. Бокситовые включения из Фогельсберга (обогащенные просевом и промывкой). Пределы состава по Гюфнеру.

VIII. Отсеянная из рядовой породы мелочь, из Стангенрода в Фогельсберге.

IX. Отсеянные из рядовой породы бокситовые включения из Стангенрода в Фогельсберге.

	I	II	III
	в процентах		
Глинозема	56,20	63,27	64,25
Окиси железа	29,00	20,34	4,83
Кремневой кислоты	1,00	1,54	13,01
Двуокиси титана	2,00	3,07	3,59
Извести	—	—	—
Магнезии	—	—	—
Воды	12,00	11,62	14,15
	100,20	99,84	99,83
	IV	V	VI
	в процентах		
Глинозема	56,53	58,60	40,06
Окиси железа	24,88	18,70	28,14
Кремневой кислоты	6,87	11,00	7,45
Двуокиси титана		—	—
Извести	0,25	—	—
Магнезии	следи	—	—
Воды	11,08	11,70	22,05
	99,61	100,00	97,70

	VII	VIII	IX
	в процентах		
Глинозема	48—50	39,00	45,00
Окиси железа	16—18	31,93	26,00
Кремневой кислоты	2,5—4,5	10,53	2,60
Двуокиси тит. на	2,5—3	—	—
Извести	—	—	—
Магнезии	—	—	—
Воды	22—29	17,70	27,00
		99,16	101,60

ж) Песок, песчаники

Иногда необходимо бывает повысить содержание кремневой кислоты в сырьевой смеси для портланд-цемента. Это производится путем добавки к сырью перед помолом песчаника или кварцевого песка.

Песок состоит из зерен кварца и представляет собою отложения продуктов разрушения содержащих кварц горных пород, а именно в первую очередь многих из изверженных пород, а также песчаника. Уцелевшие после выветривания наиболее стойкие кварцевые зерна таких пород были в свое время перенесены к местам отложений водой или ветром. Кроме весьма чистых кварцевых песков, состоящих исключительно из кремнекислоты, встречаются и такие, которые содержат большую или меньшую примесь других минералов. К последним относятся глина, слюда, полевой шпат и другие силикаты, содержание которых в известных пределах не вредит применению песка для тех или иных целей. Отложения песка главным образом связаны с одной из позднейших формаций: третичной и четвертичной. Относительно песка для растворов см. гл. V.

Песчаник представляет собою сцементированный песок. Связующим отдельные зерна кварца материалом могут служить кремнеземистые, глинистые, известковые, доломитовые, железистые или глауконитовые вещества. Некоторые песчаники содержат колчедан, другие—свинцовый блеск, гипс и т. п. При сколько-нибудь значительном содержании в песчанике такого рода примесей он конечно не пригоден для наших целей. Песчаники бывают белого, красного, желтого, зеленого, бурого или черного цвета. Они встречаются во всех формациях от альгонской группы до третичного периода.

Анализы песка и песчаников. I. Песок третичного периода (плиоцен) из Эйзенберга, Пфальц (анализ Бишоф-Шютце).

II. Песок четвертичного периода из Байрейта, Бавария (анализ Бишофа).

III. Песчаник из верхнего пестрого кейпера, Эрланген (анализ Пильгера).

IV. Песчаник из нижнего доггера (бурых юрских отложений) из Франконской Юры (анализ Гильгера).

	I	II	III	IV
	в п р о ц е н т а х			
Кремневой кислоты	90,63	99,65	93,06	92,15
Глинозема	6,08	0,12	3,90	1,00
Окиси железа	0,99	0,03	0,12	2,18
Закиси марганца	—	—	—	—
Извести	—	0,03	0,61	0,18
Магнезии	—	0,02	—	—
Окиси калия	0,32	0,05	1,27	1,61
Окиси натрия	—	—	0,41	0,57
Ангидрида серной кислоты	—	—	0,58	0,54
фосфорной кислоты	—	—	—	0,45
Воды	2,20	0,10	0,50	1,12
	100,22	100,00	100,45	99,80

в) Искусственные пуцоланы

а) Доменные шлаки. Доменные шлаки занимают главное место в ряду искусственных пуцолан и представляют собою отход доменной плавки, при которой требуется удалить содержащиеся во многих железных рудах примеси глины или других пород. Это достигается путем добавки известняка в шихту доменных печей. Получающаяся из известняка при нагреве его в верхних частях печи окись кальция соединяется при дальнейшем повышении температуры с глинистыми и другими примесями в руде, а также золой горючего и образует более или менее текучую расплавленную стекловидную массу, которая скопляется на поверхности жидкого чугуна и затем периодически выпускается. Для придания расплавленному шлаку надлежащих качеств его необходимо подвергнуть быстрому охлаждению; с этой целью шлаки выпускают в холодную воду или в специальные действующие при помощи воздуха аппараты. Застывая в воде, шлак образует пористые стекловидные зерна (гранулы) желтовато-серого цвета, удельного веса 2,5—2,7; при охлаждении в струе воздуха получаются плотные шарики. Названный процесс быстрого охлаждения шлака называется грануляцией. Негранулированный, медленно застывший шлак очень слабо реагирует с гидратом окиси кальция. При нормальном ходе доменной печи при одних и тех же материалах и одинаковой шихте, т. е. одинаковом соотношении между количеством руды и известняка, шлаки, полученные на одном и том же металлургическом заводе, отличаются весьма однородным составом.

Ниже мы даем средний анализ (I) на собственном опыте изученного нами доменного шлака, свойства которого вполне подходят для применения его в качестве пуцоланического вещества. Затем мы даем (анализ II) пределы содержания отдельных компонентов в шлаках, пригодных для этой цели, причем следует указать, что гидравлические свойства шлаков получаются тем более высокие, чем больше в шлаках содержится оснований, т. е. чем выше в них процентное содержание извести плюс магнезия, особенно если параллельно с этим имеется высокое содержание глинозема.

	I	II
	в процентах	
Извести	46,05	42—52
Магнезии	3,06	0,6—13
Кремнекислоты	30,15	25—35
Глинозема	14,27	9—22
Заиси железа	0,75	0,5—1,5
Заиси марганца	0,81	0—3
Ангидрида серной кислоты	0,40	0—1
Сернистого кальция	4,40	1—7

99,89

Всушенный и размолотый гранулированный доменный шлак в смеси с гашеной воздушной или гидравлической известью дает хорошо твердеющий гидравлический материал—так называемый известково-шлаковый цемент. Если доменный шлак применяется взамен глины при изготовлении сырой смеси для производства портланд-цемента, то такой шлак должен содержать минимальное количество магнезии, и кроме того содержание в нем заиси марганца и сернистого кальция не должно быть излишне высоким. Хотя для этой цели может применяться также медленно охлажденный, так называемый кусковой шлак, однако все же предпочитают пользоваться гранулированным шлаком ввиду того, что последний реагирует с известью

при более низких температурах. Другие виды использования доменного шлака в цементном производстве рассматриваются нами в другом месте.

б) Сиштоф. Так называемый сиштоф также является искусственной пуццоланой. Он представляет собой богатый кремнекислотой побочный продукт, получаемый при изготовлении соединений глинозема—например квасцов из каолина или бокситов с большим содержанием кремнекислоты. Сиштоф, получаемый на различных заводах или даже взятый на одном и том же заводе, но в разное время, имеет весьма колеблющийся состав. Бах¹ дает нижеследующие анализы для сиштофа различного происхождения.

Анализы сиштофа различного происхождения (высушенного при 100°):

	I	II	III	IV
	в п р о ц е н т а х			
Кремнекислоты общ. . . .	85,01	36,25	68,50	71,50
В том числе растворимой .	1,67	7,15	7,80	6,85
Глинозема и окиси железа .	2,61	26,68	17,00	13,50
Серного ангидрида	следы	0,58	6,65	3,85
Потеря при прокаливании .	6,19	21,50	12,40	9,70

	V	VI	VII	VIII
	в п р о ц е н т а х			
Кремнекислоты общ. . . .	91,72	95,85	74,98	86,29
В том числе растворимой .	63,30	16,35	9,38	12,84
Глинозема и окиси железа .	18,45	3,15	2,41	2,62
Серного ангидрида	3,87	—	1,93	5,20
Потеря при прокаливании .	10,01	1,04	9,15	8,55

	IX	X
	в процентах	
Кремнекислоты общ.	77,56	65,54
В том числе растворимой . .	29,55	36,30
Глинозема и окиси железа . .	7,61	18,75
Серного ангидрида	5,35	3,87
Потеря при прокаливании . .	13,25	10,91

Анализы V и X произведены химической лабораторией „Тониндустри“. Анализы IV и IX выполнены Бахом и относятся к сиштофу одного и того же завода, полученному в разное время.

Эти анализы показывают, что как общее количество кремневой кислоты, так и растворимая ее часть сильно колеблется; кроме того надо заметить, что определение количества растворимой кислоты производилось различными способами и поэтому анализы из числа приведенных, выполненные различными аналитиками, в этом отношении нельзя сравнивать между собою. Как указывает Бах, сиштоф, содержащий ангидрид серной кислоты в количестве более 5—6%, не пригоден для растворов, в состав которых входит портланд-цемент. Автору пришлось иметь дело с сиштофом, доставленным во влажном состоянии. Кроме серной кислоты он содержал еще заметное количество плавиковой кислоты, так как вероятно был выделен из кремнефтористоводородной кислоты. Исследуя сиштоф исключительно в направлении его пригодности в качестве добавки к портланд-цементу, Бах нашел, что при высоком содержании гидратной воды получались наилучшие результаты даже в случае сравнительно небольшого содержания растворимой кремнекислоты. Поэтому он считает, что количество гидратной воды не столько отражает содержание растворимой кремнекислоты, сколько указывает на определенную

¹ Bach, Ein Beitrag zur Kenntnis des Si-Stoffes, „TZ“ 1926, № 16.

структуру вещества сиштофа: по его мнению именно структура сиштофа является решающим моментом для качества материала. Ницше также подчеркивает, что один только химический состав не дает возможности судить о пуццоланических свойствах сиштофа, так как из сиштофа вполне удовлетворительного состава он получал растворы очень пористые и обладавшие бо́льшой усадкой. Кейзер, также указавший на колеблющиеся свойства сиштофа, получал из надлежащего качества материала в смесях—1 ч. воздушной извести на 1 ч. сиштофа и 1 ч. нормального песка—такие величины для прочности на сжатие, которые превосходили прочность трасовых растворов в тех же пропорциях.

в) Прокаленная глина. Издавна известную еще древним римлянам искусственную пуццолану представляет собой прокаленная и размолотая глина. Для этой цели используют обычно бой кирпичных заводов. Однако необходимо указать, что в качестве пуццоланы пригодна только глина, прокаленная при температуре слабого красного каления, поэтому следует брать только недожженный кирпич.

г) Искусственный трасс. В заключение упомянем об изготовляемых в последнее время искусственных трассах; к ним относится „линк-трасс“, представляющий смесь кислого доменного шлака и порошка обожженной глины; главной составной частью другого продукта, носящего название „турамент“, является основной доменный шлак с гидравлическим модулем 1:1; он может быть отнесен уже к самостоятельно отвердевающим вяжущим веществам, так как для схватывания он требует только незначительной добавки известковой воды.

2. Добыча и стоимость сырья

а) Общие сведения

Основным условием для сооружения всякого известкового или цементного завода является наличие достаточного запаса сырья соответствующего качества, если при этом однако целесообразность сооружения такого завода была надлежаще изучена и оправдана соображениями экономического порядка, к числу которых мы относим и транспортные вопросы.

Для установления пригодности известняка, например для производства жирной (белой) извести, обычно довольствуются химическим анализом, хотя последний и не является достаточным критерием для этой цели. Встречаются вполне хорошие по содержанию окиси кальция известняки, которые однако в обычных печах обжигать невозможно вследствие того, что они при подогреве рассыпаются в мелкие куски, закупоривают печь и таким образом не дают прохода пламени и газам. Подчас такой известняк поддается обжигу в кольцевых печах, но только не в шахтных, так как в последних невозможно достичь столь медленного повышения температуры, как в кольцевых. Если поэтому в данном вопросе нет ясности и уверенности, то необходимо произвести пробный обжиг в том типе печи, который предположен к постройке. Подозрительными в этом отношении являются лишь плотные породы и в особенности такие, которые по имеющемуся у автора опыту содержат битумы. Повидимому при обжиге таких пород газообразные углеводороды, выделяющиеся раньше углекислоты, разрушают такой известняк.

Само собой разумеется, что сказанное в одинаковой мере относится и к цементным заводам, до постройки которых должны быть произведены все нужные анализы, а также пробный обжиг с последующим испытанием полученного цемента, согласно принятым нормам.

Следующим основным вопросом является установление запасов имеющегося в месторождении сырья, для чего необходимо, если месторождение не обнажено и не доступно со всех его сторон, произвести соответствующее бурение. Ввиду дороговизны вращательного бурения обычно применяют ударное—с промывкой скважин водой. Однако такое бурение может дать определенную картину и представление о залежи геологу лишь при неослабном наблюдении им за работами. Неспециалисту следует рекомендовать проходку ряда шурфов, которые к тому же дадут большее количество сырья. В зависимости от полученных результатов последние могут быть проверены и пополнены данными нескольких добавочно-пройденных буровых скважин. Сказанное об известняке относится также к гипсовым месторождениям, причем необходимо отметить, что гипс встречается главным образом лишь в виде более или менее крупных включений и линз в других породах. То же самое надо сказать и о твердых вулканических туфах и глиняных залежах, поскольку они являются закономерными звеньями геологических образований, как: амальтеевское месторождение глины лиаса Швабо-Франконской Альбы, Гильстонг нижнемеловых отложений северо-западной Германии, глина олигоценных третичных отложений северной части Средней Германии в Майнцском бассейне; мощность этих последних отложений однако уже сильно варьирует, что еще в большей мере относится ко всем отложениям глины четвертичного периода, которые поэтому с целью определения их запасов должны быть пройдены достаточным количеством буровых скважин. Эти последние должны быть расположены одна от другой на небольшом расстоянии, так как в противном случае подсчет запасов может быть весьма неточным. Так или иначе, для решения вопроса о сырье необходимо привлечение опытного геолога, который в некоторых случаях, без больших предварительных работ, в состоянии определить запасы, условия напластования и свойства намечаемой к добыче породы. Во всех прочих случаях геолог организует работы по изучению и вскрытию карьера и производит испытания для правильного разрешения всех этих вопросов.

Далее, им устанавливается способ разработки, и намечаются место и план развертывания работ с таким расчетом, чтобы был обеспечен наибольший экономический эффект. Допущенные в этом вопросе ошибки могут иметь самые печальные последствия и привести сооруженный завод к экономической несостоятельности.

б) Добыча известняка, мергеля и глины

Добыча известняка в большинстве случаев ведется открытыми разработками. Завод сооружается по возможности ближе к карьерным разработкам, но все же на таком расстоянии, чтобы он не мог пострадать от взрывных работ. Подошва карьера устанавливается в зависимости от рельефа местности и мощности месторождения, но должна по возможности выбираться с таким расчетом, чтобы не приходилось поднимать добываемого сырья. Поэтому если намечены к сооружению кольцевые печи, то лучше всего наметить подошву карьера на одном уровне с фундаментом печей, а при шахтных печах—на одном уровне с колошником или несколько выше. Эти соображения говорят о том, что самым благоприятным будет расположение карьера у склона горы. Если месторождение залегает на ровной площадке, то все добываемое сырье волей-неволей придется поднимать, что может привести к затруднениям и осложнениям, на которых мы еще подробнее остановимся в дальнейшем. При закладке карьера необходимо также принять во внимание характер месторождения. Как при сплошных массивах,

так равно и при горизонтальном напластовании породы безразлично, с какой стороны будет произведено вскрытие карьера. Когда же мы имеем дело с напластованием, отклоняющимся от горизонтальной плоскости, вскрытие месторождения необходимо произвести (если против этого нет каких либо веских возражений) так, чтобы падение пластов было в сторону работающего и не имело бы нависающего характера. До начала добычи известняка необходимо очистить карьер от всех прочих посторонних пород, что обычно производится вручную с помощью кирки и лопаты. При рыхлых наносных породах эту работу можно производить и экскаватором; последний однако может оправдать себя только лишь при крупных заводах—при потребности в больших вскрышных работах. Понятно, прочие породы, лежащие поверх такого дешевого материала, каким является известняк, не должны быть мощными, за исключением тех случаев, когда они сами представляют собою годный для иного назначения материал, как например глина для строительного кирпича, строительный песок и т. п. Далее заметим, что при падении пластов в глубину горы мощность слоя наносных пород обычно возрастает,—при таких условиях разработка подчас может оказаться нерациональной. Отвалы прочих пород следует по возможности вывозить за пределы карьера для того, чтобы они при развитии фронта добычи не препятствовали этому. Наиболее благоприятным условием для этого необходимо признать наличие естественных ложбин или искусственных выемок, которые следует заваливать этими породами. Там, где в изобилии имеется вода и где карьер не уходит вглубь и где кроме того наносные слои представляют собою рыхлую и неплотную породу, сьем производится путем воздействия сильной струи воды. Такой способ с особенной выгодой применим там, где породы пронизаны значительными по

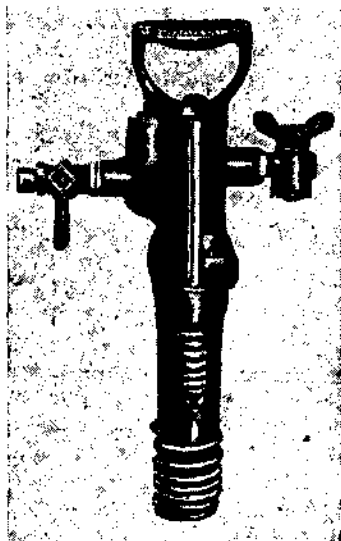


Рис. 1.

количеству прослойками песка или глины, которые удаляются этим путем без остатка. В подобных случаях подлежащая разработке порода совершенно очищается от прочих примесей, что имеет чрезвычайно большое значение. Вода вместе со взвешенными частицами наносных пород отводится в осадочные сборники, откуда, осветленная, она спускается в общий водоспуск или реку или же снова используется для дальнейшего смыва наносных слоев.

Когда карьер таким образом надлежаще подготовлен, его разбивают на участки и начинают его разработку сверху вниз. Если мощность массива очень велика, выработку следует вести уступами высотой не более 12 м каждый. При наличии сплошных массивов или твердых пород выработка производится взрывным способом. Взрыхленные и зависшие после взрыва массы спускают при помощи ломов и т. п. Бурение скважин для закладки взрывчатых веществ недавно еще производилось вручную, в последнее же время оно почти исключительно производится механическим путем. Первоначально пользовались пневматическими бурильными машинами (перфораторами), которые и сейчас еще встречаются при добыче известкового камня.

Эта машина состоит из цилиндра и станины, в которой цилиндр передвигается по мере прохождения скважин. В цилиндре движется поршень, приводимый в движение сжатым воздухом и автоматически действующим золотником. На конце поршневого штока при помощи особого зажима или другого приспособления укреплен бур, который автоматически поворачивается укрепленной в цилиндре вращающейся скалкой. Диаметр цилиндра обычно равен 90, а максимальный ход поршня — 200 мм. Ход поршня устанавливается особой рукояткой, передвигающей направляющие салазки. Весь прибор установлен на треножном станке, который допускает поворот цилиндра в любом направлении. Недостатком этого аппарата является значительный его вес; для переноса и установки его требуется несколько рабочих. По этой же причине его нельзя установить в любом месте карьера, тем более еще, что он занимает также немало места. Другим его недостатком является относительно большое в нем расходование воздуха. Эти недостатки привели в конечном счете к конструкции так называемого пневматического молота, который почти совершенно вытеснил бурильную машину в карьерных разработках. Имеется изрядное количество разновидностей этого молота, работающих однако по одному и тому же принципу и отличающихся только воздухораспределительными золотниками. Пневматический молот не имеет станины, легко управляется одним рабочим и отличается от бурильной машины (перфоратора) тем, что в нем бур не имеет поступательного и возвратного движения, а воспринимает лишь удары поршня; таким образом бур не отделяется от основания сверлимого отверстия, причем при каждом обратном движении поршня ему сообщается небольшое вращательное движение. Вес такого пневматического молота, изготовляемого различных размеров, колеблется от 9 до 18 кг, диаметр поршня — от 50 до 60 мм, а число ударов в минуту — от 1200 до 1500. Потребность в воздухе составляет только от $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{4}$ того количества, какое расходуется бурильной машиной. При бурении вертикальных отверстий, направленных вниз, как поршень, так и буровой шток должны быть просверлены по оси для того, чтобы при каждом ходе скважина очищалась от раздробленной породы, с одной стороны, а с другой, чтобы охлаждать головку бура. Благодаря непрерывному удалению размолотой породы дно отверстия всегда зачищено от последней, чем также устраняется возможность защемления бура. Для продувания очень глубоких скважин на верхний конец бурового штока насаживается муфта, к которой присоединяют рукав для подвода сжатого воздуха или воды. Имеются также буры, снабженные специальными продувными или промывными кранами. Для сверления отверстий снизу вверх применяется сплошной стальной буровой шток, а для горизонтальных или наклонных — с винтообразной проточкой. Несмотря на малые размеры по сравнению с бурильной машиной, производительность пневматического молота при добыче известняка значительно выше этой последней, что объясняется большим числом ударов молота. Особого внимания заслуживает наконечник бура, длина которого (наконечника) должна быть вполне определенных размеров для того, чтобы поршень не задерживался ходом и, наоборот, чтобы

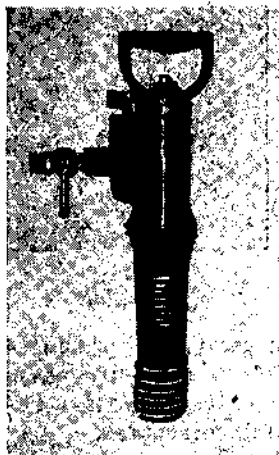


Рис. 2.

он излишне не работал вхолостую. Упорное кольцо, насаженное позади четырехгранной части наконечника, должно препятствовать слишком далекому уходу наконечника в самый молоток. Наконечник должен быть точно пригнан ко втулке цилиндра с целью достижения наивозможного лучшего уплотнения со стороны передней части цилиндра. Хотя бур и удерживается на месте цилиндрической пружиной, прикрепленной к передней крышке цилиндра, все же во время работы молот должен быть постоянно прижат к упорному кольцу, в противном случае бур придет в движение взад и вперед, что поведет к быстрому износу втулки и наконечника, а следовательно и к утечке воздуха, которая в свою очередь вызовет понижение производительности. При бурении вверх, как это будет видно из нижеописываемого способа разработки „Глорихолл“, могут применяться особые опорные штоки, действующие сжатым воздухом.



Рис. 3.

В этом случае молот насаживается на поршневую скалку цилиндра опорного штока, и рабочему не приходится ни поддерживать, ни прижимать автоматически действующий цилиндр опорного штока. На рис. 3—5 показано такое устройство фирмы „Демаг“.

Такого рода устройство применимо также и для сверления горизонтальных отверстий.

Следует еще упомянуть об электропневматическом буровом молоте, которой подчас с выгодой применим при небольших разработках и притом там, где имеется электрическая энергия. Этот молот работает непосредственно от воздушного насоса, спаренного с электромотором. Коротким шлангом насос соединяется с аппаратом таким образом, что воздух впереди и позади поршня попеременно толкает взад и вперед буровой поршень молота, вращая вместе с тем самый бур. Воздушный насос и электромотор устанавливаются или на тележке, или на переносной платформе. Расход энергии составляет около 6—7 л. с. Производительность такого аппарата ниже пневматического молота, причем допустимая им глубина бурения не превышает 2—2,5 м. При больших уступах только что описанный аппарат не применим, так как длина соединительного шланга может быть не более 2 м, иначе насос перестает действовать; помимо того аппарат неприменим на крупных склонах и небольших площадках, несмотря на его транспортабельность. Тем не менее немаловажным преимуществом аппарата является его небольшая стоимость. Такое электропневматическое бурильное устройство для бурения от-



Рис. 4.

верстий глубиной до 2,50 м стоит с тележкой и всеми прочими принадлежностями приблизительно 1500—2600 герм. марок. Машины эти изготовляются фирмой Фейн в Штутгарте.

На схожем принципе построен электропневматический перфоратор фирмы „Демаг“, который однако отличается очень высокой производительностью, расходуя при этом только те же 7 л. с.

Головки буров могут иметь различную форму: буквы Z, простого или двойного долота, крестовидную или буквы X. В зависимости от свойств и крепости породы стоит и форма головки, которую следует в каждом случае практически установить и проверить. На качество применяемой стали необходимо обратить особое внимание. Для более или менее крупных разработок целесообразно установить специальный станок для точки буровых головок. Изображенный на рис. 7 станок фирмы „Флотман-Герне“ предназначен не только для этой цели, но и для нарезки новых головок, поковки четырехгранных державок и наваривания упорных колец; при этом для обслуживания его не требуется даже квалифицированной рабочей силы.



Рис. 5.

Необходимый для бурения сжатый воздух вырабатывается компрессорами, устанавливаемыми большей частью в машинном отделении завода с целью одновременного обслуживания их вместе с другими машинами. Ныне применение находят почти исключительно только компрессора двойного сжатия, в которых воздух сжимается до окончательного своего давления не сразу, а в два приема, с охлаждением его после первой ступени сжатия, что значительно повышает к. п. д. Такого рода одноцилиндровые компрессора с двухступенчатым сжатием строятся также сдвоенными — для больших количеств воздуха.



Рис. 6. Головки буров.

Более современную конструкцию одноцилиндрового компрессора двойного сжатия представляет собою трехкамерный компрессор фирмы „Флотман-Герне“, отличающийся по имеющимся отзывам более высоким к.п.д., ровным и спокойным ходом (обычно компрессора „стучат“), равномерной производительностью, доступностью всех деталей и незначительными весом и потребностью места для его установки. Обычно применяемое сжатие равно 6 ат. При превышении этого сжатия, т. е. когда расходуется не весь подаваемый воздух, всасывающие клапана благодаря особому автоматическому

действующему приспособлению остаются открытыми до тех пор, пока давление не упадет до 5 ат, причем в этот промежуток времени компрессор работает вхолостую.

За компрессором устанавливается воздушный колпак достаточной емкости для обеспечения на месте потребления воздуха более ровного давления.

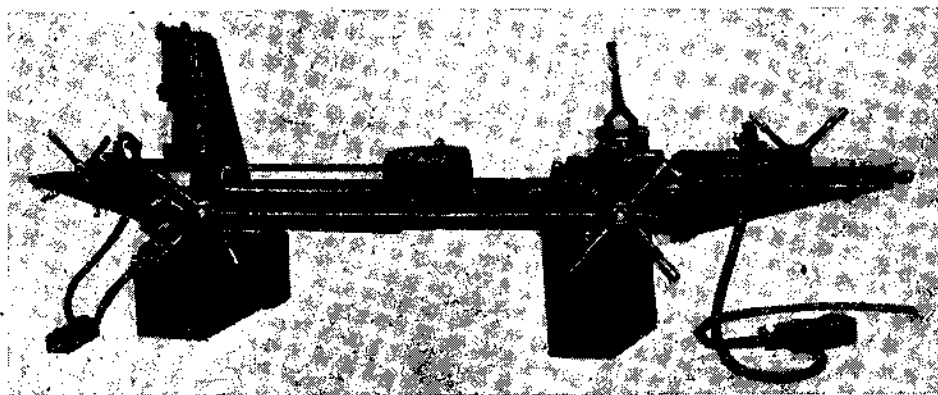


Рис. 7. Станок для точки головок.

Колпак снабжается краном для спуска скопляющихся в нем масла и воды. Воздух подается к месту потребления по трубам, по возможности цельнотянутым, на плотность и тщательность соединений которых должно быть

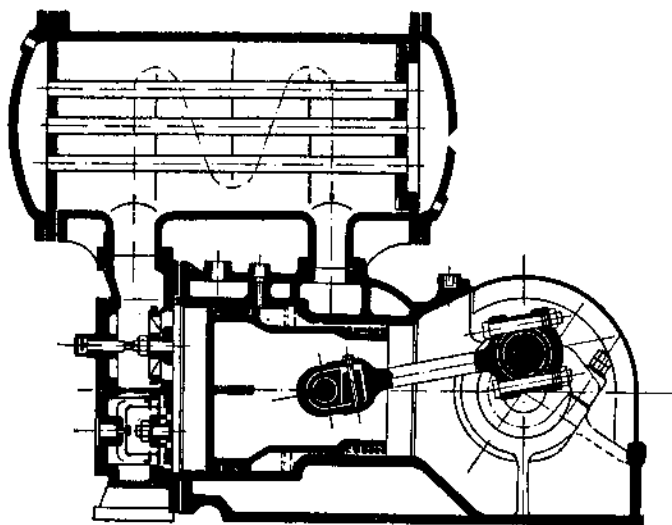


Рис. 8. Компрессор.

обращено самое серьезное внимание. По всему протяжению труб, укладываемых с некоторым уклоном, также следует устанавливать в соответствующих местах автоматически действующие водоотливные приборы. Понятно, по мере возрастания длины прокладываемого трубопровода также увеличиваются потери давления как вследствие трения, так и вследствие большого

числа соединительных частей. Поэтому, если карьер находится на значительном расстоянии от других цехов завода, выгодно установить компрессор вблизи самого карьера, особенно когда в распоряжении имеется электрическая энергия. В последнее время появились передвижные компрессора на тележках с крытым верхом, с установленными на них моторами (бензи-

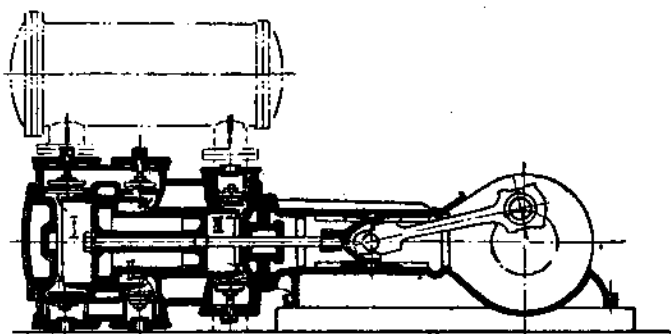


Рис. 9. Трехкамерный компрессор.

новым или керосиновым) и воздушным колпаком. Такие компрессора могут работать в любом месте карьера, что при сильно развернутом фронте работы представляет значительные преимущества. Они не требуют машинного здания, фундамента и разветвленной сети трубопровода, вследствие чего значительно сокращаются связанные с последним потери воздуха.

На рис. 10 изображен передвижной ротационный компрессор фирмы „Демаг“, который, в отличие от поршневого, работает по принципу вращения, с большим числом оборотов особого тела, благодаря чему он может быть непосредственно соединен с нормальным быстроходным электромотором. Он отличается очень простой и компактной конструкцией и равномерной подачей воздуха.

Ввиду того что иногда встречается надобность в проверке расхода воздуха, потребляемого молотами, в особенности различных систем, для сравнения их работы необходимо предусмотреть возможность включения в сеть счетчиков, которые бывают самых разнообразных конструкций. Выбор компрессора зависит конечно от количества молотов, которые предположены к установке. Обычно принимают:

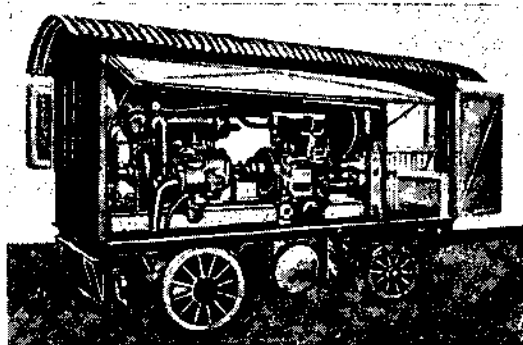


Рис. 10. Передвижной компрессор.

для 1 молота	—	компрессор производительностью в 1,5 м³ всас. возд.	
„ 2	„	„	„ 1,5—2,5 м³
„ 3	„	„	„ в 3—4 м³ всас. возд.
„ 4	„	„	„ 3,5—5 м³
„ 5	„	„	„ около 4,5—6,5 м³

(в завис. от
коэф. одновр.
работ)

Расходы по оборудованию пневматического бурения при существующих ценах (второй половины 1926 г.), включая электромотор, компрессор с воздушным колпаком и трубами к нему, буровой аппаратурой и 100 м трубопровода, составляют для:

1	молота около	—	2800	герм. марок
2	"	"	—	3100—3500
3	"	"	—	4300
4	"	"	—	4600—5500
5	"	"	—	5500—6500

При экономическом обосновании пневматической установки необходимо учесть следующие факторы:

1. Проценты на капитал и амортизацию.
2. Стоимость энергии.
3. Зарплату бурильщиков, машиниста, кузнеца и подсобных рабочих.
4. Расход на смазочное масло, буровую сталь и пр.
5. Текущий ремонт.

Для сопоставления стоимости ручного и пневматического бурения принимаем, что необходимо ежедневно пробурить 40 м для обеспечения предприятия потребным сырьем.

Ручной способ. Один рабочий проходит за 8 час. около 6 м, что составит при оплате 1 часа в 0,56 марок всего 0,75 марок за 1 м. При 300 рабочих днях—по 40 м в день потребуются пройти 12000 м, что составит в год 9000 герм. марок.

Пневматическое бурение. Пневматическим молотом можно пройти в среднем 1 м за 8 мин. Принимая во внимание неизбежную потерю времени при переходе с одной буровой на другую, а также необходимость смены буров, будем считать по 40 м в день. Расходы составят тогда:

1.	Проценты на затраченный капитал (при компрессоре в 1,5 м ³ всасываемого воздуха) вместе с электромотором 30%	840	герм. марок.
2.	Расход энергии $8 \times 9 \text{ квт.ч.} = 72 \text{ квт.ч}$ в день, т. е. 21 600 квт.ч в год; считая по 10 пфеннигов.	2160	" "
3.	Расходы на смазочное масло и обтирочные материалы	200	" "
4.	Текущий ремонт машин	200	" "
5.	Зарплата по обслуживанию (ввиду того что компрессора снабжены автоматически действующими приспособлениями для регулировки, достаточно одного человека, которому кроме этого может быть поручена и другая работа).	1200	" "
6.	Зарплата бурильщику	1400	" "

Всего . . . 6000 герм. марок.

Таким образом пневматическое бурение дает экономию в 3000 марок в год. Не приняты во внимание расходы на буровую сталь и точку буров, необходимые в том и другом случаях.

Глубина буровых скважин при пластовом залегании породы зависит от мощности отдельных пластов; совершенно бесцельно в таких случаях проходить бурением всю толщину отдельных пластов, ввиду того что сила взрыва значительно уменьшится от наличия выхода в прослойки между пластами. Заложив необходимую порцию взрывчатых веществ, отверстие

плотно забивают. Для получения крупных кусков породы еще и ныне применяются порошкообразные взрывчатые вещества. Если же в этом необходимости нет, можно пользоваться бризантными веществами: нитратами и хлоратами. Взрывчатые вещества, как обыкновенный порох, азотистые и другие, зажигаются при помощи шнуров; такие же, как динамит, хлораты, перхлораты и аммонал, взрываются при помощи капсюлей. В целях обеспечения большей безопасности необходимо приурочивать взрывы к одному и тому же времени, т. е. ко времени рабочих перерывов или к окончанию работ. Все взрывы следует производить одновременно, лучше всего электрическим током — во избежание несчастных случаев, могущих произойти вследствие запаздывания или выпадения отдельных взрывов. В карьерах, расположенных вдали от жилья, можно закладывать большие заряды, которые конечно отличаются значительно большим эффектом. Для этой цели применяют так называемый камерный взрывной способ: в массиве закладывают камеру тех или иных размеров, начиняют ее взрывчатым материалом и взрывают. Такую камеру легко устроить, заложив и взорвав предварительно на дне скважины несколько слабых зарядов. Тех же результатов можно достичь, используя для этой цели естественные трещины в породе. Наконец, применим также метод более или менее значительных обрушений; при этом последнем способе проходят штольню длиной в 5—6 м, конец которой расширяется в камеру. Последнюю начиняют взрывчатым веществом (количество которого доходит до многих центнеров); таким путем в один прием заготавливаются сотни куб. метров породы.

В некоторых местностях Германии, например в Рюдерслорфе близ Берлина и в Майнском бассейне, выработка известняка нередко ведется обвалом. От подошвы карьера в массив прокладывают несколько коротких штолень, которые в конце соединяются поперечным штреком. Таким образом получается ряд поддерживающих массив столбов, которые одновременно взрываются, отчего весь массив участка заваливается. Этот способ применим только в том случае, когда весь добываемый материал предназначен для одной и той же цели; если же отдельные пласты должны быть использованы для разных целей, он непригоден.

Укажем еще на так называемый способ выработки „Глорихол“, при котором однако мощность массива должна составлять не менее 20 м. На одном уровне с подошвой карьера проходят штольню высотой 2—2,5 м и шириной в 3 м. Затем в конце ее прокладывают вертикальную шахту сечением 2×3 м, и разработку ведут со стороны верхнего отверстия шахты воронкообразно, причем угол воронки не должен выходить за пределы угла естественного откоса для того, чтобы сырье без задержки спускалось на дно шахты, откуда оно посредством особого затвора грузится в вагонетки узкоколейки или подвесной дороги. Устройство и эксплуатацию такого рода разработок следует поручать лишь специалистам горного дела, что соответствует и предусмотрено правилами горного надзора. Когда наружный край воронки достиг максимально допустимого размера, зависящего от глубины шахты, на некотором расстоянии прокладывают новую шахту. Этот способ выработки пригоден лишь в том случае, когда сортировки добытого камня не потребуются. Он имеет тот недостаток, что воронка является сборником дождевой воды, вследствие чего материал всегда будет очень влажен и кроме того загрязнен при наличии глинистого наносного слоя. Нередко происходит закупоривание выгрузного отверстия крупными кусками породы, а при морозе — и смерзание их. Кроме того

следует еще отметить, что сильному износу подвергаются вагонетки от ударов крупных кусков при открывании затвора. Но все же этот способ выработки имеет и свои преимущества: добытый материал не требует ручной погрузки, а транспортные сооружения — переноса на продолжительное время.

Добыча некоторых более мягких пород, как мел и мергель средней твердости, может производиться при помощи кирки и лопаты, а так называемый луговой известьняк — даже одной последней. При больших размерах добычи таких пород она производится экскаваторами, к чему мы еще вернемся ниже.

Если разработку приходится вести вглубь, то прежде всего устраивают наклонный спуск до подошвы залегания известняка, затем добыча производится вышеуказанными способами, причем наклонный спуск, который не должен иметь слишком большого уклона, используется для откатки сырья. На месте спуска впоследствии может быть сооружена эстакада. Так как в таком карьере легко могут скапливаться атмосферные осадки, то необходимо в этом отношении принять соответствующие меры путем устройства вокруг карьера дренажа, из коего вода отводится в ближайший водосток или пруд. В самом карьере, в самой низкой его части, устраивается сборник для дождевых и возможных грунтовых вод, откуда последние при больших количествах их перекачиваются центробежным или пневматическим насосом „Мамут“ в близлежащийся водоем или реку.

В редких случаях добыча известняка ведется подземными работами, и при необходимости приращенения таковых шахту проходит тогда до самой подошвы известняка. В этой шахте делают по всем направлениям выемку, размер которой зависит от крепости самой породы, — дорого стоящего крепления стараются по мере возможности избегать. Если зал жь выходит на склон горы, ее выбирают сперва штольнями и далее поступают, как уже описано. Только в исключительных случаях добыча известняка ведется шахтным способом, штольнями и штреками, и то лишь попутно при разработке более ценных пород и минералов.

Все сказанное о разработке известняка сохраняет свою силу и для твердых вулканических туфов и гипса, с той лишь разницей, что добыча последнего нередко ведется также подземными работами.

Что касается добычи глины, то таковая при открытых работах, после съема наносного слоя, производится различными способами; либо вручную — киркой или лопатой, либо взрывными работами, либо наконец экскаваторами.

При ручном способе необходимо зорко следить за тем, чтобы добыча производилась откосами с углом не более 60° или же, что еще лучше, низкими уступами высотой не более 1,5 м при ширине их в 0,5 м, так как в противном случае вследствие незначительной прочности самой массы откосов возможны обвалы и несчастные случаи. При добыче значительных количеств глины целесообразнее всего установка экскаватора. Если в залежи каменистых прослоек не имеется и если покровный слой не слишком пророс корнями растений, можно рекомендовать многоковшевый экскаватор. Он устанавливается или на подошве карьера, тогда глина забирается сверху вниз, или же на верхнем горизонте, очищенном от наносных пород, и тогда глина забирается снизу вверх. При наличии в глине твердых прослоек их взрывают с целью разрыхления, после чего глина может забираться одноковшевым экскаватором.

Многоковшевый экскаватор в основном состоит из движущейся бесконечной перекинутой через блоки цепи, подвешенной к стреле его; к цепи

прикреплены ковши из толстой листовой стали; цепь или свободно подвешивают, или же она имеет принудительное направление. Заключенным в особый кожух электромотором, установленным на тележке, приводится в движение не только цепь с ковшами, но и тележка и стрела экскаватора. Выемка глины (также и мягкого мергеля и мела) происходит следующим образом: стрелу экскаватора, установленного на проложенном параллельно фронту разработки пути, подводят к откосу, и по пуску в ход цепи ковши заостренными своими краями срезают тонкий слой глины. При очень мягких породах цепь может свободно провисать, при твердых же она должна получать принудительное направление. Достигнув высшего своего положения, ковши опрокидывают содержимое в воронку, из которой оно грузится в вагонетки. В целях предупреждения высыпания материала из ковшей цепь в соответствующих местах движется по направляющим желобкам. Таким образом экскаватор является машиной не только для выемки,

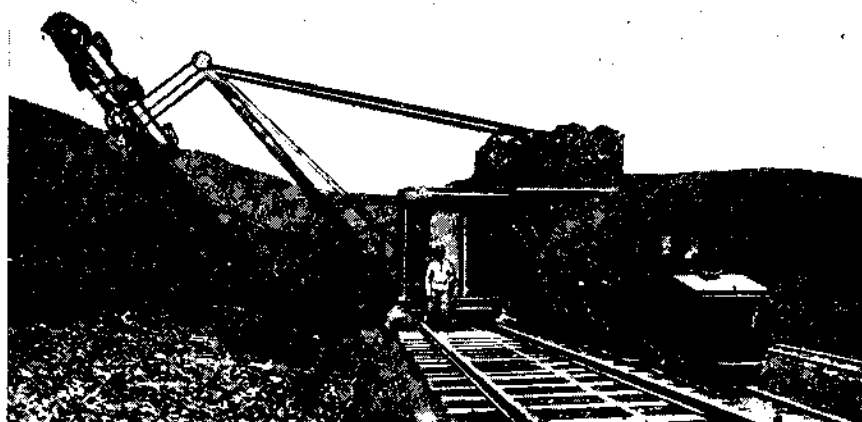


Рис. 11.

но и транспортером материала. Вдоль фронта разработки экскаватор передвигается при посредстве колес тележки, приводимых в одновременное с цепью медленное движение электромотором. Подвижка цепи с ковшами к месту съема глины производится опусканием стрелы. Если расстояние увеличилось настолько, что забирать глину уже не представляется возможным, необходимо колею перенести ближе к фронту разработки.

В то время как многоковшевый экскаватор работает непрерывно, работа одноковшевого распадается на три стадии. Одноковшевый экскаватор как бы представляет собою механически действующую исполинскую лопату. Он состоит из ковша емкостью до 3 м³, укрепленного на подвижном коромысле и подвешенного на канатном блоке. При работе коромысло вместе с ковшом опускается и, идя затем по вырабатываемому откосу, забирает материал ковшом. После этого экскаватор поворачивается при помощи зубчатого венца, и содержимое ковша через откидное дно или другое опрокидывающее устройство выгружается в вагонетки с опрокидными кузовами. Продвижка и нажим ковша к разрабатываемому откосу производится при помощи зубчатой рейки, поступательное же движение самого экскаватора вдоль откоса — электромотором, приводящим во вращение колеса тележки.

Ввиду того что при добыче глины карьер обычно углубляется, необходимо иметь бдительный надзор за отводом вод из карьера, так как иначе добыче угрожает возможность приостановки.

Добыча глины, применяемой для производства портланд-цемента, редко производится подземными работами. Этот способ допустим лишь в том

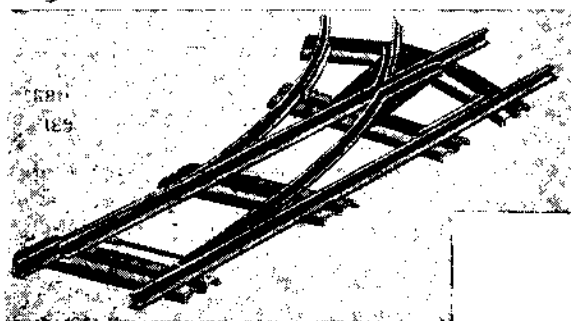


Рис. 12. Стрелка узкоколейного пути.

случае, если покрывающий глину пласт является мощным и крепким. Кое-где применяется так называемый камерный способ выработки глины. В таких случаях шахту проходят до подошвы залегания, а затем выбирают камеру высотой, равной толщине пласта. Таким образом разработку глины ведут так же, как и разработку известняка. По выемке всей глины кре-

пёжный материал убирают и камеру заваливают вышележащей породой, после чего переходят к соседнему участку.

Крупные куски тем или иным способом добытого материала необходимо до дальнейшей переработки измельчить. При добыче известняка эта работа производится вручную тяжелыми кувалдами. Очень крупные глыбы получающиеся при взрывных работах, должны быть подвергнуты дополнительной разбурке и взрыванию. Получающийся при этом в значительном количестве мелкий осколок — в особенности при хрупких известняках — можно использовать в качестве щебня.

В качестве транспортных средств для доставки сырья на заводы, обычно располагаемые вблизи карьерных разработок, пользуются по преимуществу узкоколейными путями и передвигаемыми по ним вручную вагонетками с опрокидными кузовами. Ширина колеи должна быть не менее 600 мм при высоте рельса не менее 70 мм и ширине головки в 30 мм и весе рельса около 9 кг в пог. м, так как

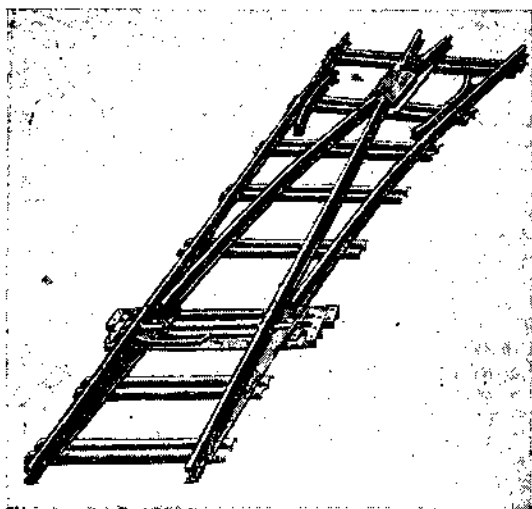


Рис. 13. Стрелка из цельных рельсов.

несколько больший расход на более тяжелые рельсы всегда окупается; кроме того по таким рельсам уже допустимо движение легкого типа паровозов. На хорошую укладку путей, в особенности магистральных линий, необходимо обратить самое серьезное внимание. Все

пути должны иметь уклон от карьера для облегчения отвозки груженых вагонеток.

Укладки крестовин на путях следует по возможности избегать. Стрелки на путях, по которым откатка производится вручную, могут выполняться неподвижными. При механической же откатке должны применяться только переводные стрелки, рис. 12 и 13.

Внеско стрелок у выхода из карьера может быть установлен центральный поворотный круг, от которого пути расходятся радиально к заводу и карьеру. Этому назначению вполне удовлетворяет плоский поворотный круг, вращающийся вокруг оси и покоящийся на шариковой плите. Он функционирует вполне исправно и надежно, если его ежедневно осматривать и смазывать. Временные пути целесообразнее всего укладывать на железных шпалах с целью более удобной и легкой разборки и переноски их. И здесь также необходимо следить за надлежащим состоянием путей, в особенности за скреплениями. Для откатки сырья лучше всего применять железные вагонетки с опрокидывающимися на сторону кузовами, так как эти последние проще и легче обслуживаются, чем деревянные. Кузова рекомендо-

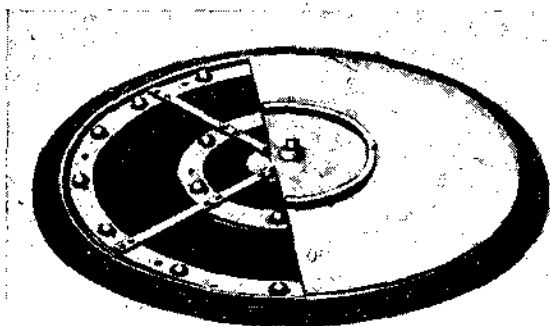


Рис. 14. Поворотный круг.

дуется снабжать стальным маркасом и утолщенным днищем. Колеса вагонеток должны быть стальные, а подшипники — по возможности роликовые. Емкость этих вагонеток обычно равна $\frac{3}{4}$ м³. При наличии значительных уклонов в пути вагонетки необходимо снабжать тормозным приспособлением; для этой цели обычно пользуются деревянным дручком, который продевают в укрепленную на рамке между колесами скобу и прижимают к одному из задних колес, рис. 16.

В тех случаях, когда доставка сырья должна производиться на большие расстояния, собирают состав из нескольких вагонеток и отвозят его на лошади. Однако такой тяге следует предпочесть механическую — при помощи паровоза, безогневого локомотива, пневматического локомотива, электровоза с контактной дугой или аккумуляторной батареи или наконец какого-либо мотовоза. Выбор той или иной системы зависит от местных условий. Там, где располагают дешевой электрической энергией, применяют электровозы, а при наличии избыточного пара — так называемые безогневые паровозы. Наибольшее распространение по праву получили тепловозы благодаря их преимуществам перед другими системами: сравнительно невысокая их стоимость, постоянная готовность их к эксплуатации, независимость их от источника энергии, безопасность от взрывов и наконец незначительность эксплуатационных расходов. На рисунках рис. 17 и 18 показаны мотовоз акк. о-ва „Дейтц“ и мотовозная платформа акк. о-ва „Оренштейн и Коппель“ в Берлине. Мотовозы работают на бензине, бензоле, спирте или керосине. В последнее время для мотовозов стали применять бескомпрессорные дизеля.

Эксплуатационные расходы для мотовозов или локомотивов средней мощности можно принять в 7 пфеннигов на полезный тонно-километр, а для мотовозов с дизелями—в 5 пфеннигов.

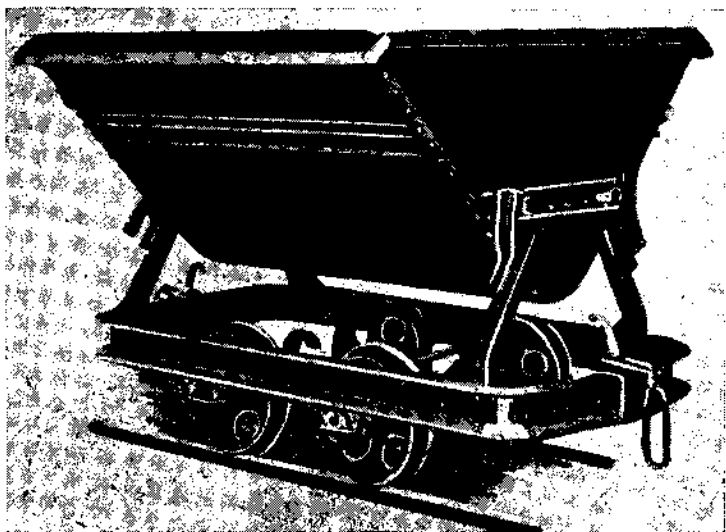


Рис. 15.

Если добыча сырья ведется продолжительное время в одном месте, как например при способе „Глохирол“, и если подошва карьера находится на одном или почти одном уровне с самим заводом, то применяют рельсоподвесную дорогу. Она представляет собою однорельсовый путь, укрепленный на опорах.



Рис. 16.

Подвешенные на хомутах, снабженных роликами, опрокидываемые вагонетки легко передвигаются вручную при отсутствии значительных подъемов, причем одним рабочим без особого напряжения перевозится вагонетка в 1500—1600 кг весом. Вагонетки однако могут также приводиться в движение от непосред-

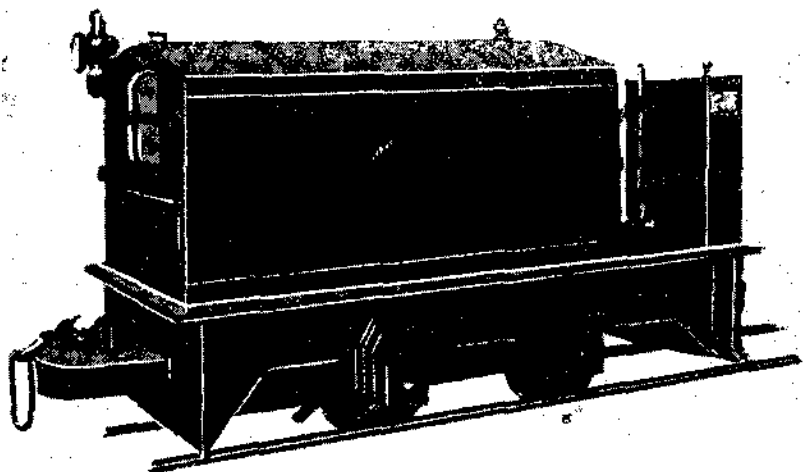


Рис. 17.

ственно соединенного с роликами электромотора, получающего ток от дуги скользящей по проложенному над рельсом проводу.

Рельсоподвесная дорога с одинаковым успехом также применима и для транспортирования сырья в самом заводе, так как устройство стрелок и дру-



Рис. 18.

гих поворотных приспособлений для откатки сырья в любом направлении не встречает каких-либо затруднений. При подъемах выше 5% рельсоподвесная дорога неприменима.

Если карьер расположен выше предприятия, грузные вагонетки спускаются так называемым бремсбергом. Он обычно состоит из двойного пути, уложенного по спуску, реже — из одного, с автоматическим переводом вагонеток на разъезды в момент их скрещивания в пути. Между рельсами на роликах уложен стальной канат, который в верхней части бремсберга навит на барабан. К верхнему концу каната прикрепляют грузную вагонетку,



Рис. 19. Рельсopодвeсная дopогa.

а к нижнему — порожнюю, затем грузную вагонетку переводят с горизонтальной площадки на спуск, после чего она своей тяжестью вытаскивает порожнюю вверх.

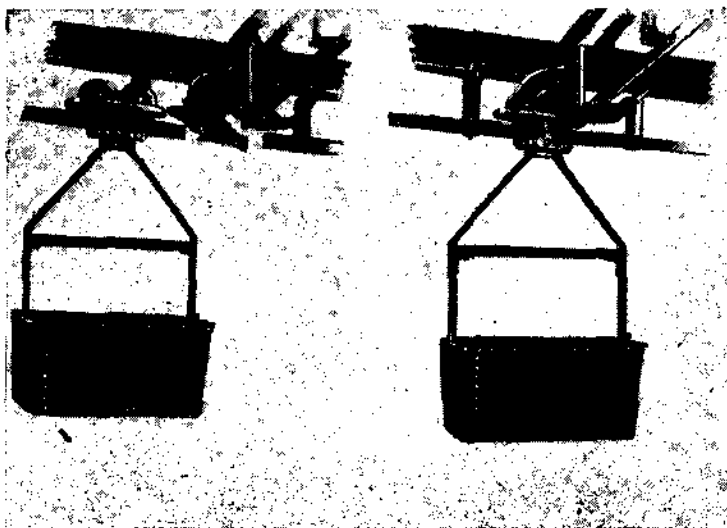


Рис. 20.

Стрелки рельсopодвeсной дopоги.

Рис. 21.

Для регулирования скорости движения верхний барабан бремсберга снабжен ленточным тормозом. Уклон бремсберга должен быть таким, чтобы порожние вагонетки давали достаточное натяжение

канату. Если уклон настолько велик, что сырье может высыпаться, необходимо предусмотреть особые клетки, на которых устанавливаются и закрепляются вагонетки. У верхнего конца бремсберга перед выходом на спуск следует установить предохранительные собачки во избежание ухода вагонеток. Собачки эти удерживаются в вертикальном положении при помощи противовеса и каната, перекинутого через систему роликов. При движении вагонеток вверх собачки откидываются, а после прохода их сызнова становятся в вертикальное положение. Для спускающихся вагонеток необходимо собачки вывести из вертикального положения при помощи противовеса и каната, соединяющего все собачки. Собачки с противовесами укрепляются в небольших бетонных и перекрытых выемках между рельсами. Дальнейшим мероприятием против ухода вагонеток может быть следующее устройство: свободно подвешивают кусок рельса, который отодвигается идущей вверх вагонеткой и, наоборот, прижимается к двум столбам спускающейся вниз. Для освобождения пути рельс этот при помощи каната, перекинутого через систему блоков, и противовеса может быть поднят обслуживающим механизмом бремсберга рабочим. Необходимо также предусмотреть соответствующую сигнализацию, предупреждающую об окончании прицепки порожней вагонетки. Но так как все же случается упуск грузовой вагонетки вследствие ли чрезвычайной небрежности, или неприцепки грузовой или порожней вагонетки, или же вследствие отцепки в пути, или наконец по причине разрыва каната, — необходимо устроить на нижней площадке бремсберга особый предохранитель — уловитель. Для этой цели, по личному опыту автора, оправдывало себя следующее устройство: в нижней части бремсберга, на горизонтальной его части, имеются весьма крутые закругления. Сорвавшаяся вагонетка, стремясь благодаря развившейся скорости сохранить свое прямое направление, слетает с пути на закруглении. Здесь же устроена сетка, в которую попадает вагонетка. Сетка сооружается следующим образом. Два рельса нормальной железнодорожной колеи длиной не менее 4 м на половину своей длины забиваются в грунт. Затем выступающие концы заплетают старыми стальными канатами. Таким образом получается солидная и вместе с тем эластичная сетка для улавли-

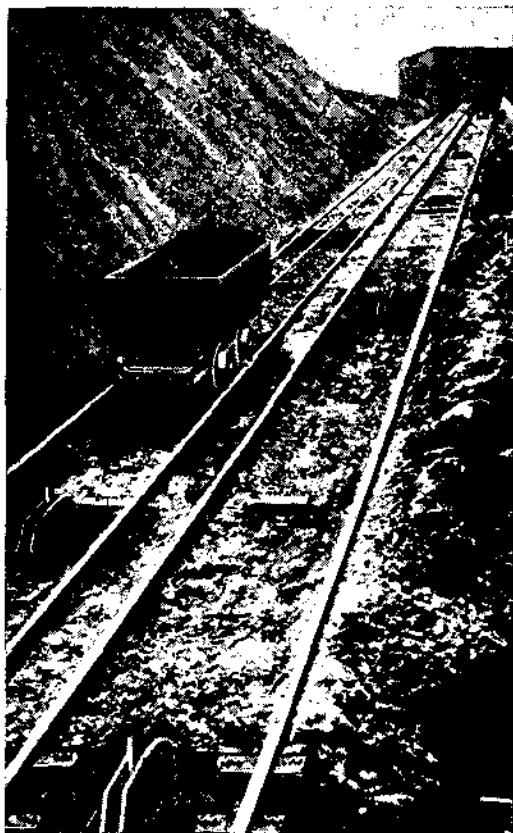


Рис. 22. Бремсберг.

вания сорвавшихся вагонеток. Есть еще одно предохранительное устройство, запатентованное фирмой „Нейтч и Кюпер“ в Галле. Показываем его на рис. 24. При разрыве каната крюк, прикрепленный к вагонетке, падает на уложенную между рельсами стремянку из круглых железных прутьев и задерживает вагонетку. Это приспособление одинаково применимо как для поднимающихся, так и для спускающихся вагонеток.



Рис. 23.

порожнюю — к верхнему концу каната. Недавно еще можно было встретить лебедки с ручным или конным приводом, в настоящее же время уже повсюду применяется механический привод. Для предупреждения возможных несчастных случаев прикрепляют к поднимающейся вагонетке особый шипообразный упор, который при разрыве цепи или цепного устройства врезывается в землю и останавливает вагонетку.

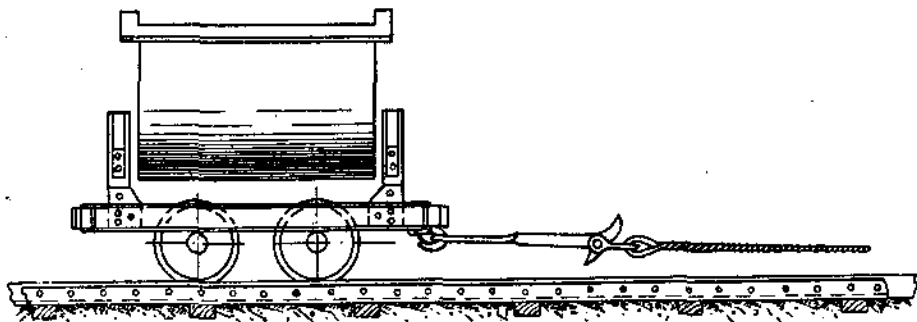


Рис. 24.

Кроме описанного устройства подъем добытого сырья может производиться еще другим аналогичным устройством, но с бесконечным канатом или с бесконечной цепью. При последнем канат или цепь перекидываются через два шкива, из которых нижний вращается свободно, а верхний снабжен механическим приводом. При цепной передаче шкив обычно имеет на ободке специальные насадки, которыми захватывается цепь.

При канатном приводе предусматриваются два шкива во избежание скольжения каната. Вагонетки в этих случаях снабжаются прикрепленными к передней и задней стенкам вилками, которыми захватывается цепь.

При канатной тяге вагонетки снабжаются двумя хомутками, в которые закладывают штырь с вилообразным наконечником. При вводе вагонетки в канат этот наконечник поворачивает штырь в направлении движения и вокруг его оси, тем самым захватывая канат. При подъемах более 15%, расстояниях до 3000 м и при грузах не более 600 т применяют подвагонеточную канатную тягу. Цепной провод с поверху идущей цепью допускает значительно большие подъемы.

В № 43 журнала „Steinbruch“ за 1913 г. изображен наклонный подъемник с поверху идущей цепью фирмы „Геккель“ в Заарбрюкене, в котором подъем составляет 40%. На нижней станции вагонетку подводят под цепь; на верхней, где цепь ложится на шкив, вагонетка автоматически распаляется, в то же время порожние вагонетки подводят под цепь. Цепной и канатный подъемники можно подвести к фронту самого карьера, так как он может работать и на горизонтальных участках. Он также пригоден и для участков со значительными подъемами и спусками, почему им пользуются так же, как и бремсбергом.

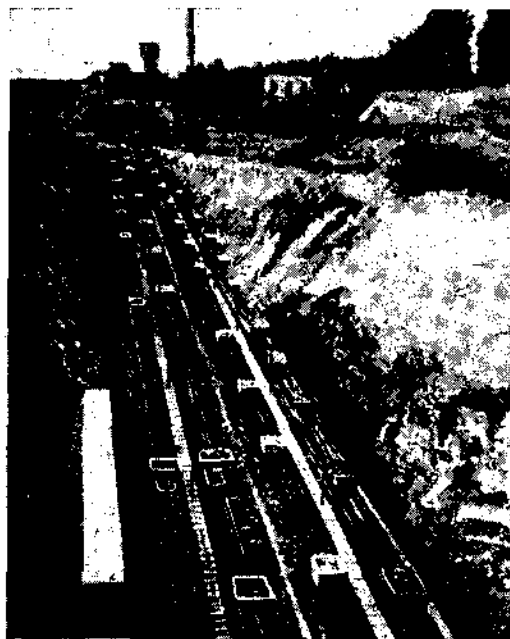


Рис. 25. Цепной подъемник.

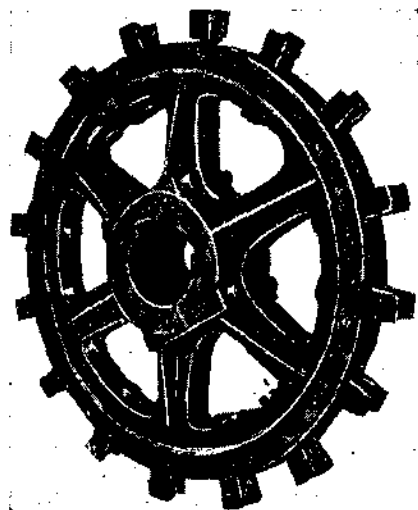


Рис. 26. Цепной шкив.

Кроме того он допускает и закругления; при наличии их работа осуществляется так.

Вагонетка перед закруглением идет по некоторому участку пути на подъем; в высшей точке участка цепь принимается на направляющие шкивы и освобождает вагонетку, которая, пробежав кривую по уже несколько наклонному пути, дальше опять захватывается цепью в том месте, где последняя уже получила новое направление через другие направляющие шкива. Точно так же возможны и дальнейшие ответвления для подвозки материала по узкоколейкам. В последнем случае устраивают станции для сцепки и расцепки, где канат перекидывается через шкив и где вагонетки принимаются и направляются особыми поворотными кругами на те или иные участки узкоколейки. При-

менение поворотных площадок и кругов возможно только при вагонетках небольшой емкости, при вагонетках же большой емкости могут для перевода их применяться лишь стрелки. Так как натяжение каната или цепи меняется с увеличением числа вводимых вагонеток, то по участку пути устанавливают автоматически действующие натяжные салазки. Для отрегулирования степени натяжения цепи шкива на конечных станциях должны снабжаться натяжными шпindleями. Когда натяжение цепей и каната уже невозможно осуществить этим способом, цепь или канат следует укоротить. Кроме того изменение натяжения цепи или каната возможно осуществить и при помощи устройства дополнительного натяжного приспособления на участке пути; в этом случае укорачивается

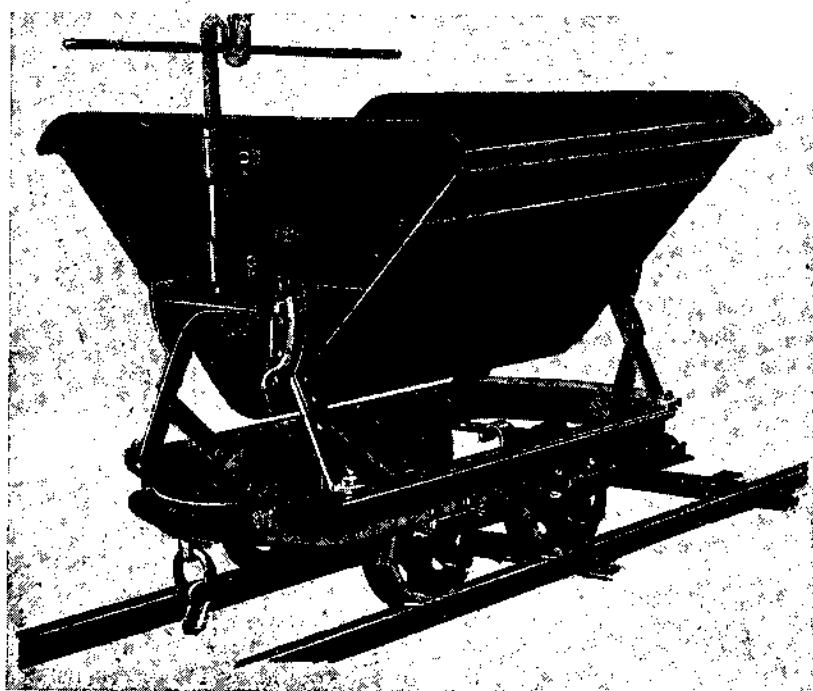


Рис. 27. Захват каната.

только тот конец, на котором подвешен груз. Цепи следует применять калиброванные со звеньями из железа толщиной от 12 до 24 мм, в зависимости от нагрузки, канаты же—многожильные стальные от 7 до 40 мм в диаметре. В качестве приводного двигателя применяется или паровая машина, или электромотор, для бремсберга же двигателя не требуется. С целью предупреждения несчастных случаев устройство должно быть таким, чтобы машину можно было немедленно остановить по поданному сигналу. Для этой цели между машиной и приводом включают муфту, которая моментально может быть выключена поворотом рычага. С целью предупреждения ухода поднимаемых вагонеток устанавливаются между рельсами через каждые 20 м поворотные двойные рычаги. Короткое, более тяжелое плечо рычага удерживает длинное, более легкое в вертикальном положении. Идущая вверх вагонетка поворачивает торчащее вверх длинное плечо и про-

ходит дальше; затем короткое плечо своим весом ставит длинное опять в вертикальное положение. В целях предупреждения ухода спускаемых вагонеток по тем или иным причинам, в том числе и при разрыве цепи, имеются также соответствующие приспособления, действующие однако менее

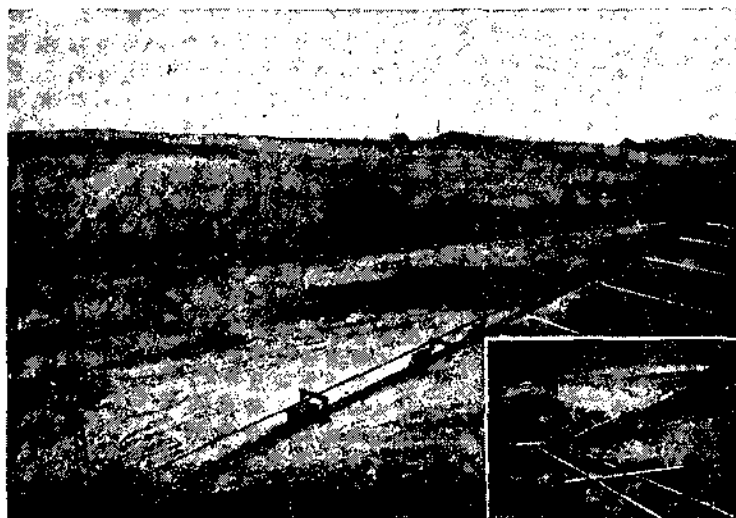


Рис. 28. Канатная дорога.

надежно. С целью подачи сигнала машинисту для пуска или остановки механизма проводят электрическую сигнализацию, так чтобы по возможности в любом месте пути можно было ею пользоваться.

Для подъема материала из очень глубоко расположенных карьеров или котлованов и для дальнейшей транспортировки его в горизонтальном направлении применяют также кабельный кран. Он состоит из двух мачт или башен, между которыми натягивается стальной канат с катящейся на нем тележкой, которая передвигается с помощью тягового каната. Подъемный механизм установлен в одной из башен; им приводится в действие при помощи второго тягового каната катящаяся по канату тележка. Таким образом груз может подниматься и опускаться в любом месте под канатом. Кабельный кран может быть и поворотным, для

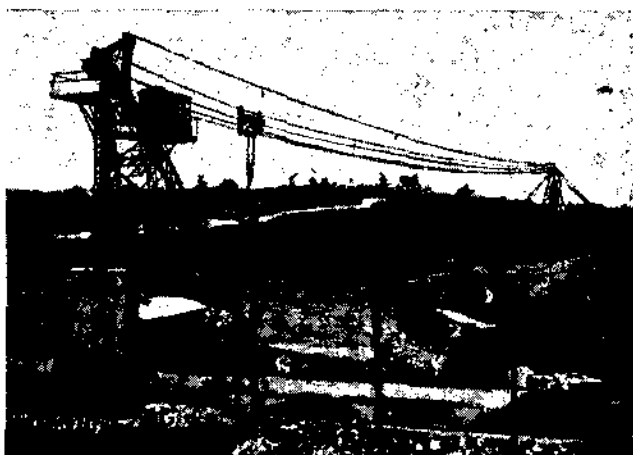


Рис. 29. Кабельный кран.

чего одна из башен передвигается по круговому пути. Можно сделать передвижным также все устройство, установив обе башни на рельсовом пути (рис. 29). Самым целесообразным двигателем для привода такого крана является электромотор. Наконец для подъема грузов из глубоко расположенных карьеров могут применяться конечно и вертикальные подъемники, устройство и способ действия которых общеизвестны.

В тех случаях, когда рельеф местности между карьером и предприятием пересечен глубокими оврагами, реками, болотами или проезжими дорогами, для доставки материалов рекомендуется устройство подвесной канатной дороги. В последней в качестве несущих груженные и порожние вагонетки деталей, применяются два прочных проволочных каната, которые укрепляются на высоких деревянных или железных мачтах, устанавливаемых на соответствующих расстояниях одна от другой. На каждой из этих мачт канаты уложены на слегка закругленных башмаках, укрепленных на поперечных

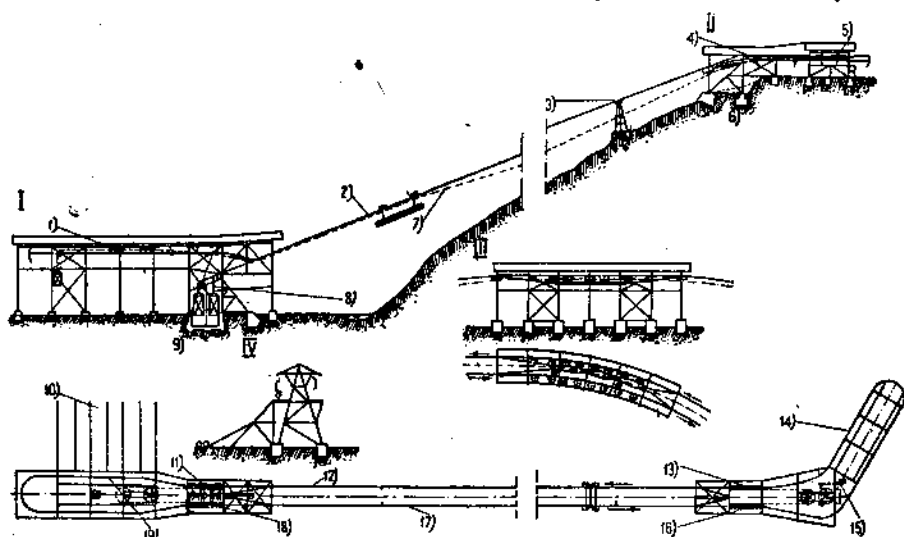


Рис. 30. Подвесно-канатная дорога.

вылетах мачт и имеющих соответствующие диаметру каната сечения желобки. Там, где установка таких мачт невозможна, например при больших оврагах, расстояние между ними может быть доведено до значительных размеров. На рис. 31 показана построенная фирмой Блейхерт в Лейпциге воздушно-канатная дорога с пролетом между мачтами в 300 м. Та же фирма выполняла подобные сооружения с пролетами до 1000 м. На одной из конечных станций канаты закрепляются намертво, а на противоположной они натягиваются при посредстве тяжелых противовесов. При очень длинном протяжении дороги добавочные натяжные приспособления устраиваются кроме того еще на отдельных участках. По грузовому канату движется вагонетка, состоящая из движущейся на роликах тележки, подвески, муфты и кузова.

Тележка вагонетки приводится в движение при посредстве бесконечного проволочного троса меньшего сечения, чем несущий канат. Тяговый трос подвешивается или выше, или ниже грузового каната и приводится в движение паровой машиной или электромотором. Натяжение тягового каната производится перемещением канатного шкива при помощи противовеса. Основным отличием в конструкциях воздушно-канатных дорог, строящихся

разными фирмами, является аппарат сцепления тележек с тяговым тросом. Все имеющиеся в настоящее время в работе сцепные приспособления

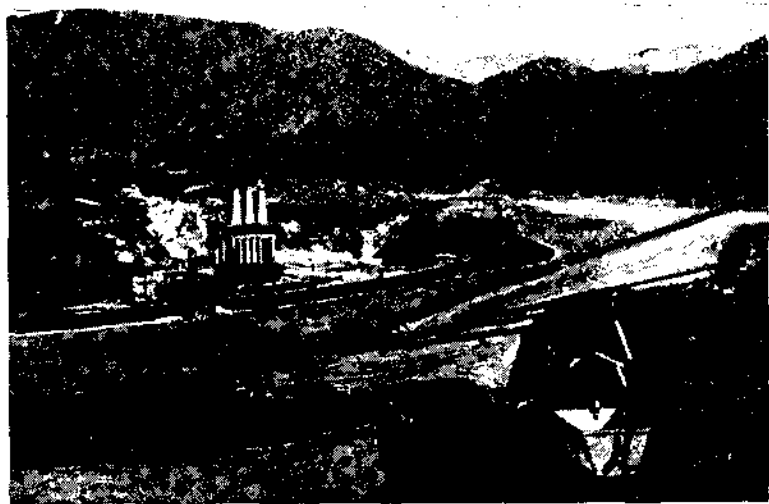


Рис. 31.

действуют автоматически как при включении, так и при выключении. На конечной станции вагонетка переводится на жесткую рельсовую систему, т. е. на подвесную рельсовую дорогу (рис. 33), по которой вагонетки направляются к различным пунктам завода.

Вагонетки канатной дороги могут также приниматься на колесные скаты и направляться дальше по узкоколейным путям, или же они вообще могут быть устроены на колесном ходу и для непосредственного приема на узкоколейку. В случаях, когда кузова вагонеток в течение значительного периода времени должны опоражниваться в одном и том же пункте, устраиваются приспособления для автоматического опрокидывания их в этом пункте. Для этого задвижка, удерживающая кузов вагонетки через подвеску в вертикальном положении, снабжается рычагом, который выключает задвижку,



Рис. 32. Роликовый каток.

ударяясь в установленный в этом месте упор. Там, где канатную дорогу невозможно вести по прямой линии, могут быть сооружены также угловые поворотные станции. В местах поворота устраивают жесткий рельсовый путь, причем изменение направления тягового каната осуществляется системой особых направляющих шкивов; эти станции в современных установках работают вполне автоматически. Поворотные станции нередко служат также для одновременной установки натяжных приспособлений.

Стоимость сооружения и эксплуатационные расходы такой воздушно-канатной дороги мы даем на основании данных Стефана, скорректированных нами применительно к настоящим условиям. Эти данные конечно являются лишь весьма ориентировочными и в каждом отдельном случае должны быть

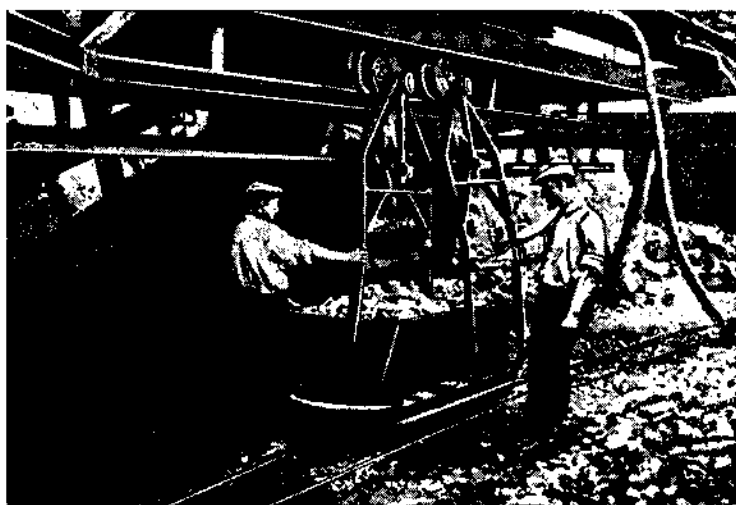


Рис. 33. Конечная станция канатной дороги.

проверены и уточнены. При спокойном рельефе местности и одинаковых высотах расположения конечных станций могут быть приняты следующие примерные цены в германских марках.

Пропускная способность в т в 1 час	Протяжение дороги в м		
	500	1 000	2 000
5	14 000 марок	19 000 марок	29 000 марок
10	15 000 "	21 000 "	32 500 "
20	17 000 "	25 000 "	38 000 "
40	21 000 "	32 000 "	50 000 "

Эти цены нужно понимать франко-завод, т. е. без стоимости провоза и монтажа, а также без стоимости приводного двигателя и деревянных мачт и станций.

Стоимость эксплуатации таких дорог, т. е. текущего ремонта, смазки, оборотного материала и обслуживания, составляет примерно:

Суточная пропускная способность в т в 1 час	Протяжение дороги в м		
	500	1 000	2 000
40	17 марок	19 марок	27 марок
80	21 "	24 "	32 "
160	25 "	29 "	37 "
320	32 "	37 "	49 "

Далее мы приведем пример стоимости такой дороги и эксплуатационных расходов. Данные эти взяты из книги Стефана и исправлены применительно к современным условиям.

Дорога должна ежедневно, т. е. в течение 8-часового рабочего дня, доставлять 320 т известняка на расстоянии 5 км при разности высот в 100 м. Опоры и станции должны быть сооружены из железа. Расходы по доставке известняка до устройства дороги приняты в 1,60 марок за 1 т, т. е. в 512 марок.

Расходы по сооружению дороги:

Металлические части	125 000 марок
Стоимость сооружения при деревянных конструкциях мачт и станций	45 000 "
Увеличение стоимости сооружений при железных конструкциях	30 000 "
Локомобиль в 70 л. с. макс. нагрузки	22 500 "
Накладные расходы по перевозке по ж. д. и доставке с последней на место постройки с учетом добавочных расходов из-за тяжелого рельефа местности и большого протяжения подвесных рельсовых путей на конечных станциях	53 000 "

Итого полная стоимость сооружения 275 500 марок

Ежедневные расходы при 300 рабочих дней в году составляют:

7% на затраченный капитал	64,16 марок
Амортизация 5%	45,83 "
Эксплуатационные расходы за исключением энергии	83,0 "
Стоимость энергии при среднем расходе в 40 л. с.	12,0 "
Всего	204,99 марок



Рис. 31. Каменоломни.

При ежедневной перевозке лишь 40 т доставка обошлась бы дороже по сравнению с прежней гужевой. При этом однако следует взвесить, не компенсируется ли это вздорожание косвенными выгодами: отсутствием зависимости от гужевого транспорта и погоды, удобством нагрузки и выгрузки и т. д.

Заканчивая эту главу, мы считаем не лишним описать две современно оборудованные каменоломни, имеющие своим назначением поставлять не менее 1000 т камня в сутки.



Рис. 35. Одноковшевый экскаватор.

В первом случае речь идет о портландцементном заводе с суточной производительностью в 2600 бочек цемента, для чего потребуется добыть и доставить 900 т камня в сутки. Подлежащая добыче порода предста-

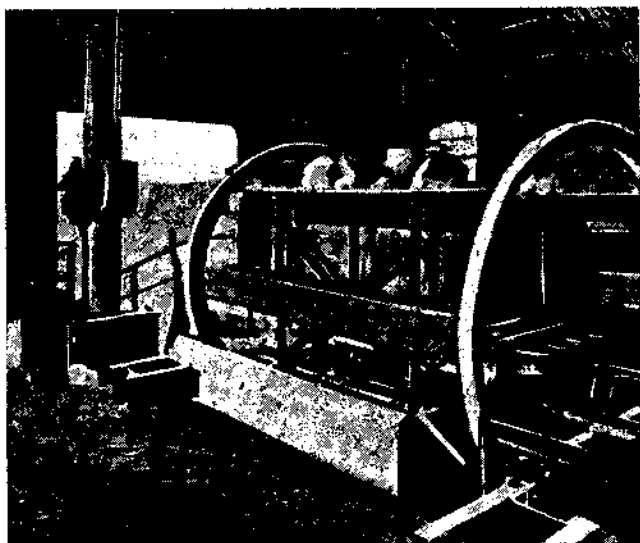


Рис. 36. Поворотный опрокидыватель.

вляет собой мергель средней твердости с включением твердых прослоек, требующих взрывных работ. Добыча камня производится двумя одноковшевыми экскаваторами фирмы Менк и Гамброк, забирающими сырье до 10 м

по высоте и до 12,2 м по ширине и развивающими у ковша усилие в 24 000 кг при мощности паровых машин в 83 и 48 л. с.

Вес этих экскаваторов, включая и балластный груз, составляет 88 000 кг. Для передвижения их, по мере выработки камня, они устанавливаются на рельсовом пути с шириной колеи в 2600 мм, который они сами по частям могут перекладывать. Работа этих экскаваторов происходит так. Ковш емкостью около 2 м³ устанавливается в нижней части выбираемого откоса и передвигается по последнему вверх, наполняясь разрабатываемой породой, состоящей из кусков различной величины до 1000 мм в наибольшем измерении. При повороте экскаватора ковш опрокидывает содержимое в стоящие рядом вагонетки. Паровоз подает груженую вагонетку к наклонной эстакаде камнедробильного отделения, расположенного при каменоломне. По этой эстакаде вагонетки вытаскиваются на площадку, и при посредстве поворотного опрокидывателя содержимое вагонеток выбрасывается на колесниковую решетку с качающимися вверх и вниз колосниками из профильного железа.

Колосники снабжены отверстиями, через которые вся мелочь величиною до 10 мм проваливается в находящийся под решеткой бункер. Более крупные куски сбрасываются решеткой в вальцовую камнедробилку. На выборе именно такого типа камнедробилки остановились потому, что такой материал шнековыми дробилками не дробится и не принимается вследствие происходящего в них слипания и из-за кусков больших размеров. Рама дробилки склепана из профильного железа ввиду того, что она подвержена весьма большим механическим напряжениям. Подшипники вальцов—подвижные: через посредство не кольких чрезвычайно солидных буферных пружин они принимают на себя вызываемые работой дробилки частые и сильные удары, предохраняя дробилку от поломок. Подшипники снабжены центральной смазкой с подачей масла от насоса. Вальцы состоят из отдельных дисков, снабженных различной величины зубьями из литой стали, насаженных один к другому на квадратную ось вальца. Назначение зубьев—захватывать куски больших размеров и вводить их в вальцы. Соответственно разви-

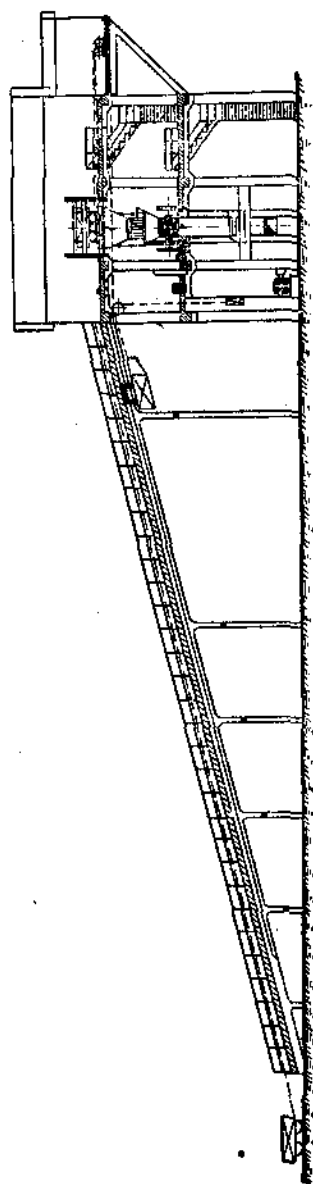
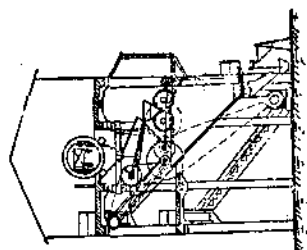


Рис. 37. Цепь предварительного дробления.

вающимися очень значительным усилиям, зубчатая передача выполнена также весьма солидно.

Скребки в вальцах устроены так, что могут устанавливаться как в радиальном, так и осевом направлении при помощи особых болтов, чем обеспечивается надлежащая очистка вальцов. Построенная фирмой Крупп вальцовая камнедробилка снабжена зубчатыми вальцами диаметром 1300 мм при ширине в 1000 мм. Она весит 30 000 кг и расходует около 35—40 л. с., давая при этом от 50 000 до 60 000 кг грубо измельченного камня.

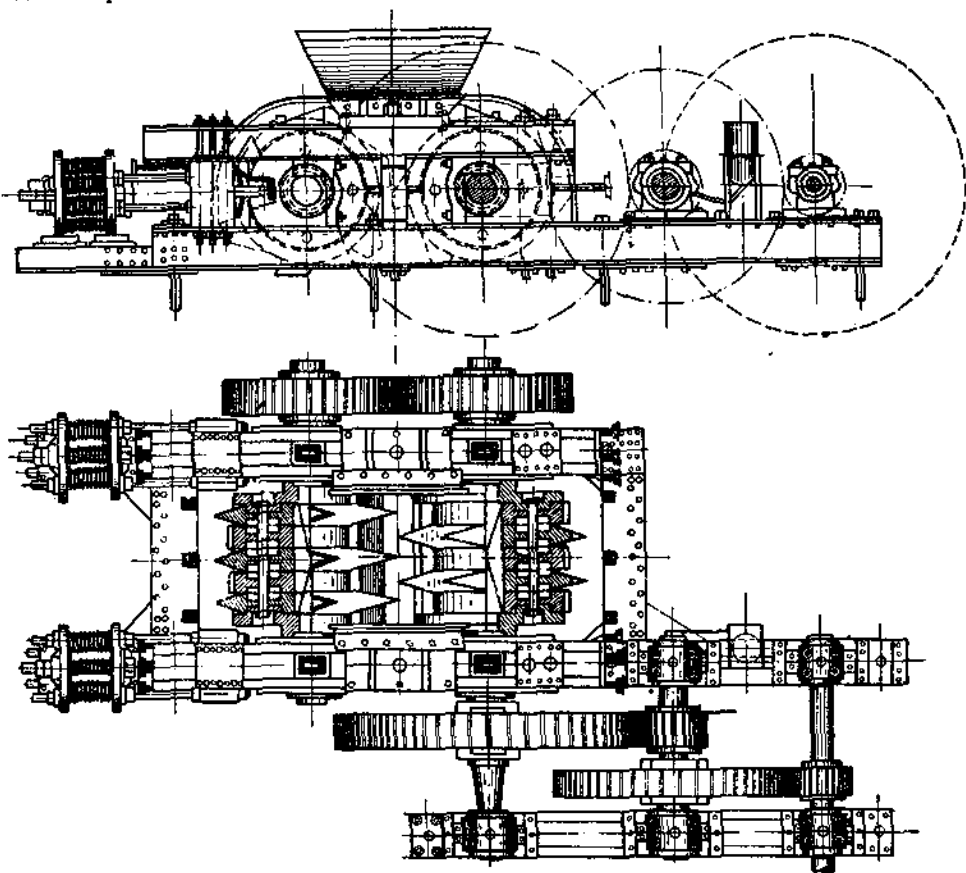


Рис. 38. Вальцовая камнедробилка.

Измельченный камень проваливается затем в находящийся под вальцами бункер к уже прошедшей через решетку мелочи. Этот бункер снабжен шарнирным затвором, приводимым в действие при помощи цепи. Из бункера материал коротким тряском подается в подводимые под него вагонетки канатной дороги, которые отправляют его в запасный бункер завода для дальнейшей переработки. Само собой разумеется, что в случае надобности возможна также и дальнейшая сортировка измельченного камня путем установки соответствующего сортировочного устройства под вальцовую дробилку. Расход энергии всего описанного устройства относительно невелик: установленный 80-сильный двигатель полностью не используется. В среднем этот расход за 16 час. работы составляет около 1600 квт.

Что касается работы этого современно оборудованного карьера, то необходимо прежде всего отметить, что до установки экскаватора и сооружения камнедробильного отделения на карьере были заняты по добыче, доставке, измельчению и погрузке (около 900 т камня в день, составляющих суточную потребность завода при производстве 2600 бочек цемента), 80 рабочих, дававших при 10½-часовом рабочем дне в среднем 5050 рабочих часов в неделю. При нынешнем 8-часовом рабочем дне были бы следова-

тельно нужны $\frac{80 \cdot 10,5}{8} = 105$ рабочих при том однако положении, что довоенная производительность труда будет сохранена. На эксплуатации всего вышеописанного устройства занято при двух 8-часовых сменах:

При экскаваторах	6 человек
Перевос путей и т. п.	6 "
Варынная бригада	2 "
Обслуживание паровоза	2 "
Сцепщики у эстакады	2 "
Обслуживание опрокидывателя	2 "
Нагрузка вагонеток канатных дорог	2 "
Сцепщики при канатной дороге	2 "
Всего	24 человека

которые дают 1250 рабочих часов в неделю.

Таким образом ежедневно сберегаются заработная плата $105 - 24 = 81$ рабочего и соответствующие отчисления по социальному страхованию и налогам. Этому сбережению следует противопоставить следующие расходы:

1. Амортизация, проценты на капитал и текущий ремонт механического оборудования.

2. Расход угля для экскаваторов и паровоза, составляющий 100 кг в сутки и около 5½ кг смазочного масла.

3. Расход энергии камнедробильным отделением и лебедкой для подъема вагонеток на эстакаду — всего около 1200 квт/сутки, и весьма незначительный расход на смазку.

Отсюда без особых дальнейших пояснений ясно, насколько выгодна такая установка. Целесообразность последней помимо сказанного еще в значительной мере подкрепляется тем обстоятельством, что потребность в значительно меньшей по количеству рабочей силе поставит такое хозяйство в меньшую зависимость от того или иного наличия рабсилы.

В качестве второго примера опишем вкратце оборудование камнемолен завода „Вольфрат“ рейнско-вестфальских известковых заводов.

Добыча залегающего сплошным массивом твердого известняка производится камерным способом, при котором закладывается около 500 кг пироксилина для каждого взрыва.

Однокошечным экскаватором на гусеничном ходу получаемый от взрывных работ известняк забирается посредством снабженного стальными зубьями ковша и выгружается через открывающееся днище последнего в вагонетки. Экскаватор, обслуживаемый только одним машинистом, приводится в действие тремя электромоторами общей мощностью в 210 л. с.

Отдельные поезда груженных вагонеток подаются паровозом к камнедробильному отделению и помощью цепного подъемника поднимаются на верхнюю площадку. При посредстве поворотного опрокидывателя содержимое вагонеток опрокидывается на находящуюся внизу качающуюся колосни-

ковую решетку, сквозь которую вся мелочь проваливается. Более крупные куски, размером до 1 м длины и $\frac{1}{2}$ м толщины, колосниковой решеткой направляются в мощную вальцовую камнедробилку.

Из-под последней измельченный камень подается на цилиндрический грохот, где он сортируется по размерам. Более крупные куски цепными подъемниками подаются и выгружаются в бункера, расположенные над газовым шахтными печами, в которых на заводе „Вюльфрат“ обжигается известняк. Другим таким же цепным подъемником доставляются щебень и гравий в силосы, из которых производится погрузка в железнодорожные вагоны.



Рис. 39. Одноковшевый экскаватор.

1925 г., такого рода устройства показывают уменьшение количества несчастных случаев.

Независимо от этого союзом рабочих карьерных разработок составлены правила для производства работ по добыче камня, из которых мы ниже приводим наиболее существенные выдержки.

До разработки каменной породы должны быть удалены наносные и прочие непригодные слои. Между краем очищенного участка и подошвой насоса должно быть при высоте насоса не свыше 2 м расстояние не менее 1 м. При насосах большой мощности, от 2 до 6 м, это расстояние должно составлять не менее половины высоты. Наносные слои должны срезываться откосом с углами не более 60° или разрабатываться уступами.

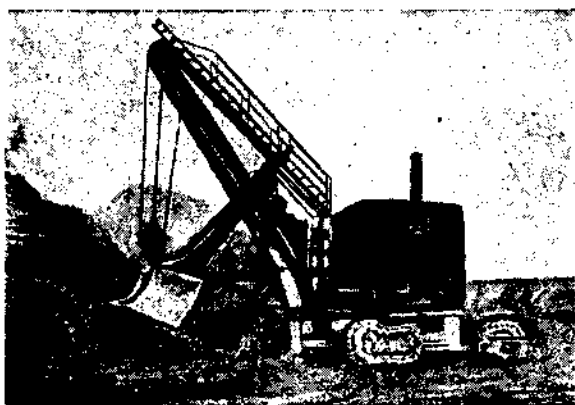


Рис. 40. Одноковшевый экскаватор.

Добычу камня всегда следует вести сверху вниз уступами высотой не более 12 м или откосами с углами не более 60° . Уступы более 12 м допускаются лишь в исключительных случаях.

До начала работ и после каждого взрыва угрожающие падением массы породы необходимо спускать. Места, длительно находящиеся под угрозой обвалов, должны обноситься ограждениями. Во время вскрыши или спуска камня никаких работ у подошвы откосов наносных или разрабатываемых пород производить нельзя. На крутых подъемах, прокладываемых к местам работ,

должны быть устроены поручни. В случаях, когда при больших кручах возможны падения рабочих во время работы, необходимо привязывать их к канату, прочно закрепляя конец последнего тем или иным способом.

Основные правила предупреждения несчастных случаев специально при добыче глины уже даны нами при описании способов разработки. Этими правилами, соответственно видоизменяя их и сообразуясь с местными условиями, необходимо руководствоваться и для каменоломен.

При взрывных работах в особенности важно соблюдение следующих правил.

Взрывы должны производиться только одним лицом — запальщиком. Хранение взрывчатых веществ и запальных материалов производится уполномоченным на то лицом. Ключ от склада взрывчатых материалов должен храниться только у него. Выдача взрывчатых веществ и запальных материалов производится, как правило, лишь непосредственно перед взрывом, притом только в количествах, необходимых для производимых взрывов. Лишь при отдаленности места работ или подземных работах допускается выдача этих материалов в количестве всей суточной потребности, однако при условии хранения их в запираемом помещении или другом хранилище. При доставке взрывчатых веществ и запальных материалов в место хранения, при зарядке и забивке скважин запрещаются применения незащищенного огня и курение табаку.

При зарядке и забивке скважин запальщику разрешается пользоваться услугами помощника, за работой которого он должен однако лично наблюдать; кроме того он не имеет права отходить от скважины, пока полностью не произведена забивка. При скважинах глубиной более 2 м должны быть уложены два зажигаемые шнура. Прикрепление шнура к взрывной капсуле должно производиться при помощи специальных, предусмотренных правилами щипцов. Патроны должны снабжаться запалами лишь непосредственно перед употреблением. При применении сыпучих взрывчатых веществ последние должны вводиться в скважину при посредстве цинковой воронки, по длине соответствующей глубине скважины.

Для забивки скважин обязательно применение материалов, не могущих дать искр. Забивка и патроны должны вводиться только при помощи деревянного шомпола и без особого усилия. Неиспользованные взрывчатые и запальные материалы подлежат возврату запальщиком на место выдачи.

Все заряженные в одном и том же месте выработки скважины должны быть взрываемы непосредственно одна за другой или одновременно. После наступления темноты производство взрывов воспрещается.

Перед производством взрывов подается сигнал, призывающий всех находящихся в районе взрывных работ покинуть каменоломню и укрыться в отведенные для этой цели защитные места. Все находящиеся в районе работ дороги подлежат на время производства взрывов закрытию и охране. Сигнал для запала шнуров должен отличаться от первого сигнала и подается лишь после того, как все лица, не занятые непосредственно при производстве взрывов, укрылись в огражденных от взрыва местах. Только по третьему сигналу, оповещающему об окончании взрывов, разрешается покинуть укрытие.

Электрические запальные приборы, равно как и запальные провода, подлежат обязательной проверке перед применением. Соединение провода с запальным прибором должно производиться только запальщиком и непосредственно перед взрывом. После запала запальщик обязан немедленно

удалить приспособление для привода в действие зажигательного приспособления, т. е. рукоятку или контактный ключ.

Производство взрывов посредством шнура или камерным способом, а также зарядку и забивку скважин и камер разрешается производить только запальщику. До истечения 1 часа после последнего взрыва не разрешается вновь заряжать буровые скважины. Воспрещается чрезмерная зарядка буровых скважин. При применении сыпучего пороха необходимо принимать меры, чтобы не произошло просыпания его. Если же это просыпание все же происходит, необходимо пытаться просыпанную часть пороха взорвать; в случае невозможности взорвать его необходимо обезопасить просыпанный порох, залив его водой. По соответствующем уплотнении взрыв может быть повторен. Если некоторые из зарядов не взорвались, сигнал об окончании взрыва подается лишь по истечении 30 мин. после зазала последней скважины. Даже при электрическом зазале обязательно выждать 15 мин.

Невзорвавшийся заряд должен быть обезврежен самим запальщиком или другим лицом под его наблюдением. Производится это следующим образом. Около скважины с невзорвавшимся зарядом проходит новая скважина с таким расчетом, чтобы бур не задел первую. При взрыве заряда новой скважины взрывается также и невзорвавшийся ранее снаряд. В случаях, если бы при этом были выброшены из старой скважины патроны или запальные капсулы, запальщик обязан немедленно подобрать их и спрятать. При применении чувствительных к влаге взрывчатых веществ материал может быть удален из скважины также путем промывки или продувания. Трубка для промывки должна иметь медный наконечник. При взрывчатых веществах, содержащих нитробензол, промывка скважин обязательно прекращается на расстоянии 15 см от места нахождения заряда, который затем взрывается с помощью особого детонационного патрона. Строго воспрещаются высверливание и выскабливание из скважин взрывчатого материала, а также углубление незаконченных бурением и оставшихся нетронутыми взрывом частей скважин.

В отношении транспортных устройств также необходимо соблюдать известные правила.

Рельсовые пути должны быть проложены так, чтобы наиболее выступающие за их пределы части подвижного состава были на расстоянии не менее 0,4 м от находящихся вдоль пути сооружений, т. е. от стен, платформ, мачт и т. д. В случае невозможности соблюдения этого условия через определенные промежутки устраиваются ниши или что-либо другое для укрытия. Предельный уклон устанавливается с таким расчетом, чтобы возможно было при имеющихся тормозных устройствах в любой момент, даже при гладких увлажненных водой рельсах, быстро остановить вагонетки.

У отвалов, выгрузочных и погрузочных площадок необходимо обезопасить путь от ухода вагонов. Въезд на малообозримые закругления или в однопутные тоннели должен регулироваться таким образом, чтобы была исключена возможность столкновений.

Отдельные вагонетки должны быть снабжены надежно действующими тормозными устройствами. Применение в вагонетках деревянных рычагов может быть допущено при емкости вагонеток не свыше 1 м³. Уклон пути не должен превышать 4‰, кривые с малым радиусом не допускаются. Между одиночными вагонетками или между составами поездов обязательно нужно соблюдать при движении по горизонтальному участку расстояние не менее 10 м, а на уклонах не менее 30 м. Опрокидывание вагонеток с

липким материалом производится не менее чем двумя рабочими и при помощи дручка. При составлении поездов обязательно включение в составы тормозных вагонеток в количестве, необходимом сообразно предельному уклону пути. Прицепка и отцепка вагонов во время движения воспрещаются.

Бремсберги, канатные и цепные подъемники должны быть снабжены надежно действующими тормозами. На пути должны быть установлены автоматические тормозные предохранительные приспособления для задержки и остановки оторвавшихся вагонеток. Воспрещается работать непосредственно у подошвы бремсбергов и эстакад. Управление тормозными устройствами должно быть расположено так, чтобы обслуживающий эти устройства персонал мог видеть впереди лежащий путь на возможно, далекое расстояние. На случай ухода несцепленных с канатом вагонеток должно быть устроены особые, автоматически действующие задерживающие приспособления. Езда на вагонетках и хождение по путям воспрещаются.

Дороги и места работ, расположенные под воздушными канатными и подвесными дорогами, должны быть ограждены от случающегося опрокидывания содержимого вагонеток. На кривых и на стрелках необходимо обязательно предусматривать приспособления против возможности схода вагонеток с рельс, а также против вылета кузовов вагонеток. Езда разрешается только в специально предназначенных для этого вагонах. Тяговые и несущие канаты и цепи должны находиться под бдительным надзором. Все оборудование подвергается обязательно раз в год детальному осмотру и в случае надобности ремонту. Во время движения воспрещается производить какие-либо работы по починке путей и подвижного состава. Управление паровозом и мотовозами может доверяться только лицам, опытность которых в этом деле не вызывает сомнения. Лицам моложе 18 лет работа на бремсбергах и подвесных дорогах воспрещается.

в) Стоимость

При определении стоимости сырья необходимо различать два случая: 1) когда завод уже готов к пуску и необходимо установить ту стоимость единицы (например 1 м³) сырья, которую следует ввести в калькуляцию, и 2) когда для предполагающегося к сооружению завода требуется определить, какая максимальная плата допустима при приобретении карьерного участка.

В первом случае решение не представляет особых затруднений, так как принимаемая в калькуляцию стоимость материала определяется из расчета погашения стоимости самого карьера. Возьмем для примера такой случай. Цементный завод имеет карьер с общим запасом материалов в 1 500 000 м³ = 3 750 000 т, стоивший ему 126 000 марок. При суточной производительности в 100 т цемента заводу потребуется 60 м³ = 150 т камня в сутки и при 300 рабочих днях—45 000 т. Таким образом общего количества материала хватит на 83 года.

Процент на затраченный на карьер капитал принимается в 7% годовых. Тогда ежегодная сумма погашения по правилам сложных процентов определится из следующей формулы:

$$a \cdot \frac{q^n - 1}{q - 1} = 126\,000,$$

где

$$q = 1 + \frac{7}{100} = 1,07 \text{ и } n = 83 \text{ года,}$$

откуда:

$$a = \frac{126\,000}{q^n - 1} (q - 1) = \frac{126\,000 \cdot 0,07}{273,7} = 32,23 \text{ герм. марки.}$$

Сумма процентов Z на капитал из года в год уменьшается вследствие погашения основного капитала и через год составит:

$$Z_1 = Kp, \text{ где } p = 7\%, K = 126\,000 \text{ герм. марок}$$

и через 2 года:

$$Z_2 = (K - Kp - a)p = Kp(1 - p) - ap.$$

Сумма процентов на капитал + погашения через 2 года дадут следовательно:

$$Z_2 + a = Kp(1 - p) + a(1 - p) = (Kp + a)(1 - p).$$

Сумма процентов на капитал + погашение через n лет:

$$(Kp + a)(1 - p)^{n-1}.$$

Из этого следует, что суммы процентов и погашения составят вместе:

В 1-м году (пока погашение еще не начисляется)	8852,23
Во 2-м	8232,58
3-м	7656,30
10-м	4606,50
40-м	512,12
83-м	34,70

Несмотря на безусловную правильность этого теоретического расчета, на практике он однако неприменим, так как мы исходили из предпосылки, что условия производства, сбыта, размер процента, короче говоря, все условия эксплуатации завода останутся неизменными в течение 83 лет, что конечно не может отвечать действительности. Кроме того стоимость единицы сырого материала при таком способе расчета должна была бы приниматься каждый год иная. Чтобы иметь возможность оперировать с неизменяющейся стоимостью материала, а также учитывать колебания рынка, Шох предлагает следующий способ расчета: принимая во внимание постепенное снижение суммы процентного начисления, он производит расчет, исходя из половинного размера процента на капитал, в нашем случае—3,5%, причем в дальнейшем принимает цифру ежегодного отчисления на погашение без учета простых и сложных процентов.

Тогда для нашего примера имеем:

3,5% от 126 000 м	4410 марок
Ежегодное погашение капитала 126 000 м в течение 83 лет	1537

Таким образом на 18 000 м³ = 45 000 т ежегодно расходуемого сырья падает общая сумма процентов и погашения затраченного на покупку каменоломен капитала в 5947 марок, что дает 0,33 марки на 1 м³ камня, или 0,20 марок на 1 т цемента. Чтобы уточнить стоимость сырого материала на самом заводе, необходимо дополнительно учесть еще следующие расходы:

расход по съему наносного слоя (вскрыша);
 заработную плату рабочим по добыче (включая и оплату необходимого количества квалифицированных рабочих других специальностей);
 стоимость энергии;
 взрывчатые вещества;
 доставку камня на завод;
 текущий ремонт, смазочные материалы и пр.

Чтобы подойти к решению вопроса о максимально возможной плате за месторождение (второй случай), необходимо сделать следующие предполо-
 сылки.

Еще до начала постройки всякого цементного или известкового завода, как уже отмечалось выше, должно быть установлено наличие необходимых для этого сырых материалов. Далее необходимо заручиться получением возможно более точных сведений о мощности залегания камня и его качествах. После этого приступают к составлению калькуляции, в которой стоимость самого месторождения предварительно вводится неизвестной величиной x , в то время как расходы по сооружениям, оборудованию, по добыче камня и пр. при соответствующем подходе к этому вопросу поддаются довольно точному установлению.

Предположим, что требуется построить известковый завод с суточной производительностью в 50 m извести: тогда подлежащий покупке карьер должен содержать 562 500 m^3 известкового камня для обеспечения завода на 90 лет. Так как мощность пласта породы в намечаемом для постройки этого завода районе равна 20 m , то необходимо приобрести участок площадью около 3 га. Общая сумма расходов на полное оборудование такого карьера—без учета платы за участок—определяется в 170 000 марок, а себестоимость извести (без процентов и погашения капитала) составит 200 марок за 10 m .

В эту последнюю сумму входят:

расходы по добыче и доставке сырого материала без процентов и погашения капитала;
 уголь;
 заработная плата (включая и расходы по социальному обеспечению);
 зарплата обслуживающему и административному персоналу;
 текущий ремонт;
 смазка, обтирочный материал и пр.;
 общие расходы (конторские расходы, плата за помещение и пр.);
 налоги;
 банковский процент на оборотный капитал.

Продажная цена извести равна 230 марок за 10 m . В результате этого за 250 рабочих дней разница между общей суммой вышеперечисленных статей себестоимости и рыночной стоимостью продукции составит 37 500 марок. Этой разницей и должны покрываться принимаемый в 15% доход на весь вложенный капитал (т. е. на 170 000 марок $+x$), а также банковский процент и размер погашения на капитал.

Обозначая ежегодное отчисление на погашение x , получаем:

$$1) \quad a \frac{q^n - 1}{q - 1} = x,$$

где

$$q = 1 + \frac{7}{100} = 1,07, \quad n = 90 \text{ лет,}$$

отсюда

$$a \cdot \frac{441,1}{0,07} = x,$$

или

$$a \cdot \frac{440,1-1}{0,07} = x,$$
$$a = \frac{0,07}{440,1-1} x$$

или

$$a = 0,000159 x.$$

2) Вышеупомянутая разница $(37\,500) = 15\%$ от $170\,000$ м + проценты на затраченный на покупку карьера капитал $x + a$.

Следовательно для первого года эксплуатации имеем:

$$37\,500 = 0,15x + 0,15 \cdot 170\,000 + 0,07x + 0,000159x$$

или

$$0,220159x = 37\,500 - 25\,500 = 12\,000.$$

Покупная цена месторождения определяется:

$$x = \frac{12\,000}{0,220159} = 54\,505 \text{ марок.}$$

На основании этого и исходя из предположения, что по крайней мере половина месторождения имеет мощность пласта толщиной в 20 м, необходимо приобрести участок в 6 га по средней цене 9000 м за 1 га.

В заключение необходимо упомянуть, что нередко приобретается только право на добычу известкового камня. При этом обычно обуславливается определенная плата владельцу месторождения с каждого кубического метра добытого камня. Если впоследствии пожелают приобрести такой участок в собственность, стоимость его определяется по формуле:

$$K = R \frac{q^{n-1}}{q-1},$$

где K —искомая стоимость, R —ежегодно выплачиваемая владельцу сумма покубного отчисления, q —процент на капитал и n —число лет, на которое завод обеспечен оставшимся запасом.

глава III

МЕТОДЫ ХИМИЧЕСКОГО И ТЕХНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

I. Общие приемы работы и обращение с приборами

Для проведения химического анализа материал необходимо подвергнуть некоторым предварительным операциям; опишем некоторые из них, имеющие наибольшее значение.

а) Отбор пробы

Для взятия пробы жидкости обычно достаточно бывает пипетки соответствующей длины. Так как некоторые жидкости, например бензин, легко из пипетки вытекают, то для этой цели пользуются прибором очень простого устройства. Он состоит из стеклянной, открытой с обоих концов трубки, внизу слегка оттянутой на конус. Верхний конец трубки закрывают пробкой с отверстием, в которое вставляется тонкая стеклянная палочка с коническим утолщением на нижнем конце. Последнее должно точно соответствовать конусу внизу стеклянной трубки и плотно его закрывать. При пользовании прибором слегка приподнимают стеклянную палочку, впускают жидкость и опять плотно вдвигают палочку в конус. Для производства анализа дымовых или генераторных газов в первую очередь следует правильно выбрать место для взятия пробы, чтобы взятая проба газа была действительно чистой, без примеси постороннего воздуха и т. п. Винклер рекомендует просасывать сильную струю газа через стеклянную, а при горячих газах—через фарфоровую, а еще лучше—через кварцевую трубку и уже при помощи второй трубки, присоединенной к ней Т-образным отводом, берется слабая струя, идущая для анализа.

Для взятия проб тестообразных материалов, вроде мелового шлама, известкового теста и т. д., целесообразно пользоваться цилиндрическим сосудом, нижний конец которого переходит в воронку из цинковой жести; прибор вводится в массу при помощи насаженной на него палки. На нижнем конце воронки и на крышке сосуда находятся клапаны. Через нижний клапан шлам входит в сосуд, не выливаясь из него при обратном подъеме прибора. Через верхний клапан, находящийся в сосуде, воздух может выходить при наполнении сосуда шламом. Цементный шлам лучше всего отбирать из бассейна посредством прочной латунной трубки около 40 мм в диаметре, нижний конец которой снабжен обратным плотным клапаном с резиновой прокладкой. При этом трубка заполняется шламом. При поднятии клапан сам прижимается, и трубка действует подобно обыкновенной пипетке.

Для отбора пробы пластичной глины лучше всего пользоваться шупом доктора Коля (рис. 41) длиной 28 см.

При втыкании в пластичную массу через отверстие на конце, внутри прибора входит столбик глины, который затем вынимают через боковую щель отверстия.

Для взятия пробы порошкообразных материалов, например молотого угля, употребляют прибор, состоящий из двух вложенных одна в другую трубок с продольными щелями. После введения прибора в материал одну из этих трубок вращают при помощи особого приспособления так, чтобы материал мог заполнить трубку через щель, образовавшуюся между ними. Для небольших проб прибор должен иметь длину около 30 см, а для больших доз—около 85 см.

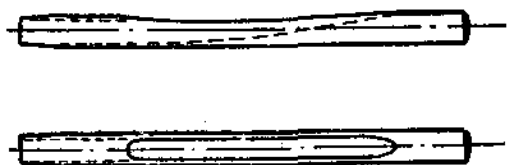


Рис. 41.

Кусковой материал, например уголь, набирают по одной лопате из нескольких мест вагона, причем соответственно учитываются мелочь и пыль. Взятую таким образом общую пробу разбивают сначала на более мелкие куски, и после

перемешивания отбирают из нее вторичную. Последнюю измельчают еще раз уже в порошок, перемешав который, отбирают третью пробу: эта последняя проба является окончательной, и для анализа ее тонко растирают.

Для исследования качества известняков, глины, гипса и тому подобных пород берут ряд отдельных проб из заложенных в породе буровых скважин. Составление средней пробы в этом случае привело бы к совершенно неправильным заключениям: возможно например, что одна проба известняка с 100%-ным содержанием углекислой извести дает чистую жирную известь, а другая, содержащая 85%—очень тощую известь, которая начнет отвердевать уже при выдержке в твориле.

Таким образом если бы мы взяли пробу из смеси этих двух образцов со средним содержанием углекислой извести 93%, то пришлось бы заключить, что залежь состоит из известняков, дающих еще довольно чистую воздушную известь; в результате потребители предъявили бы претензии на то, что им прислана гидравлическая известь. От такого рода ошибок обеспечивает только отбор возможно большего числа отдельных проб с разных глубин и из разных мест залежей; таким образом получается правильное и точное суждение о качестве содержащихся в этих залежах различного состава материалов.

б) Высушивание

Взятые для исследования пробы либо сразу помещают в сухой герметически закрывающийся стеклянный сосуд либо предварительно высушивают их. С этой целью применяют общеупотребительные эксикаторы с хлористым кальцием или серной кислотой.

Последняя полностью поглощает влагу, но зато при серной кислоте не столь наглядно можно судить о степени ее насыщенности влагой, как по расплыванию хлористого кальция.

Если требуется полное высушивание материала, то его подогревают на гладкой железной пластинке толщиной около 1 см.

Рекомендуется не класть материал на середину пластинки, находящуюся непосредственно над огнем, где получается самая высокая температура.

Его раскладывают отдельными кусочками кольцом, оставляя свободной среднюю часть пластинки. Для нагревания применяют круглую горелку, пламя которой, состоящее из ряда небольших язычков, не дает излишне высокой температуры. Затем для высушивания пользуются сушильным шкафом, лучше всего медным; шкаф установлен на четырех ножках. Сверху в шкафу имеется штуцер, в который вставляется термометр. Особенно удобны для работы электрические печи (сушильные шкафы) с обмоткой для регулировки температуры до 200° (рис. 42).

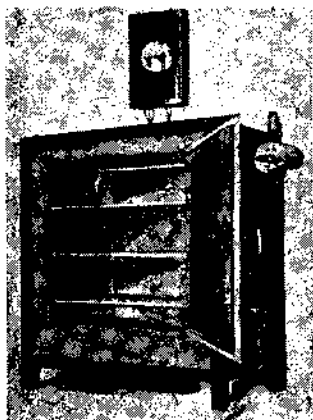


Рис. 42.

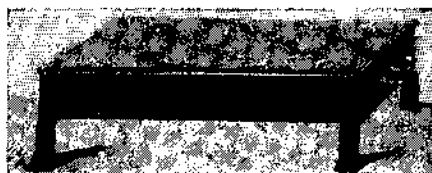


Рис. 43.

Для высушивания на открытом воздухе таких материалов, как глина, мел, цементный шлам, часто применяют электрические плитки (рис. 43).

в) Измельчение

При измельчении необходимо принимать меры во избежание попадания в пробу испытуемого вещества заметного количества частиц материала, из которого сделан прибор для измельчения. Железную пыль, попадающую в пробу при растирании в железной ступке, удаляют при помощи магнита. Приборами для измельчения служат железные ступки со стальным пестиком, дробилки и шаровые мельницы с волнистым кожухом (рис. 44), затем фарфоровые и агатовые ступки; для очень малых количеств применяется еще алмазная ступка.

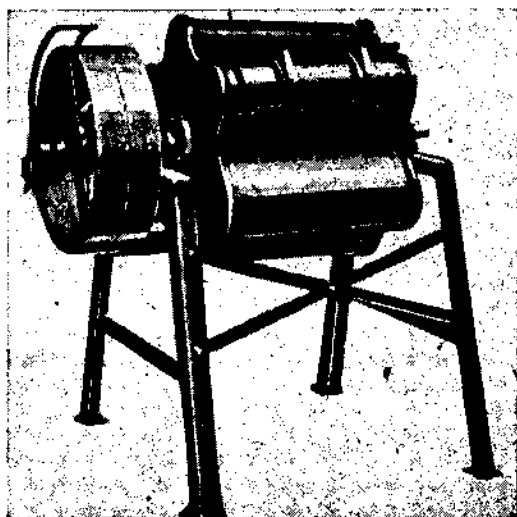


Рис. 44.

Высушенный и измельченный материал хранят в небольших стеклянных стаканах с притертыми герметическими пробками. Стаканы до их применения должны быть тщательно вымыты и вытерты. Затем их следует высушить в сушильном шкафу, и только после этого их можно считать совершенно сухими.

г) Взвешивание

Исследование материалов производится почти исключительно методами количественного анализа; в тех же случаях, когда необходим качественный анализ, его следует проводить так, чтобы все же иметь возможность дать хотя бы приблизительно количественную оценку.

Самым важным прибором для химического анализа являются весы. Доброкачественность весов определяется их точностью и чувствительностью. Хорошие весы должны при нагрузке в 200 г показывать разницу в 0,1 мг. Чувствительность их нарушается от присутствия в воздухе пыли, влаги и кислотных паров, поэтому их следует помещать в специальной весовой комнате. В шкаф весов надо поставить небольшой сосуд с хлористым кальцием. Для сохранения чувствительности весы должны оставаться без нагрузки, т. е. после каждого взвешивания необходимо непременно и тотчас же снимать разновески и тарирующие гири. Так как плечи весов редко бывают точно одной длины, а чашки весов точно одного размера, то для получения точного веса следует класть гири всегда на одну и ту же чашку; удобнее материал класть на левую чашку, а гири на правую.

Гири нужно накладывать постепенно одну за другой и последовательно, начиная с самой тяжелой; рейтер помещают также систематически сначала на 5,0 мг, затем на 7,5 мг или 2,5 мг и т. д. Во время положения гирек, разновесов и передвижки рейтера необходимо весы арретировать. Шкаф весов не должен оставаться открытым без надобности.

После взвешивания производится подсчет гирь, причем для проверки его повторяют три раза: сначала подсчитывают недостающие в ящике гири, затем стоящие на чашке; последний подсчет делается при укладывании гирь обратно в ящик.

Навеска вещества берется всегда в целых единицах, например 1—2 г. Это значительно облегчает дальнейшие вычисления, а при работе с кальметром приходится отвешивать совершенно определенные количества. Кроме того очень удобно для всех точных анализов отвешивать всегда одно и то же количество материала, что в значительной мере облегчает приблизительную количественную оценку на-глаз осадка. Для этого конечно нужен длительный навык. В некоторых случаях такая оценка позволяет сэкономить время, прекратив анализ до его окончания.

Взвешивание платиновых тиглей после их прокаливания следует производить всегда точно через одно и то же время, нужное для их остывания (около 2 мин.).

Необходимо всегда иметь наготове ручные весы до 100 г и настольные весы до 10 кг.

д) Разложение и прокаливание

При химическом анализе определение отдельных составных частей производится следующим образом: их осаждают из раствора, фильтруют и после высушивания и прокаливания взвешивают.

Поэтому подлежащий анализу материал сначала необходимо растворить. Иногда для этого достаточно бывает обработать его кислотой (соляной). Вещество, отвешенное в лодочке на точных весах, переносят в соответствующий стакан или фарфоровую чашку, приливают немного дистиллированной воды и затем добавляют кислоту. Умеренное подогревание способствует процессу разложения; в некоторых случаях приходится нагревать до кипения, например, когда требуется удалить угольную кислоту.

Случается, что разложение таким путем не может быть доведено до конца. Тогда в виде вспомогательного средства материал перед разложением подвергают прокаливанию; обычно так поступают с гидравлической известью. В таких случаях предварительное прокаливание все равно является необходимым, независимо от возможности повышения этим способности материала к разложению. Дело в том, что такого рода материалы нередко содержат включения угля. Если не сжечь этот уголь предварительно, то он окажется при анализе входящим в глинистую часть мергеля, и полученное отношение глинистых составных частей к извести окажется неправильным, что особенное значение имеет при анализе сырьевой смеси для портланд-цемента.

Прокаливание исследуемого материала является делом несколько более сложным, чем это может показаться с первого взгляда. Во время прокаливания материал должен разложиться, и кроме того из него должна быть выделена углекислота. Для этого требуется довольно высокая температура. С другой стороны, сильное нагревание может вызвать также потерю в исследуемом материале, т. е. вместе с углекислотой может выделиться небольшое количество серной кислоты и щелочей. Потерю серной кислоты, содержащейся в небольших количествах, обычно можно предупредить, прибавляя к анализируемому веществу около 5 объемов тонкоизмельченной и свежeproкаленной химически чистой окиси свинца (Фрезениус). Потерю щелочей предупреждают, применяя тигли специальной формы.

Для прокаливания материала обычно пользуются платиновыми тиглями. Наиболее подходящими являются тигли высотой 35 мм и диаметром около 32 мм. Такой тигель ставят на платиновый или кварцевый треугольник, прокаливают, охлаждают и, спустя 20 мин., взвешивают. После этого отвешивают 2 г материала, прокаливают и взвешивают. Для проверки прокаливания производят вторично. Далее материал высыплют из тигля, последний тщательно очищают обязательно после каждого применения. Для этого предпочтительно брать смесь осажденной амфорной кремнекислоты и тончайшего измолотого кристаллического песка. Однако часто и этого бывает недостаточно: в таком случае необходимо расплавить в тигле углекислую щелочь или кислый серноокислый калий, а затем прокипятить тигель со сплавом в воде. Крышку очищают тем же способом: сначала на нее насыпают кислого серноокислого калия и прокаливают, а потом ее кипятят в воде.

Платиновые тигли во время прокаливания следует устанавливать так, чтобы дно их не достигало восстанавливающей части пламени, так как при этом образуется углеродистая платина; тигель вследствие этого портится и скоро прогорает насквозь.

Степень прокаливания и его продолжительность в значительной степени зависят от вида применяемой для этого горелки. В лабораториях, имеющих светильный газ, обычно применяют бунзеновскую горелку различных типов и затем также паяльную горелку. Неудобства такого двойного прокаливания могут быть устранены, если пользоваться горелкой Меккера, в которой получается надлежащее смешение газа и воздуха. Важнейшей ее частью является съемный никелевый колпачок, который придает пламени другую по сравнению с бунзеновской горелкой форму, причем получается минимальных размеров восстановительная зона высотой всего 3—4 мм. Пользуясь такой горелкой, в обыкновенном платиновом тигле навеска в 2 г чистейшего плотного мрамора (температура обжига которого равна $14\text{ КЗ} = 1410^{\circ}\text{Ц}$) при 6-минутном предварительном нагреве и затем прокаливании в течение 7 мин. при полном пламени, окончательно разла-

газ, выделяя всю углекислоту полностью. Таким образом прокаливание даже при указанном трудно разлагающемся материале длится не более 15 мин. Надо отметить, что для горелки Меккера требуется давление газа не менее 40 мм вод. ст. Как всегда, нагревание начинают на малом огне, затем пламя постепенно усиливают, опуская постепенно тигель в пламя настолько, чтобы в продолжение 5—7 мин. довести его дно до высоты 9—10 мм над верхним краем горелки.

В случае отсутствия газа могут быть применены бензиновые горелки Бартеля. Горелкой маркой „Пинит“ пользуются таким же образом, как бунзеновской; она дает высокую температуру, горит 1½ часа на одном наполнении (около 200 см³ бензина) и хорошо регулируется.

Еще лучше работают бензиновые горелки, действующие под давлением, для контроля которого устанавливается небольшой манометр.

Вместо отдельных горелок можно рекомендовать также газообразовательные аппараты. Они имеют специальный карбюратор, в который нагнетается воздух, насыщаемый в них бензином. Смесь бензина с воздухом подводится к отдельным горелкам посредством обыкновенных газовых труб. Прибор, нагнетающий воздух в карбюратор, имеет электрический привод или же вращается с помощью троса и блоков с грузом, время от времени поднимаемым помощью заводки рукояткой.

Аппарат вырабатывает лишь столько газа, сколько его фактически расходуется, так как газообразование зависит от количества прошедшего через карбюратор воздуха, т. е. от числа горящих в данный момент горелок.

При необходимости нагрева до высоких температур более крупных сосудов пользуются крупными нагревательными приборами, например небольшими газовыми печами.

Так как в данном случае дело идет о технических испытаниях, то следует иметь в виду температуру до 1500°C, допускающую обжиг небольших проб цемента. Для этого хорошие результаты дают муфельные печи, нагреваемые газовыми горелками, работающими под давлением. От величины давления существенно зависит как высота температуры, так и время, необходимое для достижения определенной температуры в печи. Муфельные силитовые электрические печи дают несколько более низкую температуру (рис. 45); однако для лабораторных исследований они вполне достаточны и представляют значительные удобства.

При прокаливании паяльной лампой или простой горелкой можно перевести в разложимое кислотой состояние только такие мергели, в которых отношение известки к глинистым веществам не ниже 3:1. Таким образом сырьевая цементная смесь, имеющая отношение 2:1, уже не поддается такому превращению в этих условиях.

В таком случае прибегают к сплавлению в платиновом тигле 1 ч. данного материала с 5 ч. углекислой щелочи. Для этого приготавливают измельченную в тонкий порошок смесь из равных частей безводных соды и поташа. Вместо смеси можно брать и одну соду, тогда при сплавлении легче избежать разбрызгивания массы, но зато требуется более высокая по сравнению со смесью температура.

Названной вполне сухой смеси отвешивают около 10 г и помещают в большой платиновый тигель так, чтобы материал заполнял не более 1/3 тигля. Затем небольшой роговой ложечкой делают в порошке углубление, куда и всыпают осторожно 2 г сплавляемого материала. Последний таким образом не прилет в соприкосновение со стенками тигля, не смешавшись предварительно со щелочами. Вся масса размешивается толстой

платиновой проволокой до тех пор, пока смесь не получится одноцветной. Затем уплотняют всю массу, постукивая дном тигля о стол: это необходимо для достижения хорошего спекания массы. При рыхлом состоянии массы достигнуть спекания гораздо труднее.

Приготовив таким образом смесь, тигель устанавливают на треугольник и, закрыв его крышкой, начинают подогревать на слабом огне. Огонь по-немногу усиливают, пока минут через 15 смесь в тигле не обратится в раскаленную докрасна спекшуюся массу. В состоянии спекания, при ко-

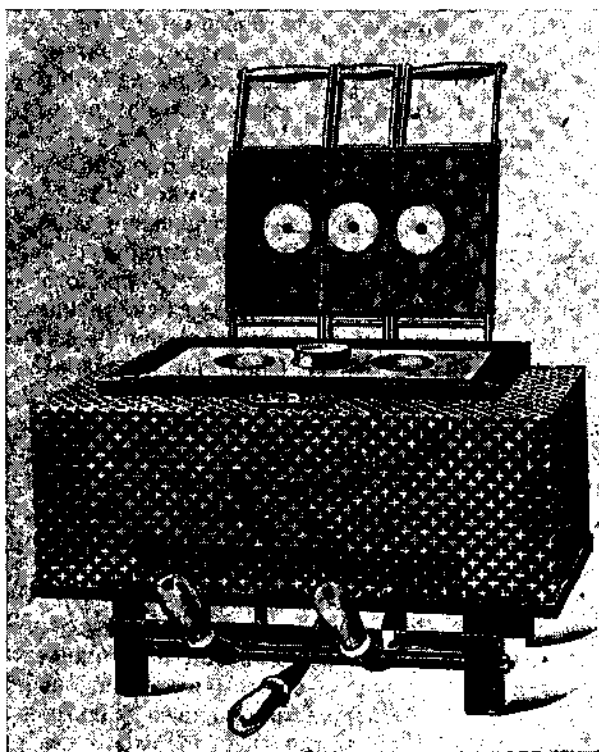


Рис. 45. Лабораторная электрическая печь.

тором собственно и происходит разложение испытуемого материала, массу держат около 30 мин., не усиливая огня, а затем уже на паяльной горелке расплавляют ее при светлокрасном калении. При этом надо следить, чтобы содержимое тигля по возможности не разбрызгивалось и не попадало на крышку тигля.

После такой процедуры массу охлаждают, затем ставят тигель с содержимым в платиновую или фарфоровую чашку и обливают его дистиллированной водой. Охлаждать еще горячий тигель погружением в холодную воду и выдавливать сплавленную массу, нажимая на стенки тигля, не рекомендуется ¹.

¹ По Гиллебранду (имеется русский перевод) во время охлаждения следует держать тигель в наклонном положении, производя при этом кругообразные движения; при этом расплавленная масса застывает, располагаясь тонким слоем по дну и стенкам тигля. Тогда остывшую массу очень легко вынуть без потери. Необходимо, чтобы фарфоровые чашки не имели царапин и других повреждений глазури

е) Дальнейшая обработка

Дальнейшая обработка разложенного материала заключается в выпаривании, фильтровании, промывке, отборке части раствора для анализа и наконеч в прокаливании осадков и их взвешивании.

Выпаривание. Если разложение материала производится одним только прокаливанием, то для дальнейшей обработки просто смывают содержимое тигля в чашку. Когда же разложение производится при помощи сплавления с углекислыми щелочами, то после этого необходимо в чашке осторожно размягчить полученную массу водою, а затем подвергнуть ее действию соляной кислоты. При этом невозможно избежать значительного объема жидкости воды. Избыток воды затем удаляют посредством выпаривания на водяной бане.

Частичное или полное выпаривание можно производить на асбестовой пластинке и даже на открытом огне, следя однако за тем, чтобы материал не выпарился досуха. Но если требуется выпаривание досуха, его следует производить только на водяной бане. Однако температура последней очень невысока, а иногда необходимо бывает достигнуть полного высыхания материала. В таком случае, например при определении кремнекислоты, чашку (лучше всего с круглым дном и диаметром около 14 см) помещают еще в сушильный шкаф или на песочную баню; но предварительно материал должен быть превращен в сухой порошок. Это достигается тем, что под конец выпаривания появляющиеся в массе комки часто размешивают стеклянной палочкой или платиновой проволокой с целью предупредить образование поверхностных корок, препятствующих удалению остатков влаги. Когда наконец содержимое чашки окончательно высушено, его обрабатывают опять водою или кислотой, смотря по надобности; большей частью при этом только часть материала переходит в раствор.

Это частичное растворение анализируемого материала может производиться как после прокалывания, так и растворением того или иного вещества без предварительного прокалывания в той или иной кислоте. В последнем случае дальнейшая операция состоит в том, что полученный нерастворимый остаток отделяют от жидкости помощью фильтрования.

Фильтрование. Для фильтрования необходимо иметь воронки, фильтровальную бумагу, измерительные колбы и стаканы. Воронка должна иметь гладкие и ровные стенки с поверхностью, возможно близкой к конической. В противном случае нет возможности плотно вложить фильтр; между тем только ровно и плотно вложенные фильтры дают хорошее и быстрое фильтрование. Так как скорость фильтрования зависит от силы отсасывания, то необходимо следить за тем, чтобы стекающая струя была непрерывной, не обрывалась где-либо, например при переходе из трубки воронки в стакан или колбу. Для этой цели рекомендуется применять воронки со срезанным наискось концом, который при фильтровании должен плотно касаться стенки сосуда, в котором собирается фильтрат.

Вместо обыкновенных фильтров иногда применяют тигель Гуча, присоединенный к водоструйному насосу. Эти тигли изготавливаются из кварца или фарфора и имеют дно с отверстиями наподобие сита. На дно укладывается двойной фильтрующий слой из асбеста; первый слой должен состоять из длинных волокон, а второй—из коротких. Асбест должен быть тщательно промыт соляной кислотой. Затем сверху кладется сито и наконеч—еще один слой коротковолокнистого асбеста. Приготовленный таким образом

тигель тщательно промывают дистиллированной водой, высушивают и взвешивают. Фильтрование производится обычным порядком, затем тигель с содержимым высушивают и прокалывают¹.

Фильтровальная бумага для количественного анализа применяется только самого лучшего качества, нарезанная кругами, с определенным весовым содержанием золы.

Если фильтруют через бумагу, применяя небольшое искусственное отсасывание, то во избежание разрыва конец фильтра должен быть усилен. Для этого в воронку вкладывают предварительно небольшой бумажный фильтр, а еще лучше—дырчатый платиновый конус с тонкими стенками².

Измерительные колбы и стаканы. Фильтрат собирают в сосуд для дальнейшей обработки. Для этого служат измерительные колбы и стаканы. Если жидкости немного и все ее количество назначено только для той или иной аналитической операции, то ее собирают непосредственно в стакан такого размера, чтобы фильтрат вместе с промывными водами занимал не более половины стакана. В противном случае лучше заранее уменьшить объем жидкости выпариванием. Смотря по надобности, применяют стаканы или эрленмейровские колбы.

Если в данном растворе требуется определить несколько составных частей, то фильтрат собирают в измерительную колбу, добавляя воды до отметки. Измерительные колбы никогда не следует нагревать; необходимо избегать даже нагревания от горячего фильтрата; в таких случаях следует предотвратить возможное нагревание, влив в колбу заранее немного холодной воды. Повторное нагревание очень легко вызывает деформации, обычно связанные с увеличением объема колбы. Вот почему необходимо время от времени проверять емкость измерительной колбы. Это производится следующим образом. Точно взвешенную пустую и высушенную колбу наливают до метки дистиллированной водой с температурой 17,5—18,0° Ц. При этом содержимое колбы, имеющей например объем, равный 1 л, должно весить 1 кг. Если это не так, то в колбу, вновь высушенную и вновь взвешенную, отвешивают точно 1 кг воды вышеуказанной температуры и, повторив эту операцию для контроля несколько раз, наносят окончательно новую метку с помощью алмаза.

Стаканы и измерительные колбы следует держать в абсолютной чистоте. Для мытья стаканов надо брать теплую подкисленную соляной кислотой воду и щетки. Колбы очищают, насыпая в них горсть нащипанной фильтрованной бумаги, затем наливают столько разведенной соляной кислоты, чтобы после длительного встряхивания получилась однородная масса, начисто снимающая частицы пыли и жира со стенок.

После этого сосуд споласкивают водой, дают ей стечь и высушивают струей слабо подогретого воздуха.

Надо быстро дать стечь воде из вымытых сосудов перед сушкой их теплым воздухом, так как иначе получающиеся на стенках капли воды лишь с трудом удаляются при длительной продувке.

¹ В последнее время применяют также фарфоровые тигли с дном, состоящим из пористой массы; такие тигли быстро фильтруют и очень удобны для определения последних осадков. (См. „Keramische Rundschau“, 1926, стр. 460.)

² Для отфильтровки очень тонких, а также имеющих коллоидальный характер осадков применяют, согласно Зигмонди и Бахману, так называемые мембранные фильтры. (См. „Zement“, 1922, № 98, статью Гарта „Определение кремниевой кислоты посредством мембранных фильтров.“)

Надо стараться, чтобы фильтрование происходило быстро. Так, осажденный глинозем требует очень быстрого фильтрования, иначе он обрастает в клейкую массу.

Во время производства фильтрования следует держать фильтр почти доверху полным, чтобы по возможности использовать всю его поверхность. Наоборот, при последующем промывании осадка для удаления из него следов раствора каждой новой порции промывающей жидкости дают стечь совершенно, чтобы на фильтре не получились при повторной добавке промывающей жидкости разведенные растворы из остающейся на фильтре части предыдущей порции, так как это задерживает окончательную промывку осадка. Промывание производится холодной или горячей водой при помощи промывалки. При этом необходимо следить, чтобы струя воды попадала на верхний край фильтра, но не выше его, в противном случае в этих местах некоторое количество осадка, например щавелевокислой извести, сернокислого бария и т. п. попадет на стенки воронки.

Все же если это случайно произойдет, необходимо собрать следы осадка со стенок, вытереть их небольшим кусочком влажной фильтровальной бумаги или самим влажным фильтром при выемке его из воронки по окончании фильтрования. Взмучивать на фильтре осадок струей воды вообще надо избегать; таким приемом пользуются только при промывании глины ема.

Наконечник для трубки, выбрасывающей струю воды из промывалки, присоединяется к ней отрезком резиновой трубки. Таким образом наконечник получает подвижность, что позволяет направлять струю на требуемое место. Промывалки для осадков магнезии и щелочей не должны иметь такого резинового отрезка, так как резина разъедается употребляемой для их промывания жидкостью. Для промывания горячей водой горло колбы для удобства покрывают плетенкой.

Наряду с описанными приемами следует упомянуть еще один, позволяющий определить количество осадка в жидкости, а именно — центрифугирование. Этим чрезвычайно ускоренным способом отделения осадка избегается последующее высушивание и прокаливание; осаждение производится в сосуде специальной формы, переходящем в узкую трубку, снабженную делениями. Таким образом можно определить объем, занимаемый осадком, находящимся в жидкости и получаемым всегда из одной и той же определенной навески вещества при условии, что объем осадка доводится до минимума при помощи быстрого центрифугирования некоторым определенным числом оборотов. При анализе материалов, применяемых в производстве вяжущих материалов, к такому приему прибегают только в особых случаях; так например, при частых повторных определениях содержания магнезии, когда это вызывается наличием прослоек доломита в карьере известняка.

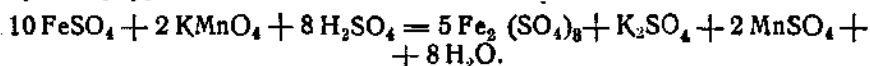
Отборка части раствора. Собрав фильтрат и промывные воды в измерительную колбу и дополнив ее водою до метки, основательно взбалтывают содержимое в продолжение 3 мин., а затем набирают пипеткой из колбы соответствующие количества раствора для анализа, например из литровой колбы порциями по 300 см³. Такой способ проще, быстрее и надежнее по сравнению с тем, когда например для каждого из трех определений берут три отдельные навески и производят три анализа раздельно, так как при этом будет больше источников для ошибок, чем при тщательной отборке проб из общего количества раствора; уже одно только различие в концентрации растворов служит серьезным источником ошибок.

Высушивание, прокаливание и взвешивание. Для дальней-

шей обработки осадка иногда высушивают сначала фильтр с осадком. Однако чаще всего в этом нет надобности, даже когда дело касается так легко распыляющейся кремнекислоты; только осадок магнезии должен подвергаться высушиванию. Это необходимо в данном случае потому, что иначе совсем не удастся озолить фильтровальную бумагу. Поэтому большинство осадков помещают вместе с фильтром в предварительно прокаленный и взвешенный платиновый тигель; просушивают над слабым огнем и наконец озолотят и прокаливают. После охлаждения тигель с содержимым взвешивают, вычитая вес тигля, определяют вес содержимого. Если бумага для тигля была беззольной, хорошего качества, вес золы можно не учитывать ввиду его крайней незначительности.

ж) Титрование

Вместо весового анализа, общие приемы которого описаны выше, для технического контроля производства с успехом применяется объемный метод анализа. Этот способ дает очень точные результаты и в то же время является быстрым. Сущность объемного анализа заключается в определении количества вещества, содержащегося в растворе некоторого вещества прилитием другого раствора совершенно определенной концентрации (титра); благодаря этому имеется количественный показатель действия данного реактива, заключающегося в титрованном растворе. Таким образом объемный анализ позволяет количественно определить вещество при помощи реакции обмена между раствором исследуемого вещества, с одной стороны, и раствором надлежащего реактива заранее известной концентрации (титр) — с другой, причем измеряют объем израсходованного для реакции раствора. Если например мы к раствору сернокислой закиси железа по каплям будем добавлять раствор марганцевокислого калия, то обнаружим, что при перемешивании красный цвет последнего исчезает; это означает, что здесь происходит химическая реакция — закисное железо переходит в окисное по следующему уравнению:



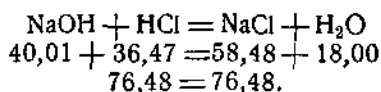
Конец этой реакции мы заметим по тому моменту, когда одна лишняя капля вдруг окрасит бесцветную жидкость в слабый красный цвет. Такие реакции, связанные с самостоятельной переменной окраски, бывают только в единичных случаях титрования: в большинстве же приходится применять специальный индикатор (указатель), изменение цвета которого резко указывает на конец реакции. Например при титровании извести соляной кислотой таким индикатором является фенолфталеин.

Приготовление титрованных растворов производится несколькими способами.

Отвешивают определенное количество реактива и растворяют его в определенном объеме воды (обычно в 1 л)¹; или же определяют содержание реактива в растворе приближенной концентрации, титруя им несколько раз точно отвешенное количество того вещества, которое в дальнейшем придется определять с помощью данного титрованного раствора.

¹ В научном смысле слова под 1 л разумеют тот объем, который занимает отвешенный в безвоздушном пространстве 1 кг дистиллированной воды при максимальной ее плотности (при + 4° С). При обычной лабораторной работе, за нормальный литр принимают объем, занимаемый 1 кг воды при 17,5° С. (Мор).

Удобнее всего титрованные растворы готовить так называемые нормальные; нормальный раствор содержит в 1 л 1 эквивалент вещества, выраженный в граммах (граммэквивалент). Так например, нормальный раствор соляной кислоты содержит 36,47 г HCl в 1 л, нормальный раствор едкого натра содержит 40,01 г NaOH в 1 л и т. д. Оба эти вещества молекулярно эквиваленты, они взаимно нейтрализуются при равных взятых количествах, например:



В этом случае на каждый 1 см³ нормального раствора соляной кислоты приходится 1 см³ нормального раствора едкого натра.

Вместо нормальных растворов можно при надобности готовить 1/2, 1/3, 1/10 растворов¹.

Работая с кислотой и щелочью, необходимо иметь в виду, что последняя при кипячении заметно действует на посуду, причем стекло разлагается и в раствор попадает небольшое количество щелочей. Поэтому следует применять только иенское стекло, проверяя его время от времени на растворимость (Lunge, Zeitschr. f. angew. Chemie, 1904, 17, 195).

Лаборатории, анализирующие вещества, относящиеся к производству вижущих материалов, из многих методов объемного анализа пользуются собственно только двумя: кроме уже упомянутого способа определения CaO или CaCO₃ при помощи HCl и NaOH еще применяется объемное определение железа, в одной из трех его разновидностей — титрованием марганцевокислым калием, хлористым оловом и серноватистокислым натрием.

а) Нормальная соляная кислота. Для приготовления 1/1 соляной кислоты поступают согласно Лунге („Chem.-techn. Untersuchungsmethoden“, 1910, I, 109) следующим образом. Сначала готовят раствор чистой соляной кислоты уд. весом около 1,020, получая таким образом предварительный раствор, который несколько крепче нормального (36,47 г HCl в 1 л). Этим раствором наполняют бюретку и титруют им навеску w грамм химически чистой, прокаленной при 300° С соды. Если бы раствор был точно нормальным, то для титрования израсходовалось бы x см³ кислоты, причем $x = \frac{w}{0,053}$. Однако ввиду того что при указанном уд. весе раствор крепче, чем нормальный, то кислоты израсходуется несколько меньше, а именно: y см³ = $\frac{w}{0,053}$. Для того чтобы определить, как сильно нужно разбавить наш предварительный раствор, чтобы из него получился точно нормальный, предположим, что: $u = \frac{1000 x}{y}$; это равенство выражает, что u есть то число кубических сантиметров предварительного раствора, которое нужно взять в измерительный цилиндр, чтобы, доведя объем раствора добавкою воды до 1000 см³, получить нормальный раствор.

Полученный нормальный раствор кислоты необходимо несколько раз проверить титрованием нескольких навесок прокаленной чистой соды; это позволит установить, правилен ли состав кислоты, т. е. действительно ли

¹ Уместно упомянуть о том, что в продажу выпускаются в запаянных трубках, содержащих совершенно точные навески вещества для изготовления титрованных растворов (так называемые „Fixanal“). Заключение в трубочке жидкое или твердое вещество растворяют в измерительной колбе до определенного объема и получают таким образом раствор желаемой степени нормальности.

$x = y$. Другим контрольным испытанием может служить определение содержания хлора в азотнокислом серебре. При этом 10 см³ кислоты (равных 0,3647 НСl) должны дать 1,4334 г AgCl.

При отвешивании соды необходимо следить, чтобы для каждого титрования взято было не менее 2,0 г и не более 2,5 г. Тогда при вполне точно нормальной кислоте хватит бюретки в 50 см³, соответствующей 2,65 г соды. Контрольные анализы не следует производить с меньшим, чем указано, количеством кислоты и соды, чтобы относительно не увеличивать неизбежные при титровании ошибки.

Для уверенности в правильности подсчетов при контрольных анализах рекомендуется вычислять после каждого опыта коэффициент для нормальной кислоты следующим образом. Для отвешенного количества соды вычисляют необходимый теоретический объем кислоты и делят его на действительно израсходованное число кубических сантиметров. Полученное частное дает число, на которое надо умножить результат титрования, чтобы получить взятое количество соды. Положим, отвешено 2,5 г соды, на которую израсходовано при титровании 47,00 см³ кислоты, тогда как нормальной кислоты потребовалось бы $\frac{2,500}{0,053} = 47,17$ см³. Это показывает, что кислота немного крепче нормы, и отсчет на бюретке требуется умножить на коэффициент $\frac{47,17}{47,00} = 1,0036$, чтобы привести его к нормальной кислоте.

б) Нормальный раствор едкого натра. Для получения 1/1 N раствора едкого натра отвешивают 50 г чистейшего едкого натра, растворяют его до объема в 1 л и титруют 50 см³ этого „предварительного“ раствора ранее приготовленной точно нормальной соляной кислотой. Для этого потребуется более чем 50 см³ кислоты. Обозначим израсходованное количество кубических сантиметров кислоты через n . Число кубических сантиметров нашей „предварительной“ щелочи, которую надо развести до 1 л чистой водой, чтобы получить точно нормальный едкий натр, определяют из формулы $\frac{50,000}{n}$ (Lunge, 1910, 1, 120).

Раствор едкого натра жадно поглощает углекислоту. Поэтому рекомендуется не готовить его в излишне больших количествах и сохранять в хорошо закупоренном сосуде. Закрывать сосуд обыкновенной корковой или стеклянной пробкой недостаточно; первая недостаточно непроницаема, а стеклянная от щелочи крепко срастается с горлышком. Заливка парафином также не рекомендуется, так как кусочки парафина при открывании легко могут попасть в раствор. Лучше всего брать сосуд, закрываемый резиновой пробкой хорошего качества, со стеклянным колпаком.

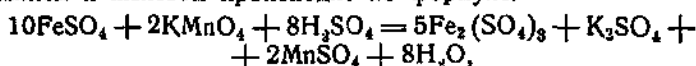
На цементных заводах для контроля сырой смеси требуются большие количества растворов соляной кислоты и едкого натра. Поэтому их сразу изготавливают в значительном количестве и сохраняют в соответствующих больших бутылках. При этом необходимо следить, чтобы бутылки были защищены от нагревания; кроме того их надо время от времени встряхивать, чтобы капли осевшего на стенках водяного пара опять можно было ввести в титрованный раствор; в противном случае концентрация его будет неправильной.

в) Марганцевокислый калий. Реакция, происходящая при титровании марганцевокислым калием, заключается в окислении; она применяется особенно часто для определения содержания железа и выражается следующим уравнением:



Таким образом KMnO_4 в кислом растворе отдает $\frac{5}{8}$ своего кислорода.

Обычно берут N 10 раствор, тогда 1 л его окисляет $\frac{1}{10}$ атома железа, т. е. 1 см³ соответствует точно 0,006 г Fe, или 0,0080 г Fe_2O_3 . Для приготовления такого раствора отвешивают немного больше теоретически нужного количества соли. Так как обменная реакция между марганцево-кислым калием и железом происходит по формуле:

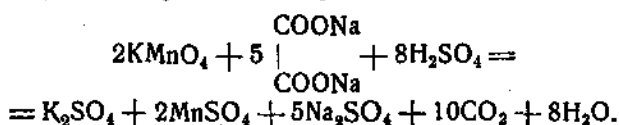


10 ч. Fe = 2 ч. KMnO_4 , так что N/10 раствор должен содержать в 1 л $\frac{2 \cdot 158}{100} = 3,160$ г чистого марганцевокислого калия. Вместо этого отвешивают около 3,2 г и растворяют в 1 л теплой воды; раствор хранят в течение недели и затем начинают его проверку.

Для контрольного анализа, согласно Лунге, применяют метод Зеренсена, состоящий в титровании шавелевокислого натрия¹⁾.

Для титрования растворяют точно отвешенное количество этого вещества, а именно для N/10 марганцевокислого калия 0,28 г в 200 см³ воды, добавляют около 20 см³ 10%-ной серной кислоты, подогревают до 70°C и титруют до появления остающейся окраски. Титрование должно происходить при повышенной температуре (5)–60°C, потому что в холодном состоянии реакция протекает слишком медленно, и падающие в жидкость капли, особенно вначале, не сразу теряют окраску.

Химическая реакция протекает по уравнению:



Следовательно 1000 см³ N/10 раствора марганцевокислого калия соответствует 6,7 г шавелевокислого натрия, или на 1 г этой соли нужно 149,26 см³ N/10 раствора марганцевокислого калия.

Очень часто для контрольного анализа применяется еще метод титрования по металлическому железу. Для этого берут самую тонкую чистую так называемую цветочную стальную проволоку, содержащую в среднем только около 0,35% посторонних примесей, главным образом углерод; кроме того можно пользоваться чистым электролитным железом. Соль Мора, т. е. двойная серноаммониевая соль закиси железа, не рекомендуется вследствие легкой окисляемости на воздухе и нестойкости содержания воды.

Сначала готовят (по Маргериту) раствор закиси железа; для этого 10,035 г мягкой цветочной или струнной проволоки (содержащей 0,35% углерода), т. е. 10,000 г чистого железа, помещают в колбу (надежнее всего шарообразную) емкостью в 1 л, добавляют 1 г двууглекислого натрия, наливают около 300 см³ разведенной серной кислоты (1:5) и быстро закрывают колбу вентилем Бунзена. Потом осторожно подогревают смесь до полного растворения железа, охлаждают и доливают прокипяченной дистиллированной водой до метки. В полученном растворе (нормальный раствор железа) каждый 1 см³ содержит точно 0,01 г = 1% железа в форме закиси.

¹⁾ „Z. anal. Ch.“ 42, 333, 1903.

Затем пипеткой отбирают 10 см³ этого раствора в стакан, разбавляют 100—150 см³ прокипяченной воды и медленно приливают марганцево-кислый калий, непрерывно помешивая жидкость стеклянной палочкой.

Реакция закончена, когда жидкость приобретает слабозеленую окраску, которая держится в течение 4—5 мин.

Марганцевокислый калий дает довольно стойкий раствор; однако его необходимо защищать от действия света, для чего его сохраняют по возможности в сосуде из темного стекла и в темном месте. Раствор постепенно разлагается, выделяя перекись марганца; поэтому необходимо его время от времени проверять.

Марганцевокислым калием следует титровать сернистые растворы, так как соляная кислота отчасти разлагает его с выделением свободного хлора. Точного результата в этом случае можно достигнуть, если согласно указаниям Кесслер-Циммермана прибавить к испытуемой жидкости около 20 см³ раствора, содержащего 200 г кристаллического сернистого марганца в 1 л.

г) Хлористое олово. Применение этого реактива основано на его способности восстанавливать окись железа и, соответственно, хлорное железо. Для приготовления хлористого олова нагревают согласно Фрезениусу чистое порошкообразное олово с соляной кислотой удельного веса 1,12, пока при избытке олова не прекратится выделение водорода. Охлажденный раствор фильтруют. Затем, добавив тройной объем соляной кислоты и шестикратный объем воды, получают раствор концентрации, очень близкой к требуемой; при хранении раствор следует оберегать от доступа воздуха.

Для контроля такого раствора хлористого олова пользуются раствором хлорного железа известной концентрации; берут 10,035 г чистой цветочной проволоки, растворяют ее соляной кислотой в колбе, окисляют бертолетовой солью, удаляют излишек хлора осторожным кипячением и разводят до объема, равного 1 л. Затем готовят раствор иода с подкислым калием, содержащий в 1 см³ около 0,01 г иода.

Необходимый в качестве индикатора раствор крахмала лучше всего каждый раз готовить заново; для этого берут 3 г картофельного крахмала, взмучивают в небольшом количестве воды и понемногу вливают в фарфоровую чашку, содержащую 300 см³ кипящей воды, продолжая кипятить до тех пор, пока раствор не сделается почти прозрачным. Затем дают жидкости отстояться в высоком стакане, прозрачную часть отфильтровывают и насыщают поваренной солью. Этот раствор при хранении его в прохладном месте держится продолжительное время, но при появлении на поверхности плесени его выбрасывают (Lunge, 1910, I. 139).

Далее отмеривают 2 см³ раствора хлористого олова, добавляют немного клейстера и 5 см³ воды и титруют иодным раствором до сохранения жидкости синего цвета. При этом замечают израсходованное количество раствора; на 1 см³ раствора хлористого цинка идет приблизительно 5 см³ иодного раствора.

Затем отмеривают 50 см³ раствора хлорного железа, добавляют небольшое количество соляной кислоты и нагревают небольшую коническую колбу с жидкостью на асбестовой подкладке до кипения. Из бюретки прибавляют раствор хлористого олова сначала большими порциями, потом постепенно все меньшими, с известными перерывами. Жидкость должна все время слегка кипеть. Желтая окраска по мере восстановления постепенно пропадает; под конец раствор хлористого олова добавляют только отдельными каплями и дают ему достаточное время прореагировать. Таким образом нетрудно про-

следить конец восстановления, так как переход раствора от желтоватой окраски к бесцветной нетрудно подметить.

Затем раствор охлаждают, добавляют немного крахмального раствора и приливают из бюретки по каплям раствор иода до тех пор, пока синяя окраска не перестанет исчезать. По объему израсходованного раствора иода, соответственно ранее найденному отношению к раствору хлористого олова, вычисляют избыточное количество хлористого олова. Если теперь вычесть этот излишек из всего взятого для восстановления раствора хлористого олова, то найдем тот его объем, который необходим для перевода 0,5 г железа из окиси в закись (Фрезениус, I, 288).

д) Серноватистокислый натрий (тиосульфат натрия). Если воздействовать небольшим избытком иодистого калия в водном растворе при умеренном нагреве на хлорное железо, то вследствие восстановления получается хлористое железо, хлористый калий и свободный иод, при избытке иодистого калия остающийся в растворе: $\text{Fe}_2\text{Cl}_6 + 2\text{KJ} = 2\text{FeCl}_2 + 2\text{KCl} + 2\text{J}$.

Определив, титруя раствором серноватистокислого натрия, количество свободного иода, найдем количество железа, находившееся в форме окиси или хлорного железа.

Согласно приведенному уравнению, одному атому иода соответствует 1 атом железа, или соответственно, одна молекула закиси, или половина молекулы окиси железа; таким образом 1 см³ N/10 серноватистокислого натрия равен 0,0056 г железа, равен 0,0072 г закиси железа, равен 0,0080 г окиси железа. Реакция происходит по следующему уравнению: $2\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 2\text{J} = 2\text{NaJ} + \text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$.

Необходимый для этого раствор серноватистокислого натрия готовят так. Продажный „химически чистый“ препарат несколько раз перекристаллизуют из водного раствора (по Мейнеке). Затем полученные кристаллы тонко растирают с крепким спиртом. Полученную кашеобразную массу фильтруют под разрежением, промывая чистейшим эфиром, затем просасывают струю воздуха, пока почти весь эфир не испарится, снимают с фильтра порошок, прикрывают его бумагой и оставляют на сутки на воздухе; затем всыпают препарат в герметически закрывающуюся склянку.

Чистый серноватистокислый натрий должен растворяться в воде совершенно без всякой мути, не должен давать осадка с хлористым барием и розовой окраски с фенолфталеином (Лунге—Берль).

Для N/10 раствора берут 24,824 г чистой кристаллической соли ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) растворяют в хорошо прокипяченной воде и разводят такой же холодной водой до объема 1 л.

Иодистый калий не должен содержать иодноватокислого калия. Это контролируется прибавлением к раствору иодистого калия нескольких капель раствора крахмала, а затем — разведенной серной кислоты; при наличии иодноватой кислоты жидкость окрасится в синий цвет: $5\text{HI} + \text{HJO}_3 = 6\text{J} + 3\text{H}_2\text{O}$. Кроме того необходим раствор хлорного железа определенной концентрации и свежий раствор крахмала, как это уже описано при изложении метода анализа с хлористым оловом.

Для определения титра серноватистокислого раствора натрия (тиосульфата) в две небольшие колбы наливают по 10 см³ (согласно указаниям Фрезениуса, I, 292) нормального раствора хлорного железа. Колбы должны быть с тщательно притертыми стеклянными пробками; емкость их 100—150 см³. Чтобы раствор имел только слабую кислую реакцию, прибавляют

разведенный раствор едкого натра до тех пор, пока не начнут появляться отдельные хлопья гидрата окиси железа, а затем, — немного соляной кислоты (около $0,5—1,0 \text{ см}^3$ удельного веса 1,10) так, чтобы раствор сделался прозрачным. После этого раствор будет иметь не буро-красную, а скорее темножелтую окраску. Затем в каждую колбу прибавляют приблизительно по 3 г иодистого калия, тотчас плотно закрывают пробками и сверху накрывают и завязывают влажной пергаментной бумагой (можно завязывать одной только проволокой или крепкой ниткой). Далее, колбы нагревают до $50—60^\circ$. Для этого лучше всего подвесить их над слабо кипящей паровой баней; тогда они будут подогреваться только поднимающимся паром воды. Восстановление хлорного железа заканчивается через 15—20 мин.; содержимое в колбах получает темный буро-красный цвет. После полного охлаждения жидкость начинают титровать, добавляя из бюретки тиосульфат до тех пор, пока раствор не приобретет слабую винножелтую окраску; затем прибавляют $1\frac{1}{2}—1 \text{ см}^3$ раствора крахмала и заканчивают титрование моментом исчезновения синей окраски. Израсходованный объем раствора тиосульфата соответствует количеству иода, вытесненного 0,1 г железа, или 0,1 г металлического железа, если последнее присутствовало до анализа в виде хлорного железа.

При анализе растворов с неизвестным содержанием железа поступают точно так же, причем необходимо, чтобы все железо было в форме окисной (хлорной) соли, чтобы раствор не содержал свободного хлора или азотной кислоты и наконец, чтобы содержание железа не превышало значительно 0,1 г. При проведении анализа по описанному способу согласно Фрезениусу результаты получаются хорошие также и при небольших количествах железа. Одинаковая пригодность описанных выше методов титрования еще недавно вновь подтверждена Калама („TIZ“, 12, 357); однако метод с марганцевокислым калием наиболее прост.

Для выполнения работ по объемному анализу необходимы соответственная градуированная посуда — мензурки, измерительные колбы, пипетки и бюретки.

Градуирование измерительных цилиндров производится двояким способом: их градуируют „на наполнение“ или „на выливание“. В первом случае емкость их действительно равна показанному меткой числу объемных единиц жидкости. Когда же такой сосуд опоражнивают, то из него вытекает не все его содержимое полностью, так как часть жидкости удерживается на стенках сосуда вследствие смачивания. Следовательно совершенно удалить содержащийся в цилиндре тот или иной раствор можно только, ополаскивая цилиндр после выливания.

При нанесении меток на цилиндры, градуированные „на выливание“, это остающееся на стенках количество жидкости учитывается; таким образом емкость цилиндров несколько больше и при выливании из них вытекает количество жидкости, указанное на отметке. Поэтому в этом случае нет надобности в последующем ополаскивании. Эти цилиндры — удобнее, однако первые — надежнее.

Измерительными колбами служат обычные колбы, снабженные меткой, точно показывающей их емкость в кубических сантиметрах. Большей частью наносится только эта одна метка, и таким образом измерительные колбы представляют измерительные сосуды, градуированные „на наполнение“.

Пипетки также служат для измерения наполнением, так их применяют для того, чтобы набрать из сосуда определенное, обычно одно и то же, количество жидкости. Пипетки употребляются с одной верхней отметкой,

но также и с двумя (верхней и нижней), первые — более удобны, вторые — более точны.

Для производства титрования пользуются бюретками с делениями до $1/10$ см³. Для регулирования скорости вытекания на нижнем конце делается притертый кран. Последний не следует смазывать вазелином, как это иногда делают: он должен быть только плотным и хорошо притертым.

В случае надобности многочисленных титрований применяются автоматически устанавливающиеся на нуль бюретки.

Отсчет объема жидкости в бюретке производится непосредственно и является достаточно надежным без применения каких-либо приборов, исключая разве лупы. При этом глаз наблюдателя должен находиться на высоте мениска, и отсчет надо делать не менее чем через 1 мин. после окончания титрования, чтобы дать стечь небольшому количеству содержавшегося на стенках раствора. После, как всех измерительных сосудов производится так же, как и поверка нормального литра: содержимое их выпускают во взвешенный сосуд и затем опять взвешивают на точных весах.

Аналитическая практика в области вяжущих материалов требует сравнительно небольшого количества *реактивов*. Самые необходимые из них:

Соляная кислота (удельный вес 1,19), химически чистая для анализа.

Соляная кислота, неочищенная, для отмучивания и для чистки посуды.

Азотная кислота концентрированная, химически чистая для анализа.

Серная кислота концентрированная, химически чистая для анализа.

Серная кислота, неочищенная для чистки и пр.

Аммиак — 25%.

Бром или бромная вода,

Азотно-серебряное серебро, 5% -ный раствор с добавкой нескольких кубических сантиметров азотной кислоты.

Уксусная кислота, ледяная.

Эфир и спирт.

Затем химически чистые: углекислый калий, азотнокислый калий, кислый сернокислый калий, углекислый натрий, двууглекислый натрий, хлористый натрий, едкий натр (в палочках), фосфорнокислый натрий, уксуснокислый натрий, углекислый аммоний, хлористый аммоний, уксуснокислый аммоний, шавелевокислый аммоний, хлористый барий, хлористый кальций, натронная известь, магнезия (MgO), шавелевая кислота, роданистый калий, нормальные растворы, индикаторы и пр.

Из газообразных реактивов применяется главным образом углекислота, которую получают при помощи общезвестного аппарата Киппа.

2. Методы химического и технического анализа сырых материалов, готового продукта и топлива

Методы анализа вяжущих веществ довольно однообразны и в основном сходны с методом анализа глины. Даже способы определения количества воды и углекислоты одинаково, пожалуй, могут применяться как при анализе доменных шлаков, так и глины. Приемы для анализа гипса, известняков и извести, цементов и сырой для них смеси совершенно совпадают с приемами для анализа глин, с тою лишь разницей, что последние требуют обыкновенно большего количества подготовительных процедур — отмучивания, предварительной химической обработки и т. п.

Удобна следующая классификация отдельных определений:

1. Определение естественной влажности сырых материалов.

- II. Определение песка отмучиванием.
- III. Погряз при прокаливании высушенного вещества;
 - 1) определение содержания воды;
 - 2) определение содержания углекислоты;
 - а) весовым способом;
 - б) объемным способом.
- IV. Точный анализ отмученного глинистого вещества;
 - 1) определение растворимой и нерастворимой части;
 - а) растворимая часть;
 - б) рациональный анализ;
 - 2) сплавление с углекислым калием — натрием;
 - а) кремнекислота;
 - б) глинозем и окись железа;
 - в) закись марганца;
 - г) известь;
 - д) магнезия;
 - е) отделение глинозема от окиси железа;
 - ж) серная кислота.
- V. Определение закиси железа от окиси.
- VI. Определение серы.
- VII. Определение и отделение щелочей.
- VIII. Определение двуокиси титана.
- IX. Стандартный метод анализа портланд-цемента.
- X. Сокращенные и ускоренные способы анализа;
 - 1) определение количества магнезии (по способу Зегера).
 - 2) определение нерастворимого остатка в сырой цементной смеси.
 - 3) определение гидравлического модуля цемента.
 - 4) титрование извести;
 - 5) ускоренный способ определения извести в сырой смеси;
 - 6) определение нерастворимого остатка в цементе.
- XI. Определение ангидрита в гипсе.
- XII. Анализ бетона.
- XIII. Определение доменных шлаков в цементе, анализ по методу тяжелых жидкостей.
- XIV. Анализ топлива и дымовых газов.
- XV. Исследование воды для питания котлов.
- XVI. Пробный обжиг.
- XVII. Свободная известь в затвердевшем портланд-цементе.

ЕСТЕСТВЕННАЯ ВЛАЖНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ

Определение естественной влажности в только что добытом материале производится путем просушивания довольно значительного количества его (не менее 100 г) на подогреваемой железной пластинке или в сушильном шкафу; температура при этом не должна превышать 105—110° С. Известняки в зависимости от их плотности и пористости содержат обыкновенно 3—12% воды, глина — до 30%, мел — до 45%. Высушенное вещество либо может быть использовано для дальнейшего анализа непосредственно либо требует предварительного измельчения в железной ступке и последующего растирания в фарфоровой или агатовой ступке до тех пор, пока не будет заметно скрипения под пестом еще остающихся более крупных зерен. При более значительных количествах материала для этой цели следует пользоваться лабораторной шаровой мельницей.

ОТМУЧИВАНИЕ

Отделение имеющегося во всякой глине песка от собственно глинистого вещества производится путем отмучивания. Около 50—70 г сухой и измельченной в куски или же непродушенной глины размешивается при подогревании в достаточно емкой фарфоровой чашке с водой, в которую прибавлено 1—2 см³ раствора едкого натра; более плотные комки разминаются стеклянной палочкой. Затем, по снятии чашки с огня, следует переждать некоторое время, чтобы песок мог осесть на дно, после чего необходимо осторожно слить оставшуюся сверху мутную жидкость. Эту процедуру повторяют до тех пор, пока в чашке не останется совершенно чистый песок. Под конец можно вскипятить осадок в слабом растворе соляной кислоты. После тщательной промывки дистиллированной водой песчаный осадок высушивают и взвешивают.

Рассматривая под лупой, определяют, имеется ли в остатке один только чистый кварцевый песок или также и другие минеральные примеси.

При необходимости разделить отдельные составные части глины по степени крупности их зерен, применяют аппарат Шене (рис. 46). Хотя он и требует значительной затраты времени, но в противоположность другим подобным аппаратам работает очень точно и почти не нуждается в уходе.

Аппарат Шене обычно выполняется для одновременного производства двух анализов. Каждая из отмучивающих систем состоит из трех основных частей: самих воронок для отмучивания, сливной трубки и измерителя давления (пьезометра). Последний представляет собой прочную стеклянную толстостенную трубку длиной около 1000 мм, снабженную шкалой, разделенной на миллиметры и сантиметры. Нижний конец пьезометра входит в отверстие резиновой пробки, закрывающей горло воронки. Из другого отверстия той же пробки выходит сливная трубка, имеющая загнутый с другой стороны конец. Последний должен находиться на одном уровне с нулевым делением трубки пьезометра. Воронка, начиная от горла ее на 100 мм вниз, имеет правильную цилиндрическую форму с внутренним диаметром в 50 мм; ниже, на протяжении 500 мм, она суживается до внутреннего диаметра 5 мм. Отсюда трубка заги-

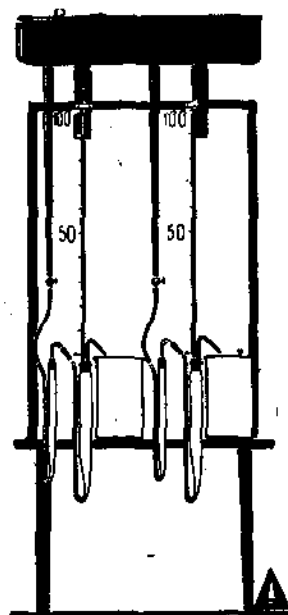


Рис. 46. Аппарат для отмучивания.

бается и направляется вверх, сохраняя тот же внутренний диаметр и соединяясь отрезком резиновой трубки со второй воронкой меньшего размера, имеющей вдвое меньший внутренний диаметр и следовательно вдвое большую скорость отмучивания. Конец этой меньшей воронки соединяется помощью резинового отрезка с подводящей воду трубкой, снабженной краном, который позволяет регулировать подачу и тем самым — давление воды, сохраняя его постоянным. Вода в подводящую трубку поступает из специально устроенного над аппаратом резервуара.

Если после сборки аппарата открыть кран подводящей трубки, то вода из резервуара проходит через воронки для отмучивания, частично заполнит пьезометр и будет вытекать из сливной трубки.

При незначительном давлении и малой скорости движения воды, все поступающее в аппарат количество ее полностью выливается через выходное отверстие сливной трубки. В противном случае в пьезометре образуется столб воды, высота которого тем больше, чем больше скорость движения воды и следовательно сильнее ее давление. Определив при различных высотах вод. ст. в пьезометре соответствующие количества выливающейся в единицу времени воды, можно для каждого отсчета по пьезометру вычислить скорость движения воды в цилиндре.

Процесс отмучивания весьма прост. 20 г исследуемого материала кипятят в течение 1—2 час. в растворе соляной кислоты, после чего мутная жидкость вместе с осадком выливается в воронку для отмучивания через сито 900 отверстий на 1 см². Затем в воронку вставляют резиновую пробку с прикрепленным к ней пьезометром и открывают кран на подводящей воду трубке. Более мелкие частицы глины увлекаются движущейся под напором водою и собираются в большом стакане для дальнейшего исследования. Более тяжелый песок оседает в нижней конической части воронки. Только при большей скорости движения воды, а следовательно при большем давлении, струей захватываются и частицы песка; таким образом имеется полная возможность производить отмучивание песка с определенной крупностью зерен. В зависимости от необходимого для отмучивания давления и соответствующей последнему секундной скорости движения воды, установлена классификация величин размеров зерен и номенклатура песка различной крупности (Зегер)¹.

Согласно этой классификации различают:

Глинистое вещество (Tonsubstanz) — продукт отмучивания, увлекаемый из аппарата водою при скорости ее движения 0,18 мм/сек, имеющий зерна крупностью не свыше 0,010 мм.

Плывун (Schluff) — отмучивается при скорости воды 0,070 мм/сек и при величине частиц от 0,010 — 0,025 мм.

Песчаная пыль (Staubsand) — увлекается водою при скорости движения в 1,50 мм/сек и имеет размер зерен от 0,025 — 0,040 мм.

Мелкий песок (Feinsand) представляет собою песок, остающийся в воронке для отмучивания, имея крупность зерен более 0,40 мм.

Наличие в исследуемой породе крупного песка устанавливается до начала отмучивания путем процеживания всей приготовленной для отмучивания жидкой массы через сито с шириной отверстий в свету, равной 0,20 мм. Оставшийся на сите песок рассматривается как крупный песок.

Так как аппараты никогда не бывают сконструированы вполне точно, то каждый из них предварительно нужно проконтролировать. Сделать это можно с большой точностью (об этом см. Post, „Chem.-techn. Analyse“ т. II, тетр. 1, стр. 106 и сл.). Проще и с меньшей точностью можно найти требуемые высоты давления для определенных скоростей движения воды путем повторных испытаний аппарата. С этой целью измеряют поперечный разрез воронки для отмучивания и отсюда вычисляют, какое количество воды должно вытекать в секунду при требуемой скорости. Например если площадь внутреннего поперечного сечения воронки равна 21,75 см², а для отмучивания требуется скорость движения воды 0,2 мм, то в 1 сек. следовательно должно вытекать 0,435 см³. При пробном опыте принимают в аппарате высоту давления, которая по предварительным сообра-

¹ Так же точно, но быстрее, работает аппарат для отмучивания Шульце-Гаркорта, см. каталог Apparate — Abtlig. der „Tonindustrie“, Berlin, N. W. 21, л. 170.

жениям должна соответствовать желаемой скорости движения воды. Определяют затем время, необходимое для вытекания 1 л воды (или при малых скоростях движения, соответственно меньшего объема) и отсюда вычисляют количество воды, вылившейся в 1 сек. Если последнее окажется больше или меньше вычисленного, выбирают соответственно большее или меньшее давление, пока наконец не получится как раз нужное количество вытекающей в 1 сек. воды ¹.

К сожалению очень часто не удается отмучивать глину в аппарате. При простом отмучивании в чашке, как ранее описано, размягчающее (мацерирующее) действие воды на некоторые виды глины оказывается недостаточным. В таких, довольно частых, случаях приходится прибегать к следующему способу: прокипяченную, как выше указано, в растворе соляной кислоты (3:1) глину ставят в неглубокой фарфоровой чашке под слабую струю воды из водопровода, все время разминая и отмучивая ее пальцами. Когда на практике производится производить большое количество испытаний глины отмучиванием, пальцы с успехом заменяют процедуру длительных подсчетов. Этот простейший прием дает чрезвычайно ясные и быстрые результаты. Песок хорошо отмывается и после просушки и взвешивания может быть просеян через сита и распределен по сортам, в зависимости от крупности его зерен.

Полученные при отдельных фазах отмучивания порции глины и песка высушиваются и взвешиваются. Глина подвергается затем дальнейшим исследованиям ².

ПОТЕРЯ ПРИ ПРОКАЛИВАНИИ

1 г высушенного при 105—110° материала осторожно нагревают в платиновом тигле над бунзеновской горелкой. Постепенное повышение температуры до полного пламени должно происходить в течение 6—7 мин. Следующие 5 мин. тигель оставляют под действием полного пламени, после чего его еще 10 мин. прокаливают над пачльной горелкой.

После охлаждения в эксикаторе материал взвешивается: потерю в весе составляют вода, углекислота и органические вещества (битумы).

Присутствие битумов легко обнаружить при нагревании просушенного материала в запаянной с одного конца стеклянной трубке по выделяющемуся смолистому запаху.

Определение потери при прокаливании почти никогда не бывает вполне точным благодаря происходящим при этом побочным процессам.

В частности, процессы окисления, происходящие например при прокаливании доменных шлаков, могут настолько сильно повлиять на результаты, что иногда вместо потери в весе получается увеличение его. В таком случае рекомендуется производить непосредственное определение содержания воды и углекислоты в отдельности.

1. Определение содержания воды. Аппарат для определения

¹ Для детального изучения вопроса об отмучивании рекомендуется прочесть: Berge, *Keramisches Praktikum*, стр. 29; Gessner, *Kolloidzeitschrift*, 1926, Nr 2; Gutmann, *Über Kornfeinheit der Zemente besonders des Eisenportlandzementes*; „Zement“, 1926, Nr 9; Gary, *Aufsuchen eines einheitlichen Verfahrens zur Bestimmung des feinsten Mehles im Portlandzement auf dem Wege der Schlämmung oder Wind-sichtung*, *Mitteilungen aus dem königlichen Materialprüfungsamt zu Gross-Lichterfelde-West*, 24. 1. Jahrgang, 1906.

² Далее следует указать аппарат для осаждения проф. Кюля. Аппарат этот состоит из высокого стеклянного цилиндра с медной гильзой, в которой помещают 2 г мельчайшего (мельче 10 000) размешанного в алкоголе цемента. По бокам

содержания воды состоит из маленького газометра, нескольких поглощающих сосудов с серной кислотой и раствором едкого кали для высушивания выходящего из газометра воздуха и удаления из него углекислоты; трубки для сжигания сделаны из тугоплавкого калийного стекла и специальных водопоглощающих трубочек. Последние наполнены хлористым кальцием, предварительно тщательно насыщенным углекислотой с целью обезвредить возможность в нем присутствовать свободную едкую известь и таким образом предотвратить всякую возможность поглощения им углекислоты во время анализа. Трубки, заполненные хлористым кальцием, насыщенным углекислотой, оставляются под некоторым давлением в течение одних суток. Излишек углекислоты из трубок удаляется путем пропускания струи сухого воздуха.

Отвешивают 2 г высушенного при $105-110^{\circ}$ материала, тщательно размешивают его в пробирке с 20 г прокаленной окиси свинца, насыпают смесь в трубку из калийного стекла и крепко закупоривают ее резиновыми пробками. Последние имеют отверстия и с обеих сторон сообщаются с поглощающими трубочками. Прежде всего испытывается непроницаемость аппарата, для чего закупоривают последнюю трубочку с хлористым кальцием и открывают кран газометра. При этом не должно появляться пузырьков в сосудах с серной кислотой или раствором едкого кали.

После того как установлена газонепроницаемость аппарата, обе поглощающие трубочки взвешиваются. После установки их вновь на место, через аппарат пропускается слабая струя воздуха из газометра, и нагревается трубка с испытуемым материалом и окисью свинца. При сильном нагревании материал выделяет из себя находящуюся в нем углекислоту и воду, а также (особенно доменные шлаки) серу, которая тут же образует серноокислый свинец. Углекислота при этом не поглощается, а целиком удаляется струей воздуха в атмосферу, в трубочках же с хлористым кальцием задерживается только вода. После извлечения из испытуемого материала всей находящейся в нем воды, постепенно уменьшают пламя, охлаждают прибор, оставляя его под током воздуха, затем снимают и взвешивают трубочки с хлористым кальцием. Результаты получаются очень точные.

2. Определение содержания углекислоты. Определение содержания углекислоты может производиться двояким образом: для точных анализов — весовым, для технических целей — объемным способом.

А. Определение содержания углекислоты весовым способом выполняется различными методами; если нужно получить совершенно точный результат, следует рекомендовать метод Фрезениус—Классена (по Кольбе), при котором углекислота поглощается натронной известью (Classen, *Ausgewählte Methoden der analyt. Chemie* II, стр. 653).

Стеклоянная коническая колба емкостью около 250 см³ снабжается резиновой пробкой с тремя отверстиями. Сквозь первое отверстие проходит достигающая дна колбы приводная трубка, через которую может пропускаться при посредстве газометра струя свободного от углекислоты воздуха,

цилиндра прикреплены маленькие стеклянные сливные краны. При открывании крана, приделанного к медной насадке, цементное тесто падает в наполненный алкоголем цилиндр. Частицы цемента осаждаются на дно с большей или меньшей скоростью в зависимости от крупности зерен. Быстро открывают краны, причем соответствующая по объему часть алкоголя с частицами находящегося в нем во взвешенном состоянии цемента вытекает в чашечки. Последующей отфильтровкой получают 10 р. эличных по тонкости порций цемента, которые взвешивают и рассматривают под микроскопом.

при барометрических давлениях от 732—770 мм и температурах 10—30°, причем да
при показанных навесках соот

°	732	734	736	738	740	742	744	746	748	750	°
10	0,4117	4129	4140	4151	4163	4174	4186	4197	4209	4220	10
11	0,4098	4110	4121	4132	4144	4155	4166	4178	4189	4201	11
12	0,4079	4091	4102	4113	4125	4136	4147	4159	4170	4181	12
13	0,4060	4072	4083	4094	4106	4117	4128	4139	4151	4162	13
14	0,4041	4052	4064	4075	4086	4097	4109	4120	4131	4142	14
15	0,4022	4033	4044	4056	4067	4078	4089	4100	4112	4123	15
16	0,4002	4014	4025	4036	4047	4058	4070	4081	4092	4103	16
17	0,3983	3994	4005	4016	4028	4039	4050	4061	4072	4083	17
18	0,3963	3975	3986	3997	4008	4019	4030	4041	4052	4063	18
19	0,3943	3955	3966	3977	3988	3999	4010	4021	4032	4043	19
20	0,3923	3934	3945	3956	3968	3979	3990	4001	4012	4023	20
21	0,3903	3914	3925	3936	3947	3958	3969	3980	3991	4002	21
22	0,3883	3894	3905	3916	3927	3938	3949	3960	3971	3981	22
23	0,3862	3873	3884	3895	3906	3917	3928	3939	3950	3961	23
24	0,3841	3852	3863	3874	3885	3896	3907	3918	3928	3939	24
25	0,3820	3831	3842	3853	3864	3875	3885	3896	3907	3918	25
26	0,3799	3810	3821	3831	3842	3853	3864	3875	3885	3896	26
27	0,3777	3788	3799	3810	3820	3831	3842	3853	3864	3874	27
28	0,3756	3766	3777	3788	3798	3809	3820	3831	3841	3852	28
29	0,3733	3744	3755	3765	3776	3787	3798	3808	3819	3830	29
30	0,3711	3721	3732	3743	3753	3764	3775	3785	3796	3807	30

Итак, аппарат состоит из двух, расположенных одна в другой трубок, из которых внутренняя,—измерительная, устанавливается при помощи пробки

точно по середине уравнильной трубки, служащей только для уравнивания затворной жидкости. Верхняя часть ее расширена и открыта или же закрыта пробкой, сквозь которую проходит воронка для удобного пополнения жидкостью. В первоначальной конструкции трубка заканчивалась в нижней своей части суженной сливной трубкой, закрываемой краном. Крамер удлинил последнюю и пропустил ее до дна $1\frac{1}{2}$ л бутылки, соединенной с резиновым баллоном. Помощью сжатого воздуха затворная жидкость удобно и просто нагнетается обратно в обе трубки¹.

Измерительная трубка, емкостью в 100 см³ с делениями по $\frac{1}{10}$ см³ дает сразу в про-

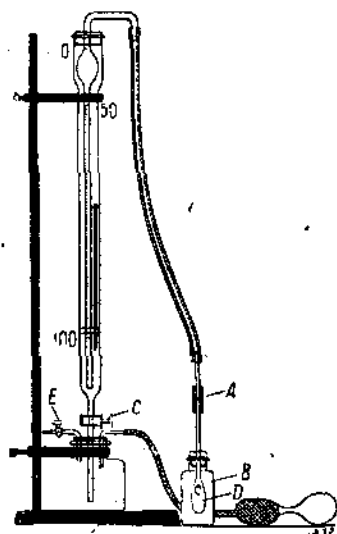


Рис. 48. Определение углекислоты по Баур-Крамеру.

¹ Кран E не является необходимым, так как после накачивания резиновым баллоном последний можно снять и пользоваться краном C, то во время образования газа дать возможность подняться уровню воды и наружной (обнимающей измерительную) трубке.

испытываемого материала

вление пара и барометрические поправки уже приняты во внимание, 1 см³ углекислоты соответствует 1% углекислого кальция

t°	752	754	756	758	760	762	764	766	768	770	t°
10	0,4231	4243	4254	4266	4277	4288	4300	4311	4323	4334	10
11	0,4212	4223	4235	4246	4257	4269	4280	4292	4303	4314	11
12	0,4193	4204	4215	4227	4238	4249	4261	4272	4283	4295	12
13	0,4173	4185	4196	4207	4218	4230	4241	4252	4264	4275	13
14	0,4154	4165	4176	4187	4199	4210	4221	4232	4244	42 5	14
15	0,4134	4145	4156	4168	4179	4190	4201	4213	4224	43-5	15
16	0,4114	4125	4137	4148	4159	4170	4181	4192	4204	4215	16
17	0,4094	4106	4117	4128	4139	4150	4161	4172	4184	4195	17
18	0,4074	4086	4097	4108	4119	4130	4141	4152	4163	4174	18
19	0,4054	4065	4076	4087	4098	4109	4120	4131	4143	4154	19
20	0,4034	4045	4056	4067	4078	4089	4100	4111	4122	4133	20
21	0,4013	40 4	4035	4046	4057	4068	4079	4090	4101	4112	21
22	0,3992	4003	4014	4025	4036	4047	4058	4069	4080	4091	22
23	0,3971	3982	3993	4004	4015	4026	4037	4048	4059	4070	23
24	0,3950	3961	3972	3983	3994	4005	4015	4026	4037	4048	24
25	0,3929	3940	3950	3961	3972	3983	3994	4005	4015	4026	25
26	0,3907	3918	3929	3939	3950	3961	3972	3983	3993	4004	26
27	0,3885	3896	3907	3917	3928	3939	3950	3960	3971	3982	27
28	0,3863	3874	3884	3895	3906	3916	3927	3938	3949	3959	28
29	0,3840	3851	3862	3872	3883	3894	3905	3915	3926	3937	29
30	0,3817	3828	3839	3849	3860	3871	3881	3892	3903	3913	30

центах количество углекислой извести. В нижней своей части трубка открыта, в верхней же имеет шарообразное расширение и соединяется с сосудом для разложения помощью загнутого наконечника и резиновой трубки. Сосуд для разложения закрывается просверленной резиновой пробкой, через которую пропущена короткая стеклянная трубка, расширенная книзу в виде колбы. В этой маленькой трубке сделаны 2 отверстия, одно — выше пробки, диаметром в 1—2 мм (А), закрываемое куском резиновой трубки, другое, — диаметром в 10—12 мм, приблизительно на середине высоты колбообразной части трубки.

По прилагаемой таблице, в соответствии с показаниями барометра и термометра, берется навеска испытываемого материала и помещается в сосуд В для разложения. Затем вливают в колбообразную трубочку приблизительно 3 см³ десятипроцентного раствора соляной кислоты при помощи специально для этой цели сконструированной Крамером пипетки. После этого плотно закупоривают сосуд пробкой, а маленькое, оставшееся до сих пор открытым отверстие А над пробкой закрывают, передвигая отрезок резиновой трубки.

Перед производством опыта аппарат испытывается на непроницаемость, для чего, открыв кран сливной трубки, дают затворной жидкости вытечь до деления 100. При этом жидкость в измерительной трубке должна, понизившись всего на несколько кубических сантиметров, оставаться затем на одном уровне.

Убедившись в герметичности аппарата, по каплям приливают кислоту

к материалу, постепенно наклоняя сосуд В. По мере образования углекислоты открывают сливную трубку, спуская затворную жидкость и все время следя, чтобы уровень в обеих трубках был приблизительно на одной и той же высоте. Затворная жидкость ни в каком случае не должна находиться под давлением. Исследование заканчивается легким встряхиванием сосуда для разложения, причем старательно избегают его нагревания рукой, устанавливая жидкость в трубках на одинаковой уровень, после чего через 1 мин. отсчитывают процентное содержание углекислой извести по шкале градуированной трубки.

Для целого ряда показаний барометра и термометра составлены таблицы, в которых даны соответствующие навески материала (см. предыд. стр.)¹.

Найденный результат необходимо еще прокорректировать соответствующим коэффициентом абсорбции (поглощения), так как некоторая небольшая часть всей выделившейся углекислоты остается растворенной в жидкости, находящейся в сосуде для разложения, и могла бы быть удалена оттуда лишь посредством нагревания, что к сожалению крайне трудно выполнить в аппаратах для измерения по объему. Поэтому рекомендуется составить так называемую абсорбционную таблицу, непосредственно дающую количество поглощенной жидкостью углекислоты. Для каждого аппарата необходимо самому составить такую таблицу. Делается же это очень просто.

Определяют количество углекислоты, удерживаемое жидкостью, производя разложение ряда навесок химически чистого углекислого кальция, или исландского шпата, например пять отдельных навесок, отвечающих 100, 75, 50, 25, и 10% табличной навески для данной температуры и барометрического давления; эти навески равнозначны полным навескам вещества, с показанным процентным содержанием CaCO_3 ; коэффициенты поглощения для промежуточных значений вычисляются помощью интерполяции.

Требуется например проверить аппарат Шейблер-Дитрих-Фрюлингга; барометрическое давление — 750 мм, температура 20° С. В этом случае необходимо произвести 5 следующих взвешиваний:

- 1) для 100% = $\frac{1}{2} \cdot 0,8030 = 0,8030$ г
- 2) " 75 " = $\frac{3}{4} \cdot 0,8030 = 0,6023$ "
- 3) " 50 " = $\frac{1}{2} \cdot 0,8030 = 0,4015$ "
- 4) " 25 " = $\frac{1}{4} \cdot 0,8030 = 0,2008$ "
- 5) " 10 " = $\frac{1}{10} \cdot 0,8030 = 0,0803$ "

Допустим, что при опытах для каждой из отдельных вышеуказанных навесок получилось в среднем:

1)	Отсчет 194 см ³ , следовательно поглощено 6 см ³ ,
2)	" 145 " " " " 5 "
3)	" 96 " " " " 4 "
4)	" 47 " " " " 3 "
5)	" 18 " " " " 2 "

Чтобы получить величину поглощения, соответствующую 1 см³ шкалы в интервалах между показанными отсчетами, как уже упомянуто выше, производят вычисления помощью интерполяции, а именно — разность между последовательными величинами поглощения делят на соответствующее число

¹ Ранее изданные для этой цели таблицы вычислены на основе устаревших физических величин и содержат кроме того ошибки.

Прилагаемая таблица составлена в 1923 г. на основании вычисленных в новейшее время данных (см. TIZ* 1923, стр. 536). Таблицы с более широкими пределами, а именно для более низких барометрических давлений и более высоких температур, можно получить в отделе аппаратов, Тониндустри, Берлин.

кубических сантиметров. Например разность поглощения для интервала 194 см^3 и 145 см^3 составила 49 см^3 . Поэтому каждому 1 см^3 отсчета в этом интервале будет соответствовать величина поглощения, равная $1:(194-145) = 1:49 = 0,0204 \text{ см}^3$.

Таким образом получается следующая таблица поглощения для рассмотренного нами случая:

Таблица 3.

Отсчет см^3	Поглощено см^3
200	6,1224
199	6,1020
198	6,0816
197	6,0612
196	6,0408
195	6,0204
194	6,0000
193	5,9796
192 и т. д.	59,592 и т. д.

Таким же образом вычисляют промежуточные значения для других интервалов и составляют полную таблицу поглощения для всех возможных на аппарате отсчетов.

При работе с аппаратами, определяющими содержание углекислоты по объему, встречаются некоторые трудности. Не говоря уже о том, что для получения всегда одинаково правильных результатов отсчеты по измерительной трубке должны производиться в точности через одинаковые промежутки времени (например через 3 мин.) после окончания реакции. Иногда могут возникнуть затруднения, зависящие от свойства самого материала, например в случае наличия в нем кроме углекислой извести других углекислых солей, т. е. главным образом углекислой магнезии. Так как аппараты рассчитаны только для углекислой извести, то результаты могут получиться неправильные. Однако процент содержания магнезии, по крайней мере сырьевой смеси для портланд-цемента, редко превышает 2%, так что ошибка получается незначительная и ею можно пренебречь. Имея дело с материалом более или менее однородного состава, можно, в случае надобности, принять в расчет количество содержащейся в нем углекислой магнезии и вычислить соответственные поправки.

С другой стороны, кальциметр дает безошибочные указания о присутствии углекислой магнезии, особенно при более значительном содержании ее — свыше 3%. В противоположность углекислой извести, углекислая магнезия очень медленно выделяет углекислоту. Поэтому, если после окончания реакции и предварительной установки жидкости в трубках на одинаковый уровень в измерительной трубке вместо движения затворной жидкости вверх уровень будет неподвижным или даже будет продолжать понижаться в результате дальнейшего выделения углекислоты, эти явления укажут на присутствие углекислой магнезии. Уже трех процентное содержание ее вызывает постоянство уровня жидкости в измерительной трубке, т. е. равновесие между обратным подъемом затворной жидкости и давлением продолжающей выделяться углекислоты; присутствие углекислой магнезии в количестве свыше 3% вызывает уже понижение уровня жидкости.

Примечание. Пользуясь аппаратами Лунге-Риттнера или Зандера (см. „Zeitschr. ang. Chemie“, 1926, стр. 1849), можно обходиться при анализе без поправочных таблиц,

1. Для определения растворимой части и нерастворимого остатка необходимо брать непрокаленный материал.

Во многих случаях, например в мергелях, состоящих из естественной смеси глины и известняка, затем — в сырьевой смеси для цемента вследствие сильного нагрева при прокаливании наступает взаимодействие между известью и глинистым веществом; более или менее значительное количество последнего переходит в растворимое состояние, и результаты анализа получаются неправильные.

а) Растворимое отделяют от нерастворимого остатка следующим образом: 2 г материала кипятят повторно, в течение 10 мин. в растворе соляной кислоты (1 ч. HCl уд. в. 1,19 на 3 ч. воды), каждый раз декантируя и фильтруя раствор, пока последний не станет бесцветным. После многократного кипячения и декатировки, осадок переводят на фильтр и промывают сперва соляной кислотой, а затем очень тщательно горячей водой, до тех пор, пока фильтрат при добавлении раствора ляписа не покажет более помутнения.

Фильтрат выпаривают и подвергают дальнейшему анализу. Осадок же на фильтре, представляющий нерастворимый остаток или сразу озоляют и взвешивают или же подвергают обработке для определения количества содержащегося в нем кварцевого песка и неответившихся минералов, например полевого шпата (рациональный анализ).

б) Рациональный анализ. Процесс отделения глинистого вещества от кварца и полевого шпата основан на том, что серная кислота на последние не действует, тогда как глинистое вещество горячей серной кислотой разлагается полностью.

Б 2 уже обработанной соляной кислотой и высушенной при 105—110° глины помещают в платиновую чашку, приливают, размешивая, 50 см^3 концентрированной серной кислоты¹. Накрыв чашку часовым стеклом, содержимое чашки нагревают на открытом огне. Температура регулируется с таким расчетом, чтобы при нагревании в течение часа серная кислота могла испариться лишь в незначительном количестве, т. е. чтобы содержимое едва только дымилось; в противном случае разложение глины, т. е. переход ее в гидрат кремнекислоты и сернокислый глинозем, никогда не будет полным. После этого добавляют воды, и отстоявшуюся прозрачную жидкость фильтруют. Осадок смачивают соляной кислотой, добавляют немного воды, размешивают, затем ставят чашку в водяную баню. После приблизительно 15-минутного нагревания сливают жидкость на фильтр, попавшие же с нею на фильтр твердые частицы смывают помощью промывалки обратно в чашку. Эту манипуляцию повторяют до тех пор, пока осадок еще продолжает окрашивать добавляемую соляную кислоту. Затем осадок переводят на фильтр и промывают горячей водой. Промытый осадок смывается промывалкой обратно в чашку и, добавляя воду, доводят жидкость до объема 250 см^3 . Затем на каждые 100 см^3 добавляют по 10 г кристаллической соды, нагревают на водяной бане и прибавляют еще по 1 г едкого натра на каждые 100 см^3 жидкости. В продолжение последующих 1—2 мин. жидкость постепенно делается прозрачной. Тогда, сняв

¹ На основании опытов Сабекса рекомендуется вместо применения концентрированной серной кислоты размешать сначала глину с 50 см^3 воды, затем прибавить 50 см^3 концентрированной серной кислоты и наконец в эту сильно нагревающуюся смесь влить еще раз 50 см^3 воды (Лунге-Берль, 1910, т. II, стр. 42).

чажку с водяной бани, сливают отстоявшуюся прозрачную жидкость на фильтр. Обработку щелочным раствором приходится повторять несколько раз для уверенности в том, что выделившаяся кремнекислота действительно целиком перешла в раствор.

В заключение оставшийся осадок переводят на фильтр и промывают водой, в которую добавлен спирт, или же очень слабым раствором аммиака.

При наличии органических веществ, присутствие которых в большинстве случаев заметно по более темной окраске глины, к серной кислоте, применяемой для разложения, необходимо добавить несколько кубических сантиметров азотной кислоты.

Описанным выше способом аморфная и гидратная кремнекислота, образовавшаяся при разложении силиката глинозема, целиком растворяется, тогда как кремнекислота, присутствующая в виде кварца, а также полевой шпат остаются нетронутыми. Чтобы отделить эти последние один от другого, осадок смачивают разведенной соляной кислотой и разлагают помощью плавиковой кислоты. После выпалывания в водяной бане выпаривают серную кислоту без излишнего подъема температуры, а сернокислый алюминий растворяют продолжительным кипячением в умеренно разбавленной соляной кислоте и определяют глинозем, осаждавая его аммиаком. Одна весовая часть глинозема соответствует 5,43 весовым частям полевого шпата, что дает возможность без труда определить количество содержащегося в глине полевого шпата, а отсюда — и количество кварца (Post, „Chem. Techn. Analyse“, 1936, стр. 99, а также Lunge, Berl. „Chem. Techn. Untersuchungsmethoden“, 1910, т. II, стр. 42).

В тех случаях, когда оказывается необходимым глинистый остаток все же сплавлять с щелочами для дальнейшего анализа, например при всех анализах цементных смесей, можно действовать несколько иначе. Примерно 2 г глины попрежнему разлагают серной кислотой, хорошо промывают нерастворившийся осадок $A+B$ и растворяют, как и раньше, выделившуюся кремнекислоту B в горячем содовом растворе. После этого фильтруют через взвешенный фильтр (в очень горячем состоянии, применяя воронку для горячего фильтрования), затем промывают осадок сначала водой, потом очень слабым раствором соляной кислоты и наконец снова окончательно промывают водой, высушивают осадок вместе с фильтром при $120-130^\circ$ и взвешивают, получая, за вычетом веса фильтра, вес остатка A .

Щелочной фильтрат подкисляют соляной кислотой и определяют количество находящейся в нем растворимой кремнекислоты B способом, подробно далее описанным при изложении хода точного анализа.

Если $A+B$ (т. е. общее количество кремнекислоты, состоящее из растворимой SiO_2 , а также SiO_2 из кварца, полевого шпата и зерен других минералов) равно количеству кремнекислоты, определенному путем сплавления глины со щелочами, то нерастворимый остаток A представляет собою чистый кварцевый песок.

Если же $A+B$ больше найденного при точном анализе общего количества кремнекислоты, то это доказывает, что в нерастворимом остатке A содержится не только кварц, но еще и неразложенный полевой шпат, слюда и пр.

в) Сплавление. Если главную задачу анализа составляет не отделение растворимой части от нерастворимого остатка, а определение отдельных составных частей, то нужно сплавить глину с углекислыми щелочами способом, уже описанным подробно в общем отделе.

Отвешивают 10 г смеси углекислых щелочей и 2 г глины, тщательно смешивают и полученную массу медленно доводят до спекания и плавления на горелке Мекера. После того как масса перешла в спокойный жидкий сплав, дают ей остыть¹, размягчают содержимое тигля в чашке с водой, насыщают соляной кислотой и досуха выпаривают на водяной бане, хорошо размешивая палочкой постепенно высыхающий при этом осадок. Сухой порошок вместе с чашкой ставят в сушильный шкаф, где его сушат в продолжение 2, еще лучше — 3 час. при температуре около 130°. Как утверждает Шох, улетучивания заметных количеств хлорного железа при этом не происходит, по-видимому, оно наступает лишь при температурах выше 135°.

г) Определение кремнекислоты. Совершенно высушенную массу смачивают слабым раствором соляной кислоты, оставляют ее в таком состоянии не меньше 3 час., затем обрабатывают горячей водой. Жидкость декантируют через беззольный фильтр, приливая к осадку свежие порции соляной кислоты и декантируя до тех пор, пока соляная кислота не перестанет окрашиваться. Только таким путем достигается полное отделение хлорного железа от выделившейся кремнекислоты, так как если сразу перенести осадок на фильтр, то никогда не удастся совершенно удалить из него хлорное железо последующим промыванием. Итак, когда жидкость будет оставаться совершенно бесцветной, кремнекислоту переводят на фильтр и тщательно промывают горячей водой. Фильтрование производится сразу в литровую колбу, которая после охлаждения дополняется водою до метки. Собранный на фильтре кремнезем очень осторожно озолается ввиду его легкого распыления и затем прокаливается еще около 7 мин. на паяльной горелке.

При точном выполнении этого способа, особенно в части сушки при 130° в продолжение по меньшей мере 2—3 час., удается почти полностью отделить все количество кремнекислоты, за исключением лишь исчезающей малой ее части. Этот остаток растворенной кремнекислоты составляет максимум 0,27%, в среднем — 0,13%.

Извлечь и этот остаток растворенной кремнекислоты можно двояким способом:

1) фильтрат от кремнезема вторично выпаривают, затем опять повторяют сушку, фильтрацию и пр.;

2) высушенный при 130° после первого выпаривания кремнезем тотчас же снова смачивается соляной кислотой, и полученный раствор вторично выпаривается. После этого массу еще раз высушивают при 130°, обрабатывают соляной кислотой и водою и фильтруют.

Необходимо отметить, что таким способом часто действительно удается извлечь большую часть остающегося в растворе кремнезема без полной однако уверенности, что при такой сложной процедуре непременно будут получены совершенно точные результаты.

Что это далеко не всегда удается, показывают опыты, систематически проведенные лабораторией Тониндустрии, подробно описанные в докладе съезду германских заводов огнеупорных материалов, опубликованном в отчете за 1911 г., стр. 60 и сл.

Лаборатория Тониндустрии поручила восьми химикам разделить количество кремнезема и, попутно, с другой целью, количества глинозема в

¹ Зеленовато-синяя окраска остывшей массы указывает на присутствие марганца. Качественно его можно определить (при отсутствии хлорных соединений), прибавляя к 0,5 г материала 1 г сурьки (Pb_3O_4), 3 см³ азотной кислоты и 7 см³ воды. Красная окраска, являющаяся результатом образования марганцевой кислоты, удобна для сравнительных колориметрических определений.

нескольких сортах глин — тремя вышеописанными способами. Очень интересные результаты этих исследований совершенно ясно показывают, что, во-первых, обычный метод производственного анализа дает достаточно точные результаты, если он производится достаточно опытным химиком, во-вторых, что совершенно несущественно, выпаривать ли вторично фильтрат для выделения растворенной в нем части кремнекислоты или же осадок, полученный после первого выпаривания и сушки, после смачивания его соляной кислотой будет без немедленной отфильтровки еще раз подвергнут выпариванию и сушке. Особенно характерно, что при контрольных анализах по методам 1 и 2 в отдельных случаях получались даже меньшие величины по сравнению с полученными при анализах обычным производственным методом, т. е. обнаруживались потери кремнекислоты; это обстоятельство непосредственно объясняется более длительным ходом анализа.

При вышеописанных способах определения кремнекислоты, естественно, получается общее ее количество, т. е. также кремнекислота, заключающаяся в кварцевом песке, полевоом шпате и пр.

Если анализируются материалы, как например цемент, содержащие кремнекислоту в растворимом виде, или бетон, в котором имеется как растворимая, так и нерастворимая кремнекислота в форме кварца, то сплавление их с углекислыми щелочами является излишним.

Отделение таких разновидностей кремнекислоты производится ранее описанным способом, состоящим в том, что весь полученный осадок обрабатывают вместе с фильтром на водяной бане 50% ным раствором соды в продолжение около 1 часа. При этом растворяется только кремнекислота, входящая в состав силикатов; песок же и остатки золы остаются нерастворенными; их отфильтровывают, промывают горячей водой, прокаливают и взвешивают. Кремнекислота, входившая в состав силикатов, выделяется из фильтрата вновь помощью соляной кислоты, выпаривается досуха и т. д., как было указано выше.

Для разделения необходимо пользоваться исключительно раствором соды, так как едкие щелочи (раствор едкого натра), как это показал Лунге¹, способны растворять также кремнекислоту в форме кварца.

Даже содовый раствор при кипении заметно действует на кварц, если последний размельчен до пылеобразного состояния. Поэтому нельзя заходить слишком далеко при измельчении такого рода материалов для анализов.

Озоление осадка кремнезема может производиться, при соблюдении достаточных предосторожностей, в мокром фильтре. Для этого следует загнуть верхний край фильтра внутрь, чтобы предохранить очень легко распыляющийся после сушки кремнезем от захвата струями горячего воздуха.

Полученный таким образом кремнезем часто содержит еще незначительные примеси титановой кислоты, а также глинозема. Для определения количества чистой кремнекислоты и примесей взвешенную кремнекислоту + титановая кислота + глинозем выпаривают в том же платиновом тигле, добавив несколько капель серной и чистой плавиковой кислоты. После выпаривания остаются титановая кислота и глинозем; присутствие первой качественно легко обнаружить колориметрически помощью паяльной трубки: корольек фосфорной соли приобретает фиолетовую окраску в восстановительном пламени. Разность между первым и вторым взвешиванием дает вес чистого кремнезема.

¹ Лунге и. Mielberg, Zeitschrift f. angew. Chemie, 1897, т. 13 и 14.

Для использования глины в производстве портланд-цемента присутствие в ней титановой кислоты почти не играет роли, так как последняя только при содержании ее в количестве свыше 1% придает глине некоторые специфические особенности, и в первую очередь — более легкую плавкость. Если же, предполагая более значительное содержание титановой кислоты (свыше 1%), желательнее определить ее количественно, то поступают, как мы описываем ниже при определении двуокиси титана.

В фильтрате от кремнекислоты содержатся глинозем, окись железа, закись марганца, извести, магнезия, серная кислота и щелочи. Для дальнейшего анализа содержимое литровой колбы хорошо взбалтывают, делят на 3 ч.: в 400, 300 и еще 300 см³. Опасаться, что это разделение может повлиять на точность результата, нет оснований; одна капля соответствует примерно $\frac{1}{20}$ см³, так что ошибка при потере такого количества была бы равна $\frac{1}{10000}$ г.

Огобренные 400 см³ идут для определения Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO и MgO; первые 300 см³ — для отделения Al₂O₃ от Fe₂O₃, а вторые 300 см³ — для определения SO₃.

д) Глинозем и окись железа.¹ 400 см³ фильтрата нагревают в стакане до кипения, окисляют азотной кислотой и насыщают аммиаком в большом избытке. Добавление аммиака должно производиться очень осторожно, под конец — по каплям, до тех пор, пока окраска раствора из желтовато-зеленой не превратится в красно-бурую, что служит показателем близкого конца реакции; после этого достаточно будет еще нескольких капель для полного осаждения, — надо избегать прибавления значительного излишка аммиака. Полученный таким путем осадок, состоящий из глинозема и окиси железа, опять осторожно растворяют, прибавляя минимальное количество соляной кислоты и осаждают вторично всего только несколькими каплями аммиака. Можно быть уверенным, что при описанном способе будет достигнуто полное осаждение и вместе с тем не будет допущен вторичный переход глинозема в раствор. При этом устраняется также необходимость прибавления хлористого аммония для предотвращения осаждения магнезии. Полученный осадок переносится на фильтр, промывается горячей водой и прокаливается в открытом, наклонно поставленном тигле при красном калении. Более высокая температура вызвала бы переход окиси железа в закись-окись.

При выполнении этого анализа особенное внимание надо обращать, во-первых, на то, чтобы жидкость во время самого осаждения и некоторое время спустя действительно находилась в состоянии кипения, во-вторых, чтобы кипение продолжалось лишь очень короткое время — не больше 1 мин.; в противном случае отстаивание осадка произойдет чрезвычайно медленно, и глинозем станет клейким, что весьма затруднит фильтрование.

Если ожидается получение сравнительно большого осадка, можно облегчить себе фильтровку, прибавив в раствор, согласно Дитриху, перед осаждением мелко нашинкованной фильтровальной бумаги (Berl. Ber. 37, 1840; 1904); этим достигают разрыхления осадка в воронке.

е) Марганец. В тех случаях, когда марганец содержится в сравнительно большом количестве, т. е. свыше 3%, о чем свидетельствует интенсивная голубая окраска сплавленной в тигле массы, необходимо отделить его от глинозема и окиси железа. С этой целью 400 см³ фильтрата окис-

¹ Heiser, Die Bestimmung des Gehaltes an Eisenoxyd in kalksteinen, Mergel, Tonen, Rohmehlen und Zementen, „Zement“, 1924, стр. 573; дальше Rodt, Die Bestimmung der Gesquioxyde in Silikaten, „Zement“, 1920, стр. 294.

ляют азотной кислотой и затем очень осторожно нейтрализуют содой, причем жидкость постепенно окрашивается в темный красно-бурый цвет; надо внимательно следить, чтобы не образовалось осадка, который, в случае его появления, немедленно вновь растворяют, прибавляя несколько капель азотной или уксусной кислоты. После этого раствор осаждают средним уксуснокислым натрием, нагревают и оставляют короткое время на кипу. Выделившееся вместе с осадком соединение марганца при этом вновь растворяется, тогда как соли глинозема и окиси железа остаются нерастворенными. Как можно скорее их отфильтровывают и тщательно промывают горячей водой, содержащей небольшое количество уксуснокислого натрия. Ввиду исключительной трудности удаления следов уксуснокислого натрия, предпочтительно растворить осадок в соляной кислоте и еще раз осадить глинозем и окись железа аммиаком.

Оба фильтрата, получившиеся от осаждения уксуснокислым натрием и аммиаком, выпариваются в стакане емкостью в 800 см^3 до объема около 400 см^3 , после чего еще теплую жидкость насыщают бромной водой, очень осторожно добавляя затем еще несколько капель чистого брома. Непрерывно размешивая стеклянной палочкой, вливают тонкой струей крепкий раствор аммиака без большого избытка и нагревают жидкость до кипения. Марганец выделяется при этом в виде темных хлопьев MnO_2 ; после отфильтровки и тщательной промывки осадка теплой водой, перекись марганца на фильтре еще раз растворяют в горячей соляной кислоте; собирая раствор в стакан, промывают фильтр, после чего повторяют осаждение бромной водой и аммиаком. Высушенный осадок вместе с фильтром обзаливается в фарфоровом тигле и прокаливается до постоянного веса. Полученное взвешиванием количество Mn_2O_3 пересчитывается на MnO .

ж) Известь¹. Фильтрат от глинозема с окисью железа или соответственно от марганца вновь нагревают до кипения, подкисляют и осаждают известь в виде щавелевокислого кальция кристаллической щавелевой кислотой, добавив аммиака. Имея дело с необожженным сырым материалом, легко определить нужное количество щавелевой кислоты по потере при прокаливании; щавелевой кислоты нужно приблизительно втрое больше. При осаждении необходимо иметь в виду, что магнезия подлежит превращению в щавелево-кислый магний, так как щавелевокислый кальций отчасти растворяется в хлористом магнии.

Добавлять кристаллы щавелевой кислоты следует с большой осторожностью, так как жидкость может сильно вскипеть и перелиться через край сосуда.

Чтобы добиться полного осаждения щавелевокислого кальция и более легкой отфильтровки, жидкость оставляют в теплом месте по меньшей мере 3 часа (на холоду — еще дольше), затем фильтруют ее и промывают осадок холодной водой, содержащей небольшое количество щавелевокислого аммония. Наконец щавелевокислый кальций прокаливают в течение 10 мин. в платиновом тигле над паяльной горелкой. Принимая во внимание, что щавелевокислый кальций легко удерживает уксуснокислый натрий, в этом случае следует повторить осаждение.

з) Магнезия. Фильтрат от извести подкисляют соляной кислотой, выпаривают до объема 200 см^3 , прибавляют аммиака в количестве одной

¹ В случаях, когда имеется небольшое количество извести наряду с большим количеством магнезии, как напр мер в магнезитах, необходимо иметь в виду указания Баха и других, см. „Zement“, 1925, стр. 691 и 781.

трети объема, затем осаждают магнию фосфорнокислым натрием Na_2HPO_4 в виде двойной аммонийной фосфорнокислой соли магния. Прибавление хлористого аммония является излишним, так как в результате предшествовавших процедур он содержится в растворе в достаточном количестве. Небольшое же добавление алкоголя ускоряет осаждение; несмотря на это, осаждение должно продолжаться около 12 час. Осадок отфильтровывается и промывается аммиачной водой (1:5). В отличие от других анализов, когда производят озоление еще мокрого фильтрата, в данном случае фильтр должен быть предварительно высушен. Поэтому осадок снимают с фильтра и последний сначала озолотят отдельно на крышке платинового тигля. Наконец соединив золу с осадком, прокаливают все вместе в течение 3—4 мин. на паяльной лампе; при этом предпочтительнее пользоваться небольшим фарфоровым тиглем. Если благодаря неполному сгоранию фильтра осадок имеет серый цвет, его смачивают несколькими каплями азотной кислоты и еще раз прокаливают, пока он не станет совершенно белым. После взвешивания перечисляют полученное количество пирофосфорнокислого магния на окись магния MgO .

Определение магнии представляет собою самый трудный анализ в химии вяжущих материалов; при расхождении в результате, например на 0,3%, его можно считать удовлетворительным.

и) Отделение окиси железа от глинозема. Вторая порция, взятая из литровой колбы (300 см³), используется для отделения окиси железа от глинозема.

Нагретую до кипения жидкость насыщают в избытке горячим раствором едкого кали и определяют количество выделившейся окиси железа; глинозем же осаждают из подкисленного соляной кислотой раствора аммиаком. Проще и быстрее одновременно осаждают аммиаком глинозем и окись железа; после промывки осадок растворяют в теплом растворе серной кислоты (1:2)¹ и в прозрачной, слегка нагретой жидкости цинком (с небольшим кусочком платиновой жести) превращают окись железа в закись. Процесс следует считать законченным, если капля жидкости не дает заметной окраски с роданистым калием. Титрование производится раствором хамелеона и, определив таким путем количество окиси железа и зная (п. „в“) содержание глинозема и окиси железа в сумме, вычисляют количество глинозема по разности.

Хорошие результаты дает также титрование окиси железа хлористым титаном по Нейману и Морфи („Z. f. angew. Chem.“ 1913, стр. 613).

При наличии в материале очень незначительных количеств железа, например в доменных шлаках, можно с успехом применять метод Кнорре (Ber. 1885, 18, 2728), состоящий в осаждении железа нитрозоафтолом, точно отделяющим даже самые незначительные количества железа от глинозема, с последующим отделением последнего в фильтрате аммиаком. Нитрозоафтол дает очень объемистый осадок, так что его можно хорошо промыть.

Ниже приводятся еще способы отделения глинозема от окиси железа.

а) Полуторные окислы сплавляют с KHSO_4 , и сплав растворяют в воде с небольшим количеством соляной кислоты. Из этого раствора, после добавления к нему винной кислоты и аммиака, железо осаждается сернистым аммонием. Полученное сернистое железо растворяют в соляной кислоте с

¹ Приготовляя раствор серной кислоты, необходимо кислоту вливать в воду, а не наоборот, во избежание разбрызгивания кислоты.

небольшой добавкой азотной, осаждают аммиаком и определяют количество окиси железа весовым способом.

в) Осажденные аммиаком полуторные окислы растворяют в соляной кислоте. Одну половину раствора еще раз осаждают аммиаком, R_2O_3 сплавляют с $KHSO_4$, растворяют в HCl и восстанавливают помощью H_2S ; избыток H_2S удаляют кипячением со струей CO_2 ; выделившуюся серу отфильтровывают и наконец титруют раствор марганцевоокислым калием. Вторую половину жидкости восстанавливают непосредственно в растворе соляной кислоты помощью H_2S , после чего поступают, как указано выше.

к) Серная кислота. Третья часть (в 300 $см^3$) жидкости, оставшейся в литровой колбе, используется для определения серной кислоты. Нагретый до кипения раствор насыщается кипящим раствором хлористого бария; полученный осадок сернокислого бария промывают на фильтре теплой водой и умеренно прокалывают в открытом платиновом тигле. Ввиду того что сернокислый барий легко проникает даже сквозь лучшие фильтры, необходимо слегка пропитать фильтр уксуснокислым аммонием. Рекомендуется применять фильтры № 589 (синяя бандероль).

ОТДЕЛЕНИЕ ЗАКИСИ ЖЕЛЕЗА ОТ ОКИСИ

Выше были описаны методы определения SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , CaO , MgO и SO_3 . Некоторые материалы, например доменные шлаки, почти всегда содержат кроме того еще и закись железа.

Отделение закиси железа от окиси должно производиться только при соблюдении величайших предосторожностей, а именно — в струе углекислоты; вся применяемая во время анализа вода должна быть тщательно прокипчена (от $1\frac{1}{2}$ до 1 часа) для удаления растворенного в ней воздуха.

Через колбу емкостью в 300 $см^3$ пропускают непрерывную струю углекислоты. После полного вытеснения из колбы воздуха, в нее помещают навеску в 1 г испытуемого материала, приливают немного воды и 150 $см^3$ разбавленной серной кислоты (1:5). При непрерывном токе углекислоты материал разлагают постепенно нагреваемой под конец, примерно в течение 5 мин., до кипения серной кислотой; полученная мутная жидкость переводится в колбу емкостью в $\frac{4}{10}$ л, также наполненную углекислотой; вместо последней в колбу можно предварительно всыпать 1 г двууглекислого натрия. После охлаждения жидкости, при постоянном притоке углекислого газа, сосуд наполняют прокипяченной водой до метки и дают осадку отстояться в течение 24 час. Остающуюся сверху довольно прозрачную жидкость извлекают помощью пипетки в количестве 200 $см^3$ и тотчас же титруют раствором хамелеона; результат определяет закись железа. Остальные 200 $см^3$ жидкости отфильтровывают, восстанавливают цинком с кусочком платиновой жести и титруют окись + закись железа. Из общего содержания солей железа и количества закиси вычисляют количество окиси.

Только по этому несколько видоизмененному Шохом способу Фрезениуса имеется возможность получить точные результаты. Во всяком случае надо избегать производить титрование жидкости непосредственно после разложения, не выжав полного осаждения. Очень трудно установить конец титрования в мутной жидкости, так как изменение окраски в ней совсем незаметно.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕРЫ

Определение серы обыкновенно производят, переводя сернистые соединения (сульфиды) в сернокислые. Определив последние, например в виде

сернистого бария, перечисляют найденное количество серной кислоты на серу.

Способ Эшка для определения серы в каменном угле будет описан ниже. Для шлаков, цемента и т. д. применимы два способа.

Если не требуется очень большой точности, поступают так: 2 г материала помещают в глубокую фарфоровую чашку, заливают бромной водой и оставляют ее действовать в течение нескольких часов, прикрыв чашку часовым стеклом; затем приливают немного соляной кислоты. Выделяющийся при этом сероводород окисляется бромом в серную кислоту. Излишек брома удаляют выпариванием и осаждают серную кислоту в отфильтрованном горячем растворе.

Определенное ранее количество собственно серной кислоты подлежит вычиту. Остальная часть серной кислоты пересчитывается на серу.

Если нужен вполне точный анализ, то навеску материала помещают в колбочку, резиновая пробка которой в трех местах просверлена; через первое отверстие проходит трубка с воронкой и краном, через второе — газотводная трубка, соединенная другим концом с винклеровским змеевиком, и наконец через третье отверстие пропускается трубка, подводящая воздух из газометра. Материал обливают бромной водой и медленно, с перерывами, добавляют через трубку с воронкой соляную кислоту. Большая часть выделяющегося сероводорода окисляется бромной водой уже в самой колбочке, остальная часть — находящейся в змеевике бромной водой. По окончании разложения жидкость нагревают до кипения, затем медленно охлаждают, пропуская струю воздуха. Во время разложения следует время от времени слегка взбалтывать содержимое колбочки. По окончании процесса содержимое колбы и змеевика сливают вместе и поступают, как описано выше.

Следует упомянуть, что для определения количества сернистых соединений, в особенности специально в доменных шлаках, Фрезениус дает другой, очень удобный способ, представляющий собой несколько видоизмененный метод Патинсона (см. „*Journ. Soc. Chem. Ind.*“ 1898, 17, 216;), о котором мы лишь упоминаем.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И РАЗДЕЛЕНИЕ ЩЕЛОЧЕЙ

1) Способ Михаэлиса. 2 г по возможности тонко измельченного материала размешивают с небольшим количеством воды в маленькой платиновой чашке, приливают 3 см³ серной кислоты 1:2 и 15—20 см³ плавиковой кислоты. Избыток последней выпаривают на водяной бане, а избыток серной кислоты удаляют осторожным нагревом над открытым пламенем. Добавив к остатку немного воды и соляной кислоты, смесь нагревают до полного растворения; вслед за этим глинозем, окись железа и известь осаждают избытком аммиака и химически чистой щавелевой кислоты. Фильтрат выпаривают в объемистой платиновой чашке; аммиачные соли удаляют, постоянно помешивая, медленным прокаливанием. Осадок растворяют в возможно малом количестве воды, прибавляют 15 см³ раствора Шафгота¹ и оставляют на 24 часа. Выделившуюся магнезию отфильтровывают и промывают раствором Шафгота в количестве приблизительно 30 см³. Фильтрат и промывную жидкость сливают вместе, выпаривают досуха и слабо прокаливают; осадок вновь растворяют, добавляют немного аммиака и еще раз фильтруют. В фильтрате остаются теперь уже только щелочи в виде суль-

¹ Раствор Шафгота: 235 г (NH₄)₂CO₃ + 180 см³ NH₄ · OH уд. в. 0,92 + 1000 г H₂O.

фатов. Раствор выливают в большой платиновый тигель и выпаривают после чего полученный осадок слабо прокаливают на железной пластинке В результате имеем: $K_2SO_4 + Na_2SO_4$.

Для отделения сернокислых щелочей одну от другой их опять растворяют в воде с соляной кислотой (по Михаэлису), насыпают хлористой платиной, после чего раствор выпаривают до 1 см³. Натриевую соль растворяют в смеси из трех частей абсолютного спирта и одной части эфира, отфильтровывают калиевую соль и промывают той же смесью спирта с эфиром. После этого озоляют фильтр вместе с осадком и медленно прокаливают еще в струе водорода, причем хлороплатинат калия восстанавливается в металлическую платину, а освобождающийся хлор частью соединяется с калием, частью улетучивается в виде хлористого водорода. Озоленный фильтр с платиной и хлористым калием опять помещают на фильтр и выщелачивают хлористый калий водой. Таким образом на фильтре остается под конец только металлическая платина, которую высушивают, прокаливают в фарфоровом тигле и взвешивают. Исходя из полученного веса, вычисляют количество окиси калия. Затем производят перерасчет последней на сульфат калия и высчитывают полученный результат из общего количества сульфатов калия и натрия. Разность пересчитывают на натрий. Результаты получаются очень точные.

2) Для определения щелочей в портланд-цементе применим способ Лоренса-Смита¹. 1 г портланд-цемента и 1 г хлористого аммония растираются вместе в агатовой ступке, к смеси прибавляется 8 г не содержащего калия и натрия углекислого кальция, после чего всю массу, стараясь избежать потерь, переносят в большой платиновый тигель и нагревают — сначала осторожно, на малом огне, а затем сильно прокаливают в течение одного часа. После охлаждения тигель кипятят в чашке с дистиллированной водой; когда спекшаяся масса окончательно распадется, тигель вынимают и обмывают. Нерастворимый осадок отфильтровывается, а к фильтрату прибавляют 1,5 г чистого углекислого аммония, выпаривают жидкость до объема 50 см³, после чего опять добавляют углекислого аммония и аммиака. Выделившуюся при этом углекислую известь отфильтровывают, выпаривают фильтрат в платиновой чашке, удаляют аммониевые соли, и для большей уверенности, еще раз подвергают осадок обработке аммиаком и углекислым аммонием. Наконец фильтруют последний раз, добавляют в фильтрат немного соляной кислоты, выпаривают досуха и после осторожного прокаливания взвешивают полученную смесь хлористого калия и хлористого натрия. Хлористые соединения растворяют в воде, осаждают хлористой платиной в избытке, затем раствор выпаривают до густоты сиропа и добавляют 20 см³ 80%-ного алкоголя. Растворив натриевые соли, жидкость фильтруют через взвешенный фильтр или тигель Гуча, промывают осадок алкоголем, затем высушивают и взвешивают полученный хлороплатинат калия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДВУОКИСИ ТИТАНА

Определение двуокиси титана лучше всего производить совершенно отдельным анализом. Отвешивают, как обычно, 2 г материала и разлагают его, сплавляя с углекислыми щелочами и т. д., как описано выше. Выделенную в результате анализа кремнекислоту выпаривают в том же самом тигле, прибавляя несколько капель серной и небольшое количество чистой

¹ K. Meade, The Chemical and Physical Examination of Portlandzement, 1901, стр. 78.

плавиковой кислоты; тогда в тигле останется двуокись титана (если она содержится в материале) и незначительное количество глинозема. Остаток сплавляют с кислым-сернокислым калием, сплав растворяют в холодной воде и фильтруют: получается фильтрат I.

Этот фильтрат I соединяют с фильтратом, полученным после отфильтровки кремнезема и обозначаемым фильтратом II, немного упаривают жидкость и вливают ее (см. Post, „Chem. Techn. Analyse“, II, 1—92) в горячий раствор едкого кали (а не наоборот), что вызывает отделение титановой кислоты и окиси железа, между тем как глинозем остается в растворе. После тщательного промывания осадок растворяют в серной кислоте и сильно разбавляют раствор, который затем нейтрализуют аммиаком почти до средней реакции, т. е. так, чтобы раствор все же еще имел слабокислую реакцию. Вслед за этим прибавляют сернистой кислоты и, пропуская постоянную струю углекислого газа, подвергают раствор длительному кипячению, все время подливая воду взамен испарившейся; в результате двуокись титана выделяется в виде мелкого порошка.

При описанном ходе анализа фильтровка не представляет никаких затруднений, особенно если брать достаточно плотные фильтры; между тем, отфильтровывая двуокись титана из раствора, содержащего соляную кислоту, редко когда удается получить вполне прозрачный фильтрат.

Осадок двуокиси титана большей частью содержит еще незначительные количества железа; поэтому ее еще раз растворяют в серной кислоте и вторично осаждают кипячением нейтрализованного и сильно разбавленного раствора. Прокаленная двуокись титана сама легко удерживает немного серной кислоты; поэтому после прокаливания прибавляют к ней немного углекислого аммония, затем еще раз прокаливают и очень быстро взвешивают, так как титановая кислота несколько гигроскопична.

Достаточно точные результаты получаются применением колориметрического метода определения титана по Веллеру (Ber., 1882, стр. 25, 92); он применяется преимущественно при наличии небольших количеств титана и требует незначительной затраты времени.

СТАНДАРТНЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ЦЕМЕНТА¹

а) Введение

Химический состав стандартного цемента должен удовлетворять нормам, установленным германскими стандартами для портланд-цемента и шлако-портланд-цемента (т. е. „железо-портланд-цемента“ и „доменного цемента“). Соответственно этому подлежат определению:

1. Потеря при прокаливании.
2. Нерастворимый остаток.
3. Растворимая кремниевая кислота SiO_2 .
4. Сумма окисей алюминия Al_2O_3 + железа Fe_2O_3 + марганца Mn_2O_4 ², или, сокращенно говоря, полуторных окислов.
5. Известь CaO .
6. Магнезия MgO .
7. Серный ангидрид SO_3 .

¹ В настоящее издание введен современный текст германского стандартного метода анализа цемента, установленного Государственной станцией испытания материалов (Берлин-Далем) в 1931 г. См. журнал „Zement“, 1931, № 12 и 13. — В. Ю.

² В случае наличия титана, он определяется в виде TiO_2 и причисляется к сумме окислов.

Анализ может быть дополнен определением содержания:

8. Глинозема Al_2O_3 .
9. Окиси железа Fe_2O_3 .
10. Окислов марганца.
11. Сульфидной серы S.
12. Щелочей.

Ниже излагаются соответствующие методы испытания.

В результатах анализа дается количественный состав, — включая также выделенное из цемента при подготовке его к анализу (см. подготовку к анализу) металлическое железо, — выраженный в весовых процентах, округленных до 0,1%.

Для портланд-цемента отношение процентного содержания извести CaO к сумме растворимой кремнекислоты SiO_2 + глинозема Al_2O_3 + окиси железа Fe_2O_3 рассчитывается по формуле:

$$\frac{\% \text{ CaO} - \% \text{ SO}_3 \cdot 0,7}{\% \text{ SiO}_2 + \% \text{ R}_2\text{O}_3}.$$

б) Отбор пробы и подготовка к анализу

От общего количества отобранного для испытаний цемента, после тщательного перемешивания, отбирается средняя проба, взятая от последней навески 100—200 г, подвергается обработке сильным магнитом для извлечения металлического железа. Найденное количество металлического железа записывается. Освобожденная от железа проба идет для химического анализа, причем она должна быть предварительно измельчена до такой степени, чтобы весь материал прошел через стандартное сито № 30 (900 отверстий на 1 см^2)¹.

в) Концентрация реактивов и растворов

Соляная кислота: а) концентрированная, уд. в. 1,19 (приблизительно 38%).

То же: б) разбавленная 1:1, уд. в. 1,10 (приблизительно 20%).

Подкисленная соляной кислотой вода: 1:10.

Азотная кислота: концентрированная, уд. в. 1,40 (приблизительно 65%).

То же: разбавленная, уд. в. 1,18 (приблизительно 29%).

Серная кислота: концентрированная, уд. в. 1,85.

То же: разбавленная 1:5.

Уксусная кислота: разбавленная, 1 ч. уксусной кислоты на 3 ч. воды (1:3).

Аммиак: а) концентрированный, уд. в. 0,925 (приблизительно 8%).

То же: б) разбавленный 1:1, уд. в. 0,96.

Аммиачная вода: содержащая приблизительно 2,5% NH_3 .

Аммиачный раствор азотнокислого аммония: 10 г азотнокислого аммония и 2 см^3 концентрированного аммиака растворяются до объема 1 л.

Бромная вода: насыщенный на холоду раствор, содержащий около 13 см^3 брома в 1 л.

Сода: раствор 50 г соды Na_2CO_3 в 1 л (5%-ный раствор).

Щавелевокислый аммоний, разбавленный раствор: 10 г $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ + H_2O в 1 л воды.

¹ Размеры стандартных сит см. „Приложение“ в конце книги. — В. Ю.

Фосфорнокислый аммоний: $100 \text{ г } (\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4 + 12 \text{H}_2\text{O}$ в 1 л воды.
Хлористый барий: $100 \text{ г } \text{BaCl}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ в 1 л воды.
Азотнокислое серебро: $1,70 \text{ г } \text{AgNO}_3$ в 1 л (приблизительно N/100 раствор).

Перекись водорода—продажный 3%-ный раствор.

Марганцевокислый калий—раствор для титрования щавелевокислого кальция: $5,637 \text{ г}$ чистейшего KMnO_4 растворяют до объема 1 л. 1 см³ раствора отвечает приблизительно 10 мг CaO . Установку титра см. ниже.

То же, контрольный раствор: $0,2229 \text{ г}$ чистейшего KMnO_4 растворяют свежей прокипяченной водой до объема 1 л. 1 см³ раствора содержит количество хамелеона, соответствующее $0,00010 \text{ г}$ MnO .

Серноватисто-кислый аммоний: раствор $100 \text{ г } (\text{NH}_4)_2 \text{S}_2\text{O}_3 + 5 \text{H}_2\text{O}$ в 1 л.

Серноватисто-кислый натрий—N/10 раствор: $25 \text{ г } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 5 \text{H}_2\text{O}$ растворяется до 1 л.

То же, для определения серы: $15,6 \text{ г } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ растворяется до 1 л.

Иода раствор—для определения серы: $7,928 \text{ г}$ дважды сублимированного иода, вместе с 25 г KI растворяют до 1 л. 1 см³ отвечает $0,001 \text{ г}$.

Углекислый калий—химически чистый; служит для определения щелочей. Необходимо каждое вновь полученное лабораторией количество этого реактива проверить на содержание щелочных соединений.

Хлористый натрий—N/100 раствор: $0,59 \text{ г}$ чистейшего хлористого натрия растворяют в 1 л.

Мышьяковистый раствор для определения марганца. $0,258 \text{ г } \text{As}_2\text{O}_3$ вместе с $1 \text{ г } \text{Na}_2\text{CO}_3$ растворяют при нагревании в стакане с водой до полной прозрачности, и раствор разбавляют до объема 1 л. 1 см³ мышьяковистого раствора определяет приблизительно $0,0001 \text{ г}$ MnO .

Марганцевый раствор для установки титра мышьяковистого раствора: $0,2229 \text{ г}$ чистейшего KMnO_4 растворяют в воде, восстанавливают, добавляя 25 см^3 азотной кислоты (уд. в. 1,18) и немного раствора перекиси водорода, избыток которой разрушают кипячением, и полученный раствор разбавляют до 1 л. 1 см³ раствора содержит $0,00010 \text{ г}$ MnO .

Кадмий уксуснокислый: 25 г кристаллической соли $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ растворяют в 1 л.

Хлористый титан—раствор для определения железа.

а) Исходный раствор—представляет собою приблизительно 15%-ный раствор TiCl_3 . Каждый раз после взятия части этого реактива из сосуда, в котором он хранится, воздух, находящийся над жидкостью, должен быть вытеснен при помощи струи углекислого газа.

б) Титрованный раствор—для приготовления титрованного раствора продажный приблизительно 15%-ный раствор разбавляют равным объемом концентрированной соляной кислоты (1,19) и добавляют свежей прокипяченной воды до 40-кратного объема против первоначального объема раствора хлористого титана.

Таким образом приготовленный раствор, в количестве 1 см³ отвечает приблизительно 2 мг окиси железа Fe_2O_3 . Для того чтобы по возможности защитить раствор от воздействия кислорода воздуха и получающегося вследствие этого понижения титра, каждый раз после отборки части раствора, находящийся над ним в сосуде воздух вытесняется струей углекислого газа и сосуд, заполненный углекислотой, плотно закрывается ¹.

¹ Для хранения титрованных растворов под углекислым газом рекомендуется применять описанное Фрезениусом приспособление.

Установка титра. Титр раствора хлористого титана проверяют каждый раз перед тем, как предстоит произвести ряд определений железа, пользуясь для этого раствором окисной соли железа с известным ее содержанием; такой раствор готовится растворением 1 г химически чистой окиси железа (по Брандту) в соляной кислоте и разведением до объема 1 л.

Для определения титра раствора хлористого титана берут 10 см³ раствора окисной соли, отвечающих 10 мг окиси железа, добавляют немного серной или соляной кислоты и несколько капель раствора роданистого аммония и титруют до исчезновения розового окрашивания.

Роданистый аммоний — растворяют 100 г NH₄CNS до 1 л.

Установка титра марганцевоокислого калия щавелевокислым натрием по Зеренсену.

Для установки титра раствора хамелеона (концентрация 5,637 г KMnO₄ в 1 л) согласно Зеренсену растворяют в литровой конической колбе 0,5 г чистейшего щавелевокислого натрия примерно в 400 см³ горячей воды, добавляют 50 см³ разбавленной (1:5) серной кислоты и титруют горячий (около 70°) раствор хамелеоном до появления исчезающего окрашивания.

Титр раствора на известь рассчитывают по расходу хамелеона (р) и по взятой навеске g щавелевокислого натрия Na₂C₂O₄ следующим образом: 1 см³ раствора хамелеона определяет

$$(0,8368 \times \frac{g \text{ щавелевокислого натрия}}{p \text{ см}^3 \text{ раствора KMnO}_4}) \text{ г CaO.}$$

г) Последовательный ход анализа

Потеря при прокаливании

а) Портланд-цемент. 2 г портланд-цемента нагревают в закрытом платиновом тигле сначала в течение 2—3 мин. над небольшим пламенем, а затем 10 мин. прокалывают в печи для тиглей, имеющей температуру 1000°.

Рекомендуется температуру печи для тиглей проверять время от времени термометром.

Результат: потеря при прокаливании.

б) Шлак о-портланд-цемент. Определение потери при прокаливании описанным выше способом здесь не дает правильных результатов вследствие происходящих одновременно процессов окисления и диссоциации.

Для шлако-портланд-цемента может идти речь о надежном определении только содержания, во-первых, влаги нагревом в трубке для сжиганий, улавливая и взвешивая выделившуюся воду, и во-вторых — углекислоты или газометрически по Лунге-Ритенеру (причем сероводород связывается прибавлением к взмученной в воде навеске небольшого количества взятой кончиком ножа сулемы) или разлагая навеску соляной кислотой и улавливая выделившуюся углекислоту во взвешенном кали-аппарате. Выделение сероводорода в последнем случае задерживают прибавлением к соляной кислоте раствора сулемы.

— Результат: влага и углекислота.

Кремнекислота + нерастворимый остаток, полуторные окислы, известь, магнезия.

Кремнекислота + нерастворимый остаток. В фарфоровую чашку (с неповрежденной глазурью) емкостью 300 см³ помещают навеску цемента в 1 г, смешивают с 10 см³ воды и разлагают на холоду,

приливая при непрерывном помешивании 25 см³ соляной кислоты (1:1); затем выпаривают досуха на водяной бане.

После охлаждения к содержимому чашки приливают 25 см³ соляной кислоты (1:1) и дают стоять в течение 1/4 часа. Затем разбавляют водою примерно до 75 см³ и в течение 1/2 часа нагревают на водяной бане, после чего отфильтровывают осадок. Осадок промывают сначала горячей подкисленной соляной кислотой водою (50 см³ концентрированной соляной кислоты на 1 л воды), затем горячей водою до исчезновения реакции на хлор.

Остаток: главное количество кремнекислоты + нерастворимый остаток.

Фильтрат еще раз выпаривают досуха и нагревают затем в сушильном шкафу в течение 1—2 час. при 120—130°. Остаток обрабатывают соляной кислотой, как выше указано, и фильтруют.

Оба фильтра с осадком сперва высушивают, а затем осторожно прокалывают при умеренном красном калении в наклонно поставленном тигле, который более чем наполовину закрыт крышкой, направляют пламя на закрытую сторону, чтобы продукты сгорания фильтров не могли захватить с собой кремнекислоты.

После того как при постепенном усилении пламени фильтры будут сожжены, прокалывают наполовину открытый тигель на полном пламени бунзеновской горелки до тех пор, пока весь уголь не выгорит и кремнекислота не станет белой¹.

В заключение прокалывают в продолжение 5—10 мин. на паяльной горелке или в тигельной печи.

Результат: кремнекислота + нерастворимый остаток.

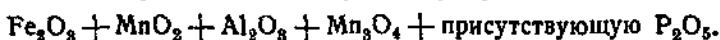
В том случае, когда цемент содержит более чем 1,5% закиси марганца MnO, применяют растворение в азотной кислоте 1:1 вместо соляной, и дальнейшую обработку также ведут азотной кислотой. Приливая к высушенному остатку азотную кислоту, каждый раз прибавляют немного перекиси водорода, чтобы быть уверенным в переходе марганца в раствор. Дальнейший ход анализа см. раздел 26—2.

б) Полуторные окислы (при содержании в цементе MnO менее 1,5%). Солянокислый фильтрат от кремнекислоты выпаривают до объема 150 см³, нагревают до кипения, приливают 10 см³ бромной воды (если анализируют шлако-портланд-цемент, то приливают 25 см³ бромной воды), и, добавив 1 г кристаллического азотнокислого аммония, осаждают возможно малым количеством концентрированного аммиака, прибавляя его по каплям; затем держат раствор на слабом кипении до тех пор, пока не останется лишь слабый запах аммиака и тотчас фильтруют через мало плотную бумагу (белая бандероль). Осадок на фильтре промывают кипящим аммиачным раствором азотнокислого аммония. Примерно после шестикратной промывки осадок полуторных окислов растворяют в слабой соляной кислоте (1:5) жидкость разбавляют водою приблизительно до 150 см³ и снова осаждают полуторные окислы аммиаком и бромной водою, как ранее указано. Осадок промывают, как ранее, до полного исчезновения реакции на хлор. Фильтр с осадком высушивают в платиновом тигле, озоляют осторожно на малом пламени и под конец сильно прокалывают при доступе воздуха. Результат: R₂O₃.

¹ При особой в том надобности растворимую кремнекислоту определяют, обрабатывая фильтрат от одного нерастворимого остатка, причем полученную кремнекислоту проверяют на чистоту выпариванием с плавиковой и серной кислотой.

в) Полуторные окислы (при содержании в цементе MnO более 1,5%). Азотнокислый фильтрат от кремнекислоты нейтрализуют аммиаком и появившийся при этом небольшой осадок переводят снова в раствор, прибавляя несколько капель азотной кислоты и немного перекиси водорода. К полученной таким образом слабокислой жидкости, объем которой должен составлять 300—400 см³, прибавляют от 20 до 30 см³ отфильтрованного 10%-ного раствора надсернического аммония и нагревают, часто помешивая при температуре около 70° в течение 3 час. на водяной или песочной бане. Марганец постепенно выделяется в виде почти черного осадка, в присутствии железа, получающего в той или иной степени красно-бурую окраску; после отстаивания осадок отфильтровывают, причем целесообразно прибавить перед этим в жидкость немного растрепанной в воде беззольной фильтровальной бумаги. Промывка производится горячей водой. Для уверенности в полном осаждении к фильтрату, после нейтрализации выделившейся из надсернической соли кислоты аммиаком, прибавляют приблизительно 10 см³ раствора надсернического аммония; жидкость нагревают в течение 1 часа, и могущий образоваться небольшой осадок отфильтровывают. Осаждение производят вторично, растворив осадок в азотной кислоте с небольшой примесью перекиси водорода.

Не содержащие более марганца фильтраты соединяют, и осаждают полуторные окислы, как описано в п. „б“. Осадки марганца, железа и алюминия озолотят вместе и прокаливают. Получают сумму



г) Известь. Фильтраты от полуторных окислов упаривают до 300 см³, прибавляют несколько капель уксусной кислоты и нагревают до 90°. Затем прибавляют 3 г кристаллического азотнокислого аммония и вслед за этим — избыток аммиака. Раствор кипятят при помешивании в течение 5 мин. Дав осадку остыть в тепле, фильтруют (фильтр с белой бандеролью). Осадок промывают горячим раствором щавелевокислого аммония. Промывание считают законченным, когда 2—3 капли фильтрата после выпаривания и прокаливания на платиновой пластинке не оставят на ней заметного остатка.

Фильтр с осадком помещают в платиновый тигель и высушивают над небольшим пламенем, наклонно поставив тигель; затем озолотят и прокаливают сначала над полным пламенем бунзеновской горелки и наконец 10 мин. — над паяльной горелкой. Для уверенности в достижении постоянного веса необходимо вторичное прокаливание¹.

Результат: CaO .

д) Магнезия. Фильтрат после осаждения извести упаривают до 300 см³ и прибавляют 10 см³ раствора фосфорнокислого аммония и $\frac{1}{3}$ объема концентрированного аммиака. Содержимое стакана перемешивают в течение получаса или же после перемешивания в течение только короткого времени дают ему стоять не менее 18 час. и затем фильтруют. Осадок промывают холодной аммиачной водой (1:3). Осадок вместе с фильтром осторожно высушивают в фарфоровом тигле, а затем постепенно усиливают прокаливание. Если осадок в тигле не будет иметь чисто белого цвета, дают тиглю остыть, смачивают содержимое тигля 2—3 каплями чистой концентрированной азотной кислоты и удаляют избыток ее на водяной бане. Таким образом обработанный осадок осторожно прогревают маленьким пламенем,

¹ Вместо определения CaO весовым способом можно производить его объемным путем, титруя щавелевокислый кальций раствором хамелеона.

все время двигая горелку, чтобы всячески избежать разбрызгивания содержимого тигля, до тех пор, пока не прекратится выделение бурых паров; затем прокаливают над бунзеновской и наконец над паяльной горелкой — до полной белизны осадка.

Результат: $Mg_2P_2O_7$.

Умножая вес осадка на 0,3621, получают количество MgO .

Нерастворимый остаток, окись железа, серный ангидрид

а) Нерастворимый остаток. 2 г цемента взмучивают, помещают в стакан емкостью 400 $см^3$, взмучивают в воде, прилитой в количестве 100 $см^3$, и при помешивании разлагают 50 $см^3$ соляной кислоты (1:1); жидкость быстро нагревают до тех пор, пока желтоокрашенный раствор не станет прозрачным, тотчас отфильтровывают и промывают горячей водой (фильтрат А).

Во избежание выделения растворенной кремнекислоты, фильтровать следует тотчас же после разложения.

Фильтр вместе с осадком обрабатывают 50 $см^3$ 5%-ного раствора Na_2CO_3 , и после размельчения фильтра помощью стеклянной палочки подвергают все кипячению для перевода выделившейся кремнекислоты снова в раствор; затем фильтруют горячую жидкость (фильтрат Б).

Щелочь удаляют промыванием горячей водой и затем холодной, сильно разбавленной соляной кислотой; наконец фильтр с осадком тщательно промывают чистой горячей водой. Осадок высушивают на фильтре, прокаливают в платиновом тигле и взвешивают.

Результат: нерастворимый остаток.

Щелочный содовый фильтрат Б плюс промывные воды для дальнейшего анализа не применяются¹.

Кислый фильтрат А, включая первые промывные воды, полученные при промывке горячей водой, выпаривают в фарфоровой чашке и отделяют кремнекислоту, как указано в п. 2-а. Фильтрат от кремнекислоты собирают в измерительную колбу емкостью 250 $см^3$. По охлаждению дополняют до метки; для определения серной кислоты и железа берут по 100 $см^3$.

б) Ангидрид серной кислоты. Отобранный для определения серной кислоты раствор помещают в высокий стакан емкостью 400 $см^3$, нагревают до кипения и прибавляют 10 $см^3$ нагретого также до кипения раствора хлористого бария. Стакан накрывают часовым стеклом и оставляют в тепле на 2—3 часа, т. е. до тех пор, пока сернокислый барий не соберется в осадок, а жидкость над ним не станет прозрачной. После приблизительно 18-часового стояния раствор сливают с осадка на фильтр (синяя бандероль); к осадку несколько раз приливают немного воды с несколькими каплями соляной кислоты, дают вскипеть и после непродолжительного отстаивания смывают осадок на фильтр (синяя бандероль) и промывают горячей, слегка подкисленной соляной кислотой водой. Фильтр вместе с осадком озолотят в тигле; осадок прокаливают на бунзеновской горелке. Содержание SO_3 определяют, умножая вес сернокислого бария на 0,343.

Результат: SO_3 .

в) Окись железа. Фильтрат в количестве 100 $см^3$ помещают в коническую колбу емкостью 250 $см^3$, прибавляют 5 $см^3$ перекиси водорода

¹ В том случае, когда нужно произвести определение растворимой кремнекислоты (см. выноски к п. 2-а), применяют фильтраты А и Б.

(30%) и кипятят до разрушения ее избытка, затем охлаждают и, прибавив 10 см³ концентрированной соляной кислоты и немного раствора роданистого аммония, титруют раствором хлористого титана до исчезновения розового окрашивания.

Проверку титра раствора хлористого титана производят каждый раз перед серией определений железа, как уже говорилось выше.

Результат: Fe_2O_3 .

Глинозем. В портланд-цементе содержание глинозема (включая небольшое количество двуокиси титана) может быть определено по разности между содержанием полуторных окислов Al_2O_3 и Fe_2O_3 .

Для особого определения глинозема поступают так же, как при определении кремнекислоты плюс нерастворимый остаток: 1 г цемента взмучивают в воде, разлагают 25 см³ соляной кислоты 1:1 и т. д. Фильтрат от кремнекислоты, включая промывные воды, сильно упаривают и смывают раствор в стакан емкостью 600 см³. Добавляют несколько капель метилоранжа в качестве индикатора и насыщают раствор аммиаком до появления щелочной реакции; затем опять подкисляют соляной кислотой.

Для осаждения глинозема должны быть прибавлены следующие растворы в нижеуказанных количествах:

- 1) 5 см³ соляной кислоты 1:1;
- 2) 20 см³ 10%-ного раствора фосфорнокислого аммония;
- 3) 50 см³ 20%-ного раствора серноватистокислого аммония;
- 4) 15 см³ разбавленной уксусной кислоты (1:3).

Рекомендуется точно соблюдать указываемые количества и указанную последовательность прилития реактивов к анализируемой жидкости.

Необходимо следить за тем, чтобы по добавлении соляной кислоты не осталось следов гидратов окисей на стенках стакана выше уровня жидкости и чтобы все перешло в раствор до прилития необходимых для осаждения реактивов.

Затем жидкость разбавляют водою до объема приблизительно 400 см³, нагревают до кипения и держат на кипу в течение 30 мин., добавляя испаряющееся количество воды. Осадок отфильтровывается (белая баннероль Шлейхера и Шюлля) и основательно промывается горячей водою. Затем фильтр с осадком высушивается, озоляется в фарфоровом тигле и прокаливается над паяльной горелкой или в тигельной печи до постоянного веса.

Результат: AlPO_4 .

Умножая на 0,4178, получают соответственное количество Al_2O_3 .

Необходимо иметь в виду, что вместе с фосфорнокислым алюминием выпадают имеющиеся в растворе небольшие количества двуокиси титана.

Марганец. 1 г цемента помещают в коническую колбу емкостью 300 см³, взбалтывают с 10 см³ воды и растворяют при нагревании, добавив 40 см³ разбавленной азотной кислоты (уд. в. 1,18). Незначительное количество нерастворимого остатка отфильтровывать не требуется. К остывшему раствору прибавляют 40 см³ раствора азотнокислого серебра и около 1 г кристаллического свежего надсернистого аммония и медленно нагревают до 60°. Имеющийся в растворе марганец постепенно переходит при этом в марганцевую кислоту; для полноты этого перехода дают стоять раствору при 60° в течение около 10 мин., названная температура не должна быть выше во избежание разложения марганцевой кислоты.

По охлаждении жидкости до комнатной температуры, осаждают серебро 50 см³ раствора хлористого натрия и полученный мутный от хлористого

серебра фиолетовый раствор титруют мышьяковистым раствором до исчезновения окраски.

Титр мышьяковистого раствора определяют, взяв 10 см³ раствора хамелеона, отвечающих 0,001 г МпО, прибавив к нему 40 см³ азотной кислоты (1,18), 40 см³ раствора азотнокислого серебра и наконец 1 г надсернокислого аммония; затем поступают, как было описано выше.

По израсходованному количеству мышьяковистого раствора и взятому для титрования количеству марганца вычисляют количество марганца, определяемое 1 см³ мышьяковистого раствора. (Приготовление растворов см. раздел III.)

В случае богатых марганцем цементов целесообразно отобрать для окисления и титрования марганца аликвотную часть раствора 1 г цемента в азотной кислоте. Для этого переводят раствор в измерительную колбу емкостью 250 см³, дополняют до метки, затем отфильтровывают через сухой фильтр в сухую колбу и отбирают от прозрачного фильтрата 25 или 50 см³, что соответствует 0,1 или 0,2 г цемента; затем поступают, как выше описано.

В портланд-цементе, в котором марганец содержится по большей части лишь в очень незначительных количествах, его можно определять также колориметрически, сравнивая интенсивность полученной вследствие окисления в марганцевую кислоту окраски с окраской раствора с определенным содержанием марганца. Так как здесь присутствие нерастворимого остатка, а также хлористого серебра мешало бы, то рекомендуется поступать следующим образом.

1 г цемента взбалтывают с 10 см³ воды и растворяют, добавляя 40 см³ азотной кислоты (уд. в. 1,18). Нагревают до полного растворения и исчезновения окислов азота. Затем раствор переводят в измерительную колбу в 100 см³ и, дополнив водою до метки, отфильтровывают через сухой фильтр в сухой стакан; из прозрачного фильтрата отбирают 20 см³ и помещают в подходящий для колориметрического определения узкий стакан или пробирку, окисляют при нагревании до 60°, прибавив 15 см³ раствора азотнокислого серебра и 1 г кристаллического надсернокислого аммония, оставляют раствор при названной температуре в течение 5—10 мин. и затем охлаждают. Для определения количества имеющейся в растворе марганцевой кислоты в одинаковый по размерам сосуд подливают ровно столько же дистиллированной воды, сколько имеется жидкости в сравниваемом растворе. После этого к дистиллированной воде по каплям добавляют раствор марганцевокислого калия известного титра до тех пор, пока интенсивность окраски в обоих сосудах не станет одинаковой. По количеству израсходованного раствора судят о количестве марганца, содержащегося как в том, так и в другом растворе.

Сульфидная сера. 5 г цемента, а при цементах, богатых содержанием сульфидов, 1 г, вместе с 0,5 г кристаллического хлористого олова взбалтывают в принадлежащей к аппарату для определения серы колбе для разложения емкостью 400 см³ с водою в количестве 50 см³, и колбу закрывают¹. Затем приливают через подводящую трубку 50 см³ соляной кислоты 1:1 и для полного выделения сероводорода нагревают и продолжительное

¹ Простейший аппарат для определения серы состоит из колбы для разложения с притертой пробкой, через которую пропущены, во-первых, капельная воронка, служащая как для введения кислоты, так и для пропуска углекислоты, и, во-вторых, отводная трубка для выделяющихся газов. К отводной трубке присоединяются один за другим два поглотительных аппарата, каждый из которых содержит 50 см³ раствора уксуснокислого кадмия.

время кипятят, одновременно пропуская ток углекислоты. К колбе для разложения присоединены два аппарата для поглощения, содержащие по 50 см³ раствора уксуснокислого кадмия, в которых сероводород задерживается, образуя желтый сернистый кадмий.

По окончании вытеснения сероводорода поглотители снимаются, образовавшийся сернистый кадмий разлагается в них же прибавляемым достаточным количеством раствора иода в 25 см³ соляной кислоты 1:1; вслед затем, прибавив раствор крахмала, титруют обратно избыток иода.

По числу израсходованных для разложения сернистого кадмия кубических сантиметров раствора иода определяется содержание сульфидной серы S в навеске цемента, взятой для анализа.

Щелочи (по Лоренс-Смиту). Навеска цемента 0,5 г растирается в агатовый ступке с равным количеством хлористого аммония, тщательно смешивается затем с 3 г не содержащего щелочей углекислого кальция и посредством глянцевой бумаги переносится в платиновый тигель. Ступки, пестик и глянцевая бумага обмываются 1 г углекислого кальция. Взятый для анализа платиновый тигель величиной в наперсток вставляется в отверстие, вырезанное в наклонно поставленной асбестовой пластинке; края пластинки должны быть сильно загнуты наподобие рамки с нижней стороны с той целью, чтобы сосредоточить жар под пластинкой. Нагрев начинают с верхнего края пластинки, малым пламенем. Это очень существенно, так как иначе при бурном выделении аммонийных паров прокаливается вещество может вспучиться, с образованием теплоизолирующих пор, которые потом уже не пропадают. По мере прекращения выделения аммонийных паров, пламя передвигают все ниже и после полного выделения аммонийных солей, что происходит примерно через 1/4 часа, начиная сверху и постепенно переходя ниже, все сильнее нагревают помощью горелки Теклу, и сильно прокаливают в течение 3/4 часа. Спекшаяся масса после охлаждения удаляется из тигля легким постукиванием, остаток в тигле выщелачивается горячей водой, смываемой в поместительную фарфоровую чашку, в которую помещена также спекшаяся масса. Массу все время разминают стеклянной палочкой до тех пор, пока не останется твердых кусочков и вся масса не распустится совершенно; после этого отстоявшуюся жидкость отфильтровывают, осадок декантируют четыре раза, затем переносят его на фильтр и окончательно промывают горячей водой. В полное разложение убеждаются, обрабатывая осадок, не нужный для дальнейшего анализа, соляной кислотой; при этом весь осадок должен перейти в раствор, не оставляя неразложенного вещества.

Для отделения щелочей от кальция к жидкости, находящейся в чашке, прибавляют аммиака и углекислого аммония, нагревают и фильтруют. Так как осадок может еще содержать небольшое количество щелочей, его растворяют в соляной кислоте и повторяют осаждение кальция аммиаком и углекислым аммонием. Соединенные фильтраты выпаривают досуха и удаляют аммонийные соли осторожным нагревом над движущимся пламенем. По охлаждении растворяют остаток в очень небольшом количестве воды и осаждают последние следы кальция, прибавляя шавелевокислый аммоний и аммиак. Через 12 час. шавелевокислый кальций отфильтровывают, фильтрат собирают во взвешенную платиновую чашку и выпаривают досуха.

Так как полученные таким образом хлористые щелочи частично содержат сернокислые щелочи (связанные серной кислотой, содержащейся в цементе), то взвешивание их в качестве хлористых солей повело бы к непра-

вильным результатам; поэтому хлористые соли необходимо целиком перевести в серноокислые и взвешивать в качестве таковых.

Обычно принимают, что серноокислые щелочи присутствуют в виде серноокислого калия, и, умножая на 0,5405, перечисляют их вес на K_2O .

Результат: щелочи, перечисленные на K_2O .

Определение калия в виде хлорнокислой соли

Если щелочи нужно разделить и определить Na_2O и K_2O отдельно, рекомендуется поступать следующим образом.

Серноокислые щелочи после взвешивания растворяют в разбавленной соляной кислоте, раствор переводят в стакан, нагревают и, добавляя по каплям хлористый барий, осаждают серную кислоту, избегая избытка бария. Серноокислый барий отфильтровывают и промывают; избыток содержащегося в фильтрате бария осаждают углекислым аммонием и небольшим количеством аммиака. Осаждение производят на кипу, чтобы получить кристаллический осадок; ему дают отстояться, фильтруют и промывают углекислый барий аммиачной водой, содержащей небольшое количество углекислого аммония. Фильтрат выпаривают, остаток растворяют в воде и выпаривают с раствором хлорной кислоты. Для удаления соляной кислоты снова растворяют в воде и снова выпаривают. Наконец дают остатку остыть и добавляют спирта, а также немного хлорной кислоты; при помешивании выпадает хлорнокислый калий, который отфильтровывают под разрежением через взвешенный тигель с фильтром из стеклянной ваты и промывают спиртом. Тигель с содержимым высушивают при 130° и по охлаждению взвешивают.

Результат: $KClO_4$.

Умножением веса осадка на 0,3399 получают количество K_2O .

Таков последний стандартный метод анализа для портланд-цемента и шлако-портланд-цемента, принятый в Германии в 1931 г.

Он значительно отличается от прежде существовавшего текста 1911 г., в особенности тем, что в нем гораздо большее применение находят современные способы анализа, а именно более удобные и быстрые методы объемных определений, изолированного определения глинозема в виде фосфорнокислой соли и т. д. Тем не менее надо признать, что стандартные методы анализа нельзя считать сколько-нибудь установившимися вообще, и в Германии в частности. Хорошей иллюстрацией этому служит то обстоятельство, что приблизительно через полгода последовало изменение метода определения щелочей, и от изящного способа Лоренс-Смита германский стандарт отошел. Приводим ниже текст изменения, относящийся к определению щелочей, опубликованный в журнале "Zement" № 46 за 1931 г. В относящейся сюда статье председателя комиссии по разработке стандартного метода анализа проф. Бурхардта говорится о том, что в различных лабораториях, и в Германской государственной станции испытания материалов изложенные выше методы подверглись всесторонней проверке, причем оказалось, что существенное изменение представляется необходимым внести лишь в способ определения щелочей.

Отделение кремнекислоты производится однократным выпариванием солянокислого раствора. В фильтрате помощью аммиака и шавелевокислого аммония осаждаются $R_2O_3 + CaO$.

Полученный фильтрат выпаривается приблизительно до объема 50 см³ вторично, в незначительном количестве прибавляется аммиак и шавелевокислый аммоний, и образовавшийся осадок отфильтровывается. Эти опера-

ции производятся два раза, каждый раз берутся навески цемента по 1 г. Затем оба фильтрата объединяются для дальнейшей обработки, выпариваются и из остатка удаляются аммонийные соли. Остаток обрабатывается возможно небольшим количеством воды. После этого осаждают на холоду магнию крепким раствором $\text{Ba}(\text{OH})_2$, беря на 1 г цемента около 0,2 г $\text{Ba}(\text{OH})_2$ растворенного в 5 см³ H_2O , оставляют стоять $\frac{1}{2}$ часа, фильтруют и промывают 5%-ным раствором $\text{Ba}(\text{OH})_2$ (применяя малый фильтр и сокращая этим количество промывных вод в три раза).

Избыток $\text{Ba}(\text{OH})_2$ осаждается помощью $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, и выпавший углекислый барий несколько раз декантируют при кипении; отфильтровывают и наконец промывают водою. Фильтрат выпаривают на водяной бане и затем нагревают в сушильном шкафу при 130°, остаток смачивают соляной кислотой, и после удаления ее избытка остаток взвешивают.

Обычно вес хлористых щелочей перечисляют, считая, что они присутствуют в виде хлористого калия, умножая на 0,6317, на K_2O .

Результат: щелочи, перечисленные на K_2O .

Если щелочи нужно разделить и определить отдельно Na_2O и K_2O , рекомендуется поступать следующим образом. Хлористые соли растворяют после взвешивания в воде; полученный раствор выпаривают с раствором хлорной кислоты. Для полного удаления соляной кислоты повторно растворяют в воде и снова выпаривают. Наконец дают остатку остыть, прибавляют спирта и небольшое количество хлорной кислоты; при помешивании выделяется хлорнокислый калий, который при отсасывании фильтруют через взвешенный тигель с плотным фильтром из стеклянной ваты, промывая спиртом. Тигель с содержимым высушивают при 130° и по охлаждении взвешивают.

Результат: KClO_4 .

Отсюда вычисляют количество K_2O , умножая на 0,3399.

СОКРАЩЕННЫЕ И УСКОРЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА

В практическом производстве важно работать быстро, проводя одновременно целый ряд параллельных анализов. Для тех цементных заводов, которые вынуждены по нескольку раз в день контролировать в своем сырье содержание магнезии, рекомендуется следующий метод.

1. Определение магнезии. Для серийных анализов, имеющих целью определение магнезии, Зетер и Крамер предложили удобный и простой способ, требующий один, самое большее — полтора дня. 2 г сырого материала разлагают соляной кислотой в фарфоровой чашке, разбавляют водой нагревают до кипения и осаждают избытком аммиака и шавелевой кислотой — глинозем, окись железа и известь. Жидкость с осадками выливают в литровую колбу, у которой приблизительно на $\frac{1}{4}$ высоты имеется маленький спусковой кран. Колбу быстро охлаждают в струе воды, наполняют до метки, хорошо взбалтывают и дают немного осесть, что происходит очень быстро, если осаждение производилось в горячем растворе, и жидкость была быстро охлаждена. Затем берут через спусковой кран 500 см³. Вместо специально приспособленной колбы можно взять также простую колбу и отбирать из нее 500 см³ пипеткой или сифоном. Взятую порцию жидкости отфильтровывают и насыщают аммиаком и осаждают магнию фосфорнокислым натрием. Все эти операции занимают приблизительно 2 часа.

Приблизительную количественную оценку содержания магнезии производят сравнением с контрольными осадками, находящимися в плотно закупоренных сосудах и полученными при одинаковых условиях из точно про-

анализированного материала, или центрифугируют в пробирках с узким градуированным концом или наконец точно определяют весовым способом.

2. Определение нерастворимого остатка в сырой цементной смеси. Это определение производится по Михаэлису. Высушенную при 105° смесь кипятят приблизительно 15 мин. в сильно разбавленной соляной кислоте, осаждают аммиаком, переводят остаток на фильтр и быстро промывают. При этом надо следить за тем, чтобы осадок был весь сосредоточен внизу фильтра, а не распределялся по всей его поверхности. Затем сушат фильтр пламенем бунзеновской горелки, направляя его сверху вниз, прокалывают фильтр с осадком в платиновом или фарфоровом тигле и взвешивают; по величине осадка, состоящего из глинистых веществ, можно судить о содержании углекислой извести в смеси. При описанном способе определения остатка можно с успехом производить фильтрование, промывание, высушивание и прокалывание в тигле Гуча. Таким образом в течение приблизительно 2 час. можно определить состав цементной сырой смеси.

3. Определение гидромодуля цемента. Прокалывают 2 г цементной сырой смеси над паяльной горелкой, определяя таким образом попутно потерю при прокаливании. Содержимое тигля смывают небольшим количеством воды в фарфоровую чашку и разлагают соляной кислотой и вместе с выделившейся кремнекислотой осаждают в горячем растворе аммиаком также глинозем и окись железа. Осадок отфильтровывают, промывают горячей водой, прокалывают и взвешивают как сумму $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$. Горячий фильтрат насыщают обычным порядком аммиаком и щавелевой кислотой, отфильтровывают, выделенную известь сильно прокалывают и взвешивают CaO . Оба определения можно произвести в один день.

4. Титрование извести и углекислого кальция. Если наряду с текущими газометрическими анализами для определения CaCO_3 посредством кальциметра хотят определить содержание окиси кальция или углекислого кальция в каком-нибудь материале, например известняке, извести, сырой смеси и т. д., то объемный анализ и здесь является очень удобным методом при наличии готовых титрованных растворов нормальной соляной кислоты и нормального едкого натра. В качестве индикатора лучше всего брать спиртовой раствор фенолфталеина, который остается бесцветным в кислых растворах, но уже при малейших следах едкого натра принимает интенсивную красную окраску. Рекомендуются, особенно при темно окрашенных растворах, употреблять фенолфталеиновую бумагу, располагая ее полоски на стенках сосуда, в котором ведется титрование.

Для титрования углекислой извести навеску ровно 1 г помещают в небольшой стакан Филиппса емкостью в $300-400 \text{ см}^3$, промывают приблизительно 100 см^3 воды и осторожно добавляют 20 см^3 нормальной соляной кислоты. Затем присоединяют короткий обратный холодильник и умеренно кипятят жидкость в течение 5 мин., чтобы выделить всю углекислоту, охлаждают, прибавляют фенолфталеина и титруют обратно излишек соляной кислоты нормальным едким натром до появления красного цвета. Так как каждый кубический сантиметр нормального едкого натра соответствует 1 см^3 нормальной соляной кислоты, то разность между количеством прилитой соляной кислоты и количеством едкого натра, пошедшего для обратного титрования, покажет число кубических сантиметров нормальной соляной кислоты, потребленной для разложения содержавшегося в навеске углекислого кальция.

Молекулярный вес CaCO_3 равняется 100. Один моль CaCO_3 нейтрализует два моля HCl :



Эквивалентный вес CaCO_3 составляет $\frac{100}{2} = 50$.

50 г CaCO_3 нейтрализуют ровно 1 л (1000 см³) нормальной соляной кислоты, а 1 г CaCO_3 соответствует $\frac{1000}{50} = 20$ см³ нормальной кислоты.

Обратно, 20 см³ нормальной соляной кислоты отвечают ровно 1 г чистой CaCO_3 . Если на навеску в 1 г материала в действительности израсходовано 12 см³ кислоты, то она содержит $\frac{12 \cdot 100}{20} = 60\%$ CaCO_3 .

Момент насыщения узнается по красной окраске раствора благодаря фенолфталеину; приближение этого момента дает однако себя знать уже тем, что осадок начинает собираться в хлопья. Это зависит от следующих химических реакций. Если к веществу прибавлять соляной кислоты, то она прежде всего связывается с известью, а потом — с полуторными окислами ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$), после чего остается небольшое количество свободной кислоты. Если затем нейтрализовать раствор, приливая едкого натра, то он в обратном порядке будет сначала нейтрализовать свободную кислоту, а вслед за тем — соединиться с кислотой, связанной с полуторными окислами, которые при этом постепенно выделяются в виде гидратов окисей. Когда эта реакция окончена, достаточно одной капли раствора щелочи, чтобы жидкость получила щелочную реакцию, вызывающую в присутствии фенолфталеина красное окрашивание. Образование хлопьевидного осадка и делающееся все более медленным обесцвечивание падающих в жидкость капель щелочи представляют собою особенно для неопытного глаза два очень надежных признака наступления конца реакции.

Определение содержания в извести CaO , а при надобности также содержания углекислой извести CaCO_3 совершается в два приема.

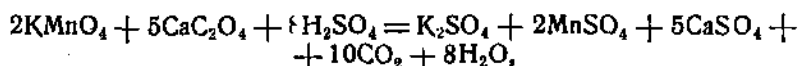
Сначала определяют свободную CaO , для чего отвешивают 100 г как можно более тщательно отобранной средней пробы извести, гасят ее тщательно водой, переносят тесто в полулитровую колбу, и наполняют водою до метки. Затем, тщательно взболтав, берут пипеткой 100 см³ и сливают в другую полулитровую колбу, которую также наполняют до метки, тщательно взбалтывают и берут для анализа 25 см³ раствора, что соответствует 1 г извести. К этой порции прибавляют немного фенолфталеина и титруют окрасившуюся жидкость нормальной кислотой до тех пор, пока не исчезнет розовый цвет в момент, соответствующий нейтрализации CaO и началу выделения углекислоты из CaCO_3 , причем в этот момент лишь следы его окажутся разложенными. Каждый кубический сантиметр нормальной соляной кислоты соответствует при этом 0,028 г CaO . После определения CaO опять прибавляют определенное количество кубических сантиметров нормальной соляной кислоты, кипятят для удаления всей углекислоты, после охлаждения раствора подвергают его обычным порядком обратному титрованию раствором едкого натра. В результате определяется CaCO_3 .

Другой способ состоит в том, что свободная известь титруется вместе с углекислой известью сразу на CaO , затем определяется отдельно сама углекислая известь или содержащаяся в ней CO_2 и после соответственного

пересчета по разности определяется количество свободной извести (ср. также: Тредвелль „Количественный анализ“) ¹.

5. Определение извести в сырой цементной смеси, цементе и доменных шлаках. В заводской практике, в тех случаях, когда сырая смесь наряду с углекислой известью содержит также свободную известь или же, как например в доменных шлаках, известь, связанную с кремнекислотой, ее содержание приходится определять по специальному способу. 1 г пробы взмучивают в конической колбе с несколькими см³ воды; приливают 15—20 см³ концентрированной соляной кислоты и кипятят 2—3 мин.; в еще горячем растворе осаждают аммиаком полуторные окислы, причем надо избегать избытка аммиака; для выделения марганца осторожно, по каплям, прибавляют бромную воду до бледножелтого окрашивания жидкости. Фильтрат слегка подкисляют соляной кислотой, прибавляют уксуснокислый натрий в кристаллах или в виде раствора и затем нагревают до кипения и осаждают известь щавелевокислым аммонием. Отфильтрованный и промытый щавелевокислый кальций смывают с фильтра горячей водой в коническую колбу и растворяют в 10—15 см³ серной кислоты 1:5. Щавелевокислый кальций титруют раствором марганцевокислого калия.

Реакция протекает по уравнению:



т. е. 316,06 г KMnO_4 соответствуют 200,45 г Са, или 280,5 г СаО.

N/10 раствор марганцевокислого калия содержит в 1 л 3,1606 г KMnO_4 ; 1 см³ соответствует 2,805 мг СаО.

Кюль и Класе разработали еще более быстрый метод. 0,2 г сырой смеси взмучивают с небольшим количеством воды в стакане емкостью 400 см³ и кипятят 5 мин., добавив крепкой соляной кислоты; после прибавления водю осаждают полуторные окислы аммиаком; затем в еще кипящем растворе осаждают известь при помощи 50 см³ титрованного раствора щавелевокислого аммония (децинормального), энергично взбалтывая в течение 1 мин., после этого еще горячую жидкость переливают в измерительную колбу емкостью 300 см³, после охлаждения дополняя ее водю до метки. В отфильтрованной аликвотной части 100 см³ определяют посредством марганцевокислого калия излишек щавелевокислого аммония в сернокислом растворе, к которому, чтобы парализовать действие перекисей, прибавляют 5 см³ концентрированного раствора сернокислого марганца.

Кюль и Класе приводят следующий пример расчета:

титр раствора щавелевокислого аммония — 0,1537;

титр раствора марганцевокислого калия — 0,1404.

50 см³ щавелевокислого раствора соответствуют 54,75 см³ раствора марганцевокислого калия;

1 см³ раствора марганцевокислого калия определяет $28,05 \cdot 0,1404 = 3,938$ мг СаО;

¹ Для определения содержания извести в смесях $\text{CaCO}_3 - \text{CaO}$, например в слишком сильно высушенной сырой смеси (см. ниже), материал тонко растирают с углекислым аммонием, увлажняют его и сушат при 110° в сушильном шкафу, причем происходит полное превращение в CaCO_3 . После этого поступают обычным образом.

Навеска вещества для анализа — 200 мг.

В одном случае для обратного титрования 100 см³ анализируемого раствора пошло 7,5 см³ марганцевокислого калия, что на все 300 см³ составило бы 3·7,5 = 22,5 см³. Так как взятые для осаждения 50 см³ раствора щавелевокислого аммония потребовали бы на себя 54,75 см³ раствора хамелеона, то на осажденную известь приходится разность, т. е. 54,75 — 22,50 = 32,25 см³.

Отсюда процентное содержание извести во взятом для анализа веществе определяется следующим расчетом:

$$x = \frac{32,25 \cdot 3,938 \cdot 100}{200} = 63,5 \text{ CaO.}$$

Определение нерастворимого остатка в цементе производится по стандартному методу анализа.

Возможность такого рода определения с химической точки зрения объясняется тем, что соляная кислота в разведенном растворе силикатов („гидрозоль“, от solutio — раствор) не вызывает выделения кремневой кислоты, хотя разложение силикатов фактически уже произошло. Это зависит от коллоидального состояния кремневой кислоты, которая лишь при выпаривании раствора постепенно выделяется в виде студенистой массы (гель от Gelatine — студень), и вследствие своей первоначальной весьма пористой ячеистой структуры пронизана жидкостью, наподобие губки. Только при полном высушивании до 130°С происходит переход в необратимый гель, т. е. полное отделение кремнекислоты; если же коллоидальная кремнекислота при полном высушивании потеряет только часть воды, то она вновь может при прибавлении воды перейти в раствор, что совершается, даже в случае весьма совершенного выделения воды, от прибавления ничтожных количеств едкой щелочи.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНГИДРИТА В ГИПСЕ

Чтобы быстро схватывающийся портланд-цемент превратить в медленно схватывающийся, к нему прибавляют гипс, однако в небольшом количестве, чтобы не превзойти допустимое стандартом в цементе содержание не более 2,5% серной кислоты SO₃. Сернокислый кальций встречается в природе в виде гипса CaSO₄·2H₂O и ангидрита CaSO₄. Последний по причине плохой растворимости не оказывает большого влияния на продолжительность схватывания и может поэтому легко привести к недоразумениям и порче цемента. Вот почему важно знать, имеем ли мы дело с гипсом, ангидритом или с их смесью.

В чистом виде состав этих минералов следующий:

	Гипс в %	Ангидрит в %
Кристаллизационной воды	20,93	0,00
Извести	32,56	41,18
Серной кислоты SO ₃	46,51	58,82

Посредством анализа следовательно легко установить, имеем ли мы дело с гипсом или ангидритом. Так как встречающийся в природе гипсовый камень содержит в большинстве случаев только небольшое количество примесей, например песка, то достаточно определить содержание кристаллизационной воды, чтобы судить о том, содержит ли в себе гипс ангидрит и в каком количестве.

Расчет производится так: 20,93 ч. кристаллизационной воды отвечают 100 ч. двуводного гипса, значит, найденное в породе количество кристаллизационной будет соответствовать следующему процентному содержанию в ней гипса:

$$\% \text{ CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{100 \times \text{найд. кол. крист. воды}}{20,93}.$$

Если например гипсовый камень содержит 18% кристаллизационной воды, то содержание в нем $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ будет:

$$\frac{18 \cdot 100,00}{20,93} = 86,00\%.$$

Определение кристаллизационной воды требует соблюдения ряда предосторожностей. На основании большого ряда опытов можно рекомендовать следующий метод. Нужно исходить из воздушно-сухой пробы гипса, раздробленного на кусочки величиной с горошину.

Гигроскопическая вода. Навеску 1—2 г воздушно-сухой, тонко измельченной для анализа пробы сушат в сушильном шкафу при 80—85° в течение 2½ час. и взвешивают после охлаждения в эксикаторе.

Кристаллизационная вода. Ту же самую навеску нагревают в течение 3 мин. над бунзеновской горелкой таким образом, чтобы между дном тигля и пламенем оставался свободный промежуток в 2 см; затем медленно увеличивают пламя до тех пор, пока оно не дойдет до дна тигля; нельзя переходить темнокрасное каление; нагревание продолжают 20—30 мин. Таким образом в одной и той же навеске определяют гигроскопическую и кристаллизационную воду. По вышеприведенным данным вычисляется содержание гипса или ангидрита.

Пример. Анализ материала, представленного как ангидрид, показал следующие результаты (в процентах):

Песок	0,51
Известь	40,33
Серя. кислота SO_3	57,61
Крист. вода	1,45
Неопред. остаток	0,10
	100,00

Минералогический состав вышеназванной породы подсчитывается в следующем виде (в процентах):

Песок	0,51
Гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	6,93
Ангидрит (CaSO_4)	92,46
Неопред. остаток	0,10
	100,00

АНАЛИЗ БЕТОНА¹

Установление причин недоброкачества бетона часто является задачей, которую ставят перед химиком цементного завода.

Так как бетон, во-первых, состоит из цемента и инертных веществ,

¹ Burchartz, Die Prüfung von abgebundenem (erhärteten) Zementmörtel und-beton sowie von Kalkmörtel auf mechanische Zusammensetzung (Mischungsverhältnis von Bindemittel zu Zuschlagstoff) „Mitteilungen aus dem Königl. Materialprüfungsamt“, 1906 und 1912, стр. 112.

во-вторых, получается помощью их механической переработки, то недостатки в нем могут зависеть как от взятых для его изготовления материалов, так и от способов его изготовления и применения; в отдельных случаях неудачи зависят от того и другого вместе.

Химик цементного завода, понятно, не может входить в вопросы возможного неправильного изготовления или применения бетона; его компетенции подлежит только качественная оценка материалов. Для этого необходим или во всяком случае желателен анализ не только готового продукта, т. е. самого бетона, но также и исходных материалов.

Если еще имеются налицо образцы всех трех материалов, можно дать совершенно точный анализ, ход которого примерно следующий. Отбирают в возможно большем количестве однородные пробы, особенно от бетона, сушат их слегка подогретым воздухом (40—50°), измельчают и просеивают через сито 144 отверстий на 1 см. Потом отвешивают из бетона или щебня (или гравия) по 10 г, а цемента — 2 г и анализируют все три материала обычным путем, как указано для анализа глины. Надо при этом иметь в виду, что определение потери при прокаливании бетона необходимо производить в отдельной пробе, так как можно притти к преувеличенному содержанию растворимых веществ.

Ход анализа следующий:

- цемент анализируется обычным способом;
- в щебне (гравии) и бетоне определяются: потеря при прокаливании, нерастворимый в соляной кислоте остаток, растворимое в соляной кислоте: SiO_2 , R_2O_3 , CaO , MgO и SO_3 , остаток по разности.

Расчет по результатам этих трех анализов производится согласно следующему примеру (по данным лаборатории Тониндустрии, „TIZ“ 1909—197).

Анализ дал следующие результаты:

Таблица 4

	Бетон в %	Цемент в %	Гравий в %
Потеря при прокаливании	8,59	3,83	3,16
Нерастворимый остаток	73,30	0,00	92,80
Растворимое в соляной кислоте			
Кремнекислота	3,34	21,49	0,20
Полуторные окислы	2,13	9,93	0,96
Известь	11,75	62,57	2,70
Магнезия	0,61	2,00	0,21
	99,72	99,82	100,03

Общее количество нерастворимого остатка в бетоне следует почти целиком отнести за счет гравия. На 73,30 ч. нерастворимого согласно анализу гравия приходится следующие количества потерь при прокаливании и растворимых веществ (в процентах):

Потеря при прокаливании	3,16 · 73,30	2,49
	92,80	
Растворимой кремнекислоты		0,15
Полуторных окислов		0,75
Извести		2,13
Магнезии		0,16

5,68

За счет гравия относятся таким образом 73,30 ч. нерастворимого остатка и 5,68 ч. других веществ, — всего 78,98% бетона.

Остальное количество растворимых составных частей бетона приходится на долю цемента, а именно (в процентах):

Растворимой кремнекислоты	3,19
Полуторных окислов	1,38
Извести	9,62
Магнезии	0,45
	14,64

Применявшийся для бетона цемент имел потерю при прокаливании 3,83%, поэтому к этим 14,64% растворимых частей, приходящихся на долю цемента, надо причислить $\frac{14,64 \cdot 3,83}{99,82 - 3,83} = 0,58\%$ летучих составных частей. Таким образом в бетоне содержится $14,64 + 0,58 = 15,22\%$ цемента и состав бетона таков (в процентах):

Потери при прокаливании	5,52
Цемент	15,22
Гравия	78,98
	99,72

Весовая пропорция смеси составляет $\frac{15,22}{78,98} = \frac{1}{5,19}$.

Из веса единицы объема цемента (оказавшегося равным 1,076) и веса единицы объема гравия (1,690), получается пропорция смеси по объему:

$$\frac{1}{1,076} : \frac{5,19}{1,690} = 1:3,3.$$

Если кроме образца бетона имеется только гравий или только цемент, то делают анализ, например цемента, и определяют в нем потерю при прокаливании, нерастворимый остаток и растворимые в соляной кислоте вещества (SiO_2 , R_2O_3 , CaO , MgO , SO_3). Если, принимая во внимание величину потери при прокаливании, окажется, что составные части, извлеченные из бетона кислотой, будут иметь тот же состав, как и цемент, то можно с уверенностью все количество растворимых составных частей отнести за счет вяжущего материала. Вычисление пропорций смеси производится обычным образом.

Очень важно и удобно, если есть возможность проанализировать гравий; тогда определяют вещества как нерастворимые в соляной кислоте, так и растворимые составные части.

Количество содержащихся в бетоне растворимых веществ складывается из:

- а) части, происходящей из цемента,
- б) растворимых частей, содержащихся в гравии.

Для вычисления количества вяжущего материала вычитают количество содержащихся в гравии растворимых составных частей из найденного в бетоне общего количества растворимых и получают следующий состав бетона:

- 1) нерастворимое в соляной кислоте,
- 2) растворимое в кислоте из гравия,
- 3) растворимое в кислоте из цемента.

Отсюда непосредственно можно вычислить состав смеси.

Если наконец не имеется ни одного из исходных материалов — ни це-

мента, ни гравия, то анализ бетона может дать удовлетворительный результат только при известных условиях.

Надлежащее количество бетона в течение длительного периода времени обрабатывают горячей соляной кислотой, декантируют и промывают нерастворимый остаток горячей водой; затем его обрабатывают горячим 5%-ным раствором соды, снова промывают горячей водой, высушивают и взвешивают. Разность между взятым количеством бетона и нерастворимым остатком представит, если допустить простейшее предположение, содержание в бетоне нерастворимого вяжущего вещества в затвердевшем виде. Затем определяют во второй пробе потерю при прокаливании и вычисляют по ней содержание в испытуемом материале вяжущего вещества в его исходном состоянии.

В некоторых, правда, очень редких случаях, а именно при очень чистых кварцевых песках, этот способ еще может дать более или менее удовлетворительные результаты, если в солянокислой вытяжке определить гидравлический модуль перешедшего в нее цемента. Если при этом окажется, что приблизительно на 20 ч. кремневой кислоты + 10 ч. полуторных окислов приходится приблизительно 60 ч. извести, то можно из этого заключить с некоторой уверенностью, что совокупность растворимых частей представляет собою почти исключительно цемент и что в гравии растворимых в кислоте веществ почти не содержится (ср. также статью Framm, „TZ“, 1909, стр. 1193, или „Protokoll der Verhandlungen des Vereins deutscher Portland-Zement-Fabrikanten“, 1909, стр. 265).

Если бетон кроме цемента содержит еще также известь или в виде инертной добавки кроме кварцевого песка еще углекислую известь в виде известняка или ракушечника в значительном количестве, то можно производить расчет на основании найденного количества растворимой кремнекислоты; к ней присчитывают глинозем, окись железа, известь, магнезию и серную кислоту, получая в сумме все составные части цемента. При этом надо принимать во внимание растворимую кремнекислоту, содержащуюся в добавке; по Фрамму и Шиндлеру¹ в инертных в большинстве случаев содержится едва ли больше 0,4 - 0,5% растворимой кремнекислоты.

Часто дело идет не столько об определении состава смеси, сколько об установлении причин недоброкачества бетона. Возможные причины недоброкачества бетона настолько разнообразны, что потребовалось бы составление специального руководства, исчерпывающего в скольконибудь достаточном виде громадную область „болезней бетона“. Мы ссылаемся поэтому на многочисленные сообщения в журналах „Tonindustrie-Zeitung“ и в „Zement“, а также на книгу проф. Клейнлогеля „Einflüsse auf Beton“, Берлин 1925, и Richard Grün „Der Beton“, Берлин 1926; чтобы усвоить, что только опытный специалист может взять на себя исследование и экспертизу бетона, следует ознакомиться со статьей Фрамма „Исследование и экспертиза строительных растворов“ („Zement“ 1920, стр. 13).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОМЕННОГО ШЛАКА В ЦЕМЕНТЕ

По сравнению с другими гидравлическими вяжущими материалами портланд-цемент отличается однородностью составляющих его зерен и своим высоким удельным весом, который редко бывает меньше 3,04; между тем удельный вес доменного шлака обычно колеблется от 2,7 до 2,96. Поэтому

¹ „Protokoll der Verhandlungen des Vereins deutscher Portland-Zement-Fabrikanten“, 1909, стр. 265 и т. д.

для анализа их смесей применяют разделение частей с большим удельным весом от более легких помощью тяжелых жидкостей. Самой лучшей жидкостью для этой цели оказался иодистый метилен CH_2I_2 с уд. в. 3,33. Посредством смешивания этого вещества с бензолом (уд. в. 0,899) приготавливают разделяющие жидкости с уд. в. 3,05, 3,00, 2,96 и 2,7. Предварительным испытанием надо удостовериться, присутствует ли доменный шлак в данном вяжущем веществе.

а) Предварительные испытания:

1) Проба на сероводород. Несколько грамм испытуемого цемента смешивают в фарфоровой чашке с водой, к которой подбавляют 2—3 см³ соляной кислоты (1:1). По запаху сероводорода можно судить о присутствии доменного шлака.

2) Раскисление марганцевокислого калия. В склянке с притертой пробкой емкостью в 400 см³ тщательно взбалтывают 1 г исследуемого вещества с 100 см³ дистиллированной воды, прибавляют 50 см³ серной кислоты (1:5), быстро закрывают пробкой и сильно взбалтывают во избежание образования комков. Через 2 часа разложение заканчивается. Затем из бюретки приливают титрованный раствор марганцевокислого калия (2,3—2,4 г на 1 л) и титруют до заметной розовой окраски, остающейся при взбалтывании в течение приблизительно 5 мин. Если израсходуется KMnO_4 больше, чем 3,4 мг, то это указывает на присутствие доменного шлака.

3) Микроскопическое исследование. Просеивая 5—10 г вяжущего вещества на сите с 10 000 отв/см², получают на нем крупку, которую промывают затем смесью спирта с эфиром, для удаления приставшей к ее зернам пыли. При наличии большого количества шлака в сухом просеянном материале зерна шлака можно заметить уже невооруженным глазом. Под микроскопом, при увеличении в 50 раз, легко отличить зерна шлака и портландцементного клинкера; последние характеризуются темной зеленоватой окраской, непрозрачностью и по большей части имеют округлую форму с неровною поверхностью; зерна портланд-цемента многих заводов на ребрах несколько просвечивают. Вид зерен доменного шлака совсем иной; они имеют стекловатый излом с острыми ребрами и гладкой поверхностью — прозрачны, желтоватой окраски, при высоком содержании марганца имеют фиолетовый оттенок. При некотором навыке в работе с микроскопом ошибка исключена. Для большей уверенности растворяют часть крупки в соляной кислоте; осколки кварца останутся нерастворенными, хрустя под стеклянной палочкой.

б) Отделение шлака от портланд-цемента

Когда наличие шлака подтверждено предварительными испытаниями, его отделение производится посредством вышеупомянутых тяжелых жидкостей.

100—200 г цемента отсеивают на сите в 10 000 отверстий; полученную крупку промывают смесью спирта с эфиром, высушивают и затем извлекают металлическое железо. 10—20 г очищенной таким образом крупки осторожно вводят в смесь иодистого метилена и бензола, имеющую уд. в. 3,00, находящуюся в шарообразной делительной воронке емкостью 125 см³; водоструйным насосом отсасывают содержащиеся в крупке пузырьки воздуха, причем между насосом и воронкой включается предохранительная склянка с манометром; чтобы избежать слишком сильного вспенивания жидкости, следует медленно отсасывать воздух.

После этого воронку закрывают, несколько раз встряхивают и кладут

горизонтально на подставку, чтобы более тяжелые зерна скорее могли осесть. Через 3—4 часа воронку укрепляют в зажим штатива в вертикальном положении. Затем наблюдают, будут ли взмученные зерна опускаться или подниматься; лучше всего оставить воронку на ночь в указанном положении. Обе части: *a* — более тяжелую и *b* — имеющую уд. в. ниже 3,00, раздельно отфильтровывают, промывают бензолом и высушивают.

Для дальнейшего разделения полученных двух порций берут две воронки Гарадаса. Первую часть *a* обрабатывают описанным уже порядком смесью с уд. в. 3,05, а вторую часть *b* — смесью с уд. в. 2,96. В результате такой обработки порция *a* разделяется на зерна тяжелее 3,05, т. е. зерна портланд-цемента и на зерна с уд. в. между 3,0—3,05, состоящие главным образом из смеси слабообожженного портланд-цемента и шлака. Порция *b* разделяется на часть, содержащую зерна с удельным весом между 2,96 и 3,00 (аналогичную по составу второй части с уд. в. 3,0—3,05) и на более легкую часть, состоящую главным образом из шлака и других весьма легких зерен. Наконец эта последняя более легкая часть обрабатывается еще смесью иодистого метилена и бензола, имеющей уд. в. 2,7, благодаря чему из шлака (уд. в. 2,7—2,96) выделяются зерна с уд. в. ниже 2,7, т. е. зерна гипса, угля и кокса, золы и песка. Таким образом получают пять фракций:

Фракция 1: тяжелее 3,05; портландцементный клинкер.

Фракция 2: между 3,0—3,05; в большинстве случаев смесь следов шлака и слабо обожженного клинкера.

Фракция 3: 2,96—3,0, состав аналогичен фракции 2.

Фракция 4: 2,7—2,96, доменный шлак.

Фракция 5: легче 2,6; состоит из следов шлака и зерен гипса, угля, кокса, золы, песка.

Каждую фракцию исследуют еще под микроскопом, причем особенное внимание уделяется фракциям 1 и 4. Если они не окажутся чистым клинкером и чистым шлаком, то необходимо повторить разделение.

Для вычисления содержания шлака нужно знать содержание сернистых соединений как во взятом цементе, так и во фракциях 1 и 4.

Формула для вычисления такова:

$$X = \frac{100(c - b)}{a - b},$$

где X — искомое содержание шлака,

a — содержание сернистых соединений в шлаке,

b — содержание сернистых соединений в клинкере, тяжелее чем 3,05,

c — содержание сернистых соединений во взятом цементе.

Пример: $a = 2,25\%$ сульфидной серы

$b = 0,69\%$ " "

$c = 0,96\%$ " "

Следовательно

$$X = \frac{100(0,96 - 0,09)}{2,25 - 0,09} = \frac{87}{2,16} = 40,28\%.$$

Полноты ради, в испытуемом цементе, а также во фракциях 1 и 4 определяется еще содержание кремнекислоты, глинозема и окиси железа, извести и магнезии.

Найденное посредством такого анализа и определения сульфидной серы

количественное содержание доменного шлака в данной смеси нельзя рассматривать как точное; пределы ошибки могут доходить до нескольких процентов.

АНАЛИЗ ТОПЛИВА И ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

1. Для определения содержания влаги в угле или коксе 3—5 кг грубо раздробленной пробы раскладывают на подходящей подкладке и высушивают при 18—20° до постоянного веса. Потеря, которая рассчитывается на 100, обозначается как „вода“ (при воздушной сушке).

Для дальнейшего анализа средняя проба воздушно-сухого угля измельчается до тех пор, пока на сите в 900 отверстий больше не будет остатка. Эта проба, приблизительно 100 г, сохраняется в плотно закрытой склянке.

2. Гигроскопическая влага определяется в навеске 5 г, которую нагревают в течение 2 час. в стаканчике для взвешивания в сушильном шкафу при 105°. Плотнo закрытый стаканчик снова взвешивается после охлаждения в эксикаторе.

3. Для определения количества золы берут кварцевый тигель, так как платина сильно разъедается при этих анализах. Отвешивают 2 г горючего и сжигают при доступе воздуха в наклонно поставленном тигле.

4. Чтобы установить коксуюемость 1 г угля в платиновом тигле среднего размера, не менее 3 см высотой, с плотно закрытой крышкой, нагревают до тех пор, пока больше не будет выходить заметных количеств горючего газа между краем тигля и крышкой. Дно тигля должно находиться на 3 см выше отверстия бунзеновской горелки, пламя должно быть по крайней мере 18 см высотой; испытание продолжается только несколько минут. Эта процедура только при одинаковых тиглях дает сравнимые цифры.

5. Сера, присутствие которой, особенно при производстве портланд-цемента, имеет большое значение, определяется по методу Эшка. Смешивают 1 г очень тонко измельченного угля с 1,5 г магнeзии и 0,5 г обезвоженной соды и нагревают смесь около 2 час. в открытом, наклонно поставленном тигле, пока не выгорит весь уголь. Затем массу дают остыть и смывают содержимое тигля в стакан, в который заранее налита бромная вода; излишек брома потом удаляют кипячением. Затем жидкость подкисляют соляной кислотой, фильтруют, нагревают до кипения и осаждают горячим раствором хлористого бария. Дальнейшая обработка происходит, как уже описано. Результаты — довольно точные.

6. Технический и ускоренный анализ. Имея данные о содержании в воздушно-сухом угле гигроскопической воды, золы и кокса, составляют так называемый ускоренный технический анализ. Вычитая из кокса золу, получают содержание твердого углерода. При определении содержания кокса одновременно определяются летучие составные части. После вычета содержания гигроскопической влаги, остаются летучие горючие вещества.

7. Теплотворная способность угля или вычисляется по элементарному анализу¹ или, еще лучше, непосредственно определяется в калориметре². Самым удобным является калориметр Бертло-Маллера. Существенную часть его составляет бомба для сжигания, медный, снабженный мешалкой изолирующий сосуд с двойными стенками и термометр. Последний разделен на сотые доли градуса, так что посредством лупы можно от-

¹ Holde, Erfahrungen mit neueren Apparaten zur Elementaranalyse (Dinnstedt und Hereus-Ofen), „Mitteilungen des Königl. Materialprüfungsamtes“, 1906.

² Winkelmann, Die Bestimmung des Heizwertes, Frankfurt 1919.

считать даже до $\frac{1}{1000}$ градуса. Уголь кладется в бомбу спрессованным в маленькие брикеты, бомба наполняется сжатым кислородом до тех пор, пока манометр не будет показывать 25 ат, а затем помещается в сосуд калориметра. Зажигание производится посредством железной проволоки, которая раскаляется электрическим током.

Для определения количества серной и азотной кислоты в продуктах сжигания угля в бомбе, ее содержимое смывают после окончания опыта в стакан, определяют титрованием общее количество кислот, а потом в отдельности определяют серную кислоту весовым анализом, осаждая хлористым барием.

8. Для определения теплопроизводительности газообразных горючих веществ, например генераторного газа, калошникового водяного и т. д., применяют газовый калориметр Юнкерса¹.

9. Для анализа дымовых газов, т. е. для суждения главным образом о правильном количестве воздуха, введенного в топку или печи для горения, служит аппарат Орса. Он дает возможность с достаточной для технических целей точностью установить в дымовых газах процентное содержание углекислоты, окиси углерода, кислорода и азота². По результатам анализа дымовых газов можно сделать следующие заключения:

а) если в газах содержится значительное количество окиси углерода, значит налицо недостаток воздуха для горения и неполнота сгорания;

б) если в них наряду с наличием кислорода окиси углерода не содержится, то сгорание хотя и полное, но есть избыток воздуха, который без надобности охлаждает топочное пространство и дымовые газы;

в) если наряду с существенным содержанием окиси углерода в газах содержится также кислород, то горение — также неполное, что может происходить или от слишком низкой температуры в топке или от постороннего воздуха, не принимающего участия в процессе горения.

Современные регистрирующие аппараты для углекислоты и окиси углерода чрезвычайно облегчают контроль работы.

СВОЙСТВА И ИСПЫТАНИЕ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ДЛЯ КОТЛОВ

Для работы котлов на силовых станциях цементных заводов желательно применять возможно более чистую воду. Обыкновенная вода содержит двууглекислую известь, сернокислую известь, сернокислый магний, углекислую закись железа и т. д. Каждая 1 ч. СаО в 100 000 ч. воды, т. е. 0,01 г СаО в 1 л, отвечает одному немецкому градусу жесткости. Если жесткость воды составляет меньше 10°, то она „мягкая“, при жесткости в 10—20° она „среднежесткая“, выше 20° она называется „жесткой“, выше 30° — „очень жесткой“, а ниже 5° — „очень мягкой“.

„Общей жесткостью“ называют общее содержание СаО и MgO, рассчитанное на СаО, а „остающейся“ (постоянной) именуют обыкновенно ту жесткость, которая остается в воде после продолжительного ее кипячения, фильтрования и дополнения дистиллированной водой до первоначального объема: разность между этими двумя жесткостями называется „временной“ жесткостью. Содержание извести и магния в воде определяется обычными способами анализа, весовым путем или титрованием³.

¹ Lunge-Berl. J., стр. 346 и далее.

² Ср. „Zeitschrift für analyt. Chemie“, 1903, 42, 333.

³ H. K e n t, Untersuchung des Wassers an Ort und Stelle, Berlin 1922, und „Zeitschr. f. angew. Chemie“, 1902, 15, 198.

Для выбора мероприятий, направленных к устранению жесткости воды, важно знать состав содержащихся в ней солей. Менее вредными солями являются углекислый кальций и углекислый магний и, соответственно, их двууглекислые соли. При испарении в котлах такой воды они отделяются в виде рыхлого осадка, который ежедневно можно удалять через продувной кран.

Для очистки такой воды нужно к ней прибавить столько извести CaO , чтобы вся содержащаяся уже в ней известь перешла в углекислую, которая осаждается и отфильтровывается. Так же поступают для выделения магnezальных солей. Одновременно с осажденными солями выпадает и в надлежащих случаях может быть обратно получено и само осаждающее вещество. Несравненно более опасным источником для образования котельной накипи является сернокислый кальций (гипс), который осаждается в котле не рыхлым осадком, а в виде твердой корки. В качестве средства против этой соли употребляются сода, которая превращает сернокислую известь в углекислую вследствие реакции обмена. В последнее время очистка помощью извести и соды вытесняется очисткой пермутитом¹.

ПРОБНЫЙ ОБЖИГ

Необходимой принадлежностью химической лаборатории цементного завода является печь для пробных обжигов. Нужно ли произвести научный опыт или испытать новые сырые материалы, например новую глину, в смысле пригодности для производства, или же исследовать влияние добавок к смеси например плавикового шпата, колчеданных огарков и т. п., — для ответа на все эти вопросы необходима опытная печь. Зегеровская печь системы „Гейнеке“ оказалась для этих целей особенно подходящей благодаря чрезвычайно легкому уходу за ней. Она устроена для отопления газом и позволяет достигать температур до 1650° , легко контролируемых помощью конусов Зегера.

Емкость ее настолько велика, что можно обжечь достаточное количество цемента для производства с ним всех необходимых в практике испытаний. Одно из ее ценных преимуществ состоит в том, что обожженный продукт не загрязняется золой угля и не образуется продуктов реакций обжигаемого материала с футеровкой пода и стенок печи.

Во многих случаях оказались также целесообразными маленькие шахтные печи, выкладка которых легко может быть произведена каменщиком. Топливом для опытной шахтной печи служит мелкий газовый кокс. Для работы с такой печью требуется некоторый навык, так как на состав обожженного цемента зола кокса может оказать неблагоприятное влияние. Для научных исследований особенного внимания заслуживают электрические печи². Так как при этом в результате обжига получается незначительное количество материала, то для испытания механической прочности применяют аппарат проф. Кюля для определения сопротивления на изгиб малого размера образцов, а для испытания на сжатие — маленькие кубики с ребрами $1,41\text{ см}$ (с площадью грани 2 см^2), подвергаемые раздавливанию на 3-тонном прессе³.

СВОБОДНАЯ ИЗВЕСТЬ В ЗАТВЕРДЕВШЕМ ЦЕМЕНТЕ

Вопрос о содержании свободной извести в свежем, а также и в затвердевшем цементе, несмотря на многие опыты и исследования, остается еще

¹ Druckschrift L. 1 der Tonindustrie, Berlin NW 21. Apparate-Abteilung.

² Проф. Кюль, Химия цемента в теории и практике, Л. 1931.

³ „Protokoll des Vereins Deutscher Portland-Zement-Fabrikanten“, 1898.

не вполне разрешенным. Особенное значение имеет свободный гидрат окиси кальция в затвердевшем цементе, так как именно на его присутствии обосновывают применение для гидравлических растворов пуццоланических веществ, трассов и т. п.

В одной только статье Германа („Zement“ 1923, № 1) производится 14 реакций, указывающих на присутствие $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в цементе. Уже много лет назад ¹ русский ученый Лямин выделил, применяя метод тяжелых жидкостей, из измельченного, затвердевшего цемента вещество, которое благодаря его сравнительно низкому удельному весу (2,3) он признал чистым гидратом извести. На это последовали возражения со стороны Шотта, Фрезениуса, Вегнера и др. Гослих и Гарт („Zement“, 1923, № 20) повторили опыты Лямина и показали, что выделенное вещество имеет уд. в. ниже 2,23 и содержит наряду с известью много кремневой кислоты и полуторных окислов. Они вычислили, что во всей массе затвердевшего цемента едва ли может быть больше чем 1% $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Пассов младший („Zement“, 1923, № 12), нашел, по чисто химическому методу значительно большее количество $\text{Ca}(\text{OH})_2$. По его данным, 2 г очень тонко измельченного схватившегося цемента необходимо подвергнуть нагреву при 300° с 2 г углекислого аммония вплоть до полного удаления аммонийной соли. По количеству оставшейся химически связанной углекислоты вычисляется свободная известь. Гельвиг („Zement“, 1923, № 32/33) оспаривает ценность этого метода Пассова указанием, что схватившийся однокальцевый алюминат также поглощает углекислоту при нагреве с вышеназванной солью. Из этих кратких сообщений легко видеть, что проблема свободной извести в затвердевшем цементе ни в коем случае еще не разрешена ².

¹ Protokoll des Vereines Deutscher Portland-Zement fabrikanten, 1898.

² Эту главу книги Шоха переработал для четвертого издания д-р Гарт. Всепело на его ответственности остается это столь странное и в такой категорической форме выказанное утверждение. Как теперь, так и еще ко времени выхода в свет 4-го издания Шоха, на основании исчерпывающих американских, французских, многих немецких и наконец произведенных в СССР исследований, образование гидрата окиси кальция в затвердевшем цементе и при том в значительных количествах не подлежит сомнению. — В. Ю.

Глава IV

ГИПС

1. Гипс как вяжущий материал

а) Исторические данные

Для строительных растворов обожженным гипсом пользовались еще в глубокой древности; с несомненностью установлено, что египтяне применяли его еще при возведении пирамид и других монументальных сооружений. Позднее о гипсе как вяжущем веществе, повидимому, забыли, так как в остатках строений эпохи древнего Рима, известного искусством своих строителей, следов гипса не найдено. Только после переселения народов, уже в VII или VIII в., вновь наблюдается возврат к гипсу, причем он начал применяться в виде так называемого эштрих-гипса, а штукатурный гипс появился и стал применяться для изготовления растворов и лепных работ значительно позже, приблизительно на рубеже XIII и XVI столетий. В Германии сохранилось много средневековых зданий — церквей, крепостей, замков, сложенных на гипсовом растворе. В целях развития применения гипса в этом направлении в 1897 г. Германской государственной станцией испытания материалов (Берлин, Гросс-Лихтерфельде) была образована комиссия из специалистов; ее задачей явилось обследование главнейших оставшихся от средневековья зданий, расположенных в районах крупных залежей гипса, и по взятии из названных зданий проб гипсовых растворов — исследование их механической прочности и химического состава.

Пробы, взятые из стен городских укреплений Нордгаузена, монастыря Валькенрида, из стен Лорских укреплений на склонах Гайна и замка Кифгейзер, за редкими исключениями, показали высокую прочность на сжатие, от 200 до 400 кг/см² и очень небольшую водопоглощаемость. К растворам, повидимому, примешивали куски сырого гипса величиной с лесной орех, и только для несущих частей зданий брали чистый гипсовый раствор. В отношении химического состава, результаты дают поразительное совпадение с данными, полученными проф. Ратгеном при его исследованиях различных египетских сооружений, послуживших темой для доклада, сделанного им на заседании Германского союза гипсовых фабрикантов в 1911 г.¹ В египетских гипсовых растворах наряду с химически чистым обожженным гипсом, установлено кроме того наличие кристаллов сырого гипса, а также зерен кварца и силикатных горных пород величиною до 1 см; химический состав растворов дает основание предполагать, что египтяне или

¹ „Ber. DGV“, 1911.

прибавляли к гипсовым растворам гашеную известь или подвергали совместному обжигу куски гипса и известняка.

Во всяком случае оба исследования доказали, что гипс в применении для растворов дает прекрасные результаты как в отношении механической прочности на сжатие, так и в отношении сопротивляемости выветриванию; поэтому в ряде случаев гипсовые растворы могут конкурировать с цементом или известью. В зависимости от высоты температуры обжига (до 1400°) и его продолжительности из гипса получаются вяжущие вещества, обладающие весьма различными свойствами. Различие в свойствах разных видов обожженного гипса послужило поводом для обстоятельных химико-технических исследований этого материала, выполненных за последние годы. Прежде всего следует указать на работы Глазенапа и вант-Гоффа, а также химика Мойе. Дальнейшие исследовательские работы в этой области происходили в связи с задачей использования входящей в состав гипса серной кислоты в химической промышленности и послужили пополнению сведений о свойствах гипса как вяжущего вещества.

б) Разновидности гипса

По Глазенапу¹ различают следующие виды гипса.

Температура обжига:

1. — Сырой гипс — $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$.
2. 107° С. Полученный обжигом чистого гипсового камня полуводный гидрат $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$. Нормальный штукатурный гипс.
3. 107—200° С. Полуводный гидрат, который схватывается немного быстрее или медленнее нормального штукатурного гипса, соответственно большему или меньшему (дальнейшему) обезвоживанию полугидрата.
4. 200—300° С. Гипс, в незначительном количестве содержащий остатки воды, поэтому схватывается очень медленно, но достигает большой прочности.
5. 300—450° С. Быстро схватывается; дает малую прочность.
6. 500—750° С. Гипс, не содержащий воды, медленно или совсем не схватывается. Эту разновидность гипса называют мертвообожженным гипсом с формулой CaSO_4 .
7. 750—800° С. Начало образования эштрих-гипса.
8. 800—1000° С. Нормальный эштрих-гипс.
9. 1000—1400° С. Эштрих-гипс с заметным содержанием „свободной извести“, схватывается быстрее нормального.

Температурные интервалы, которые положены в основу вышеизложенной классификации, конечно нужно рассматривать лишь как приближенные ввиду того, что, как уже было указано, переход одной разновидности гипса в другую происходит постепенно, и результат обжига определяется не только температурой, но также и длительностью нагрева. Особенное значение это имеет для гипса, обжигаемого при температурах от 200 до 460°, так как различное содержание воды в продукте обуславливает весьма различные

¹ Glazenapp, Stuckgips. 1909.

сроки схватывания. Равным образом в отношении продуктов обжига при температурах 1000°, несмотря на обстоятельные работы Глазенапа, требуются еще дальнейшие исследования.

в) Выделение кристаллизационной воды, полуводный гидрат, растворимый ангидрит

Гипс представляет собою сернокислую известь и, входя в состав гипсового камня, содержит две частицы кристаллизационной воды: $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$. Во время обжига при повышении температуры кристаллизационная вода все в большей и большей степени удаляется. Если проследить за молекулярными соотношениями во время нагрева, то можно установить, что процесс выделения воды происходит довольно резко разграниченными ступенями. Нагревание вызывает постепенный рост давления паров кристаллизационной воды, приводящей к ее отщеплению. Однако этот момент наступает лишь тогда, когда давление превосходит давление внешней атмосферы. При 100° давление кристаллизационной воды составляет 711 мм, т. е. оно меньше, чем давление насыщенного пара при той же температуре, равное 760 мм. Эта разница объясняется тем, что молекула CaSO_4 с известной силой удерживает связанную с ней воду, тогда как несвязанной воде не приходится преодолевать такого внутреннего противодействия. По аналогии можно сказать, что „точка кипения“ кристаллизационной воды гипса лежит при температуре 101,5°. При этой температуре давление кристаллизационной воды делается равным атмосферному — 760 мм, и следовательно следовало бы ожидать выделения $\frac{3}{4}$ ч. воды и перехода дву-гидрата в полугидрат.

В действительности разложение двуводного гипса на полугидрат и воду внезапно наступает и бурно происходит только при 107°С (давление 971 мм). Это явление, в особенности при точных лабораторных опытах, когда в замкнутом пространстве отделяется капельножидкая вода, до такой степени характерно, что Вант-Гофф¹, которому вместе с его сотрудниками мы обязаны этими данными, рассматривает эту реакцию как плавление гипса в своей кристаллизационной воде, а критическую температуру 107° прямо обозначает как „точку плавления“ гипса.

Линк и Юнг² точным исследованием установили, что гипс имеет также две „точки кипения“ в процессе его обезвоживания: одну при температуре 120° для двуводного и другую — при температуре 170° для полуводного гипса.

В практике этот процесс требует несколько высшей температуры, и выделение кристаллизационной воды эффективно протекает только при температуре не ниже 128° (Лешателье); при этом из 20,9% кристаллизационной воды выделяется 15,7%.

Как уже было отмечено, при нагревании гипса сказывается не только высота температуры, но также и продолжительность нагрева. Вант-Гофф, Ферр, Нелле и Ледюк (1907) доказали, что нагрев до 63—70° оказывается уже достаточным для медленного перехода двугидрата в полуводный при условии воздействия указанных температур в течение достаточно долгого времени (несколько недель). Известно, что под действием солнечных лучей

¹ „Z. f. Phys. Chemie“, 1903, XIV. 3.267.

² Zeitschr. f. anorg. u. allg. Chemie Bd. 137. Juli 1927, стр. 407.

наблюдается ускорение распада гипсового камня в жарких странах; это явление вызывается только что рассмотренным нами процессом.

Вот почему, анализируя гипс, нужно очень осторожно высушивать пробы и не поднимать при этом температуру выше 70°. Точно так же, определяя содержание кристаллизационной воды, следует иметь в виду, что очень тонкое измельчение проб гипса изменяет содержание в них воды. Например проба, в которой при крупном измельчении содержалось 20,45% воды, потеряла часть кристаллизационной воды после дальнейшего измельчения в ступке, и ее содержание понизилось до 16,12%.

При заводском обжиге гипса применяют температуру 150—180°, так как необходимо, чтобы продукт по своему составу как можно ближе подходил к полуводному гидрату. Разложение происходит соответственно следующему уравнению:



В указанном интервале температур происходит также дальнейшее отщепление воды и образование „растворимого ангидрита“; полуводный гидрат $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$, потребляя 5 кал на 1 кг, почти полностью выделяет содержащуюся в нем воду. Эта разновидность гипса более активна в химическом и механическом отношении и при хранении на воздухе поглощает содержащуюся в нем влагу и вновь превращается в полуводный гидрат. Несколько пережженный гипс поэтому улучшается в качестве при вылеживании, в то время как примесь необожженного гипса, остающаяся в материале при недостаточном обжиге, представляет собою балласт и кроме того неблагоприятно сказывается на сроках схватывания продукта и механической прочности отвердевшего гипса.

Температура обжига свыше 200° оказывает очень вредное влияние на продукт вследствие происходящих с гипсом дальнейших превращений. Получается продукт, хотя и способный к гидратации, но в то же время очень медленно схватывающийся и дающий небольшую механическую прочность. Такой материал называют неправильно „пережженным гипсом“. Глазенап подробно изучил эту модификацию и описал ее свойства в 1909 и 1912 гг. в различных трудах и докладах, к которым в дальнейшем мы еще вернемся. Во всяком случае различия в сроках схватывания гипса, полученного обжигом при различных температурах зависят не столько от химического состава, сколько от характера поверхности отдельных зерен продукта. Если вследствие воздействия температуры свыше 200°С произошло уплотнение зерна, поверхность его также получается более плотной, медленнее поддающейся действию воды; кроме того площадь поверхности будет несколько меньше, нежели у неуплотненного зерна. Все эти обстоятельства вызывают замедление перехода полуводного гидрата в двуводный. Незначительность температурных интервалов и является причиной того, что гипс, получаемый в условиях заводского обжига (штукатурный гипс), состоит как из менее обожженных, так и более обожженных зерен, что сказывается на сроках схватывания продукта.

Испытания, проведенные Шеню и Ледюком¹, показали, что сроки схватывания и сопротивление сжатию затвердевшего гипса увеличиваются по мере повышения температуры обжига вплоть до 300°. При дальнейшем повышении температуры до 450—500° сопротивление сжатию падает, а срок схватывания сокращается. Твердение происходит очень вяло, и прочность

¹ „TIZ“, 1911, № 98.

образцов невелика. Эти результаты указывают на то, что более продолжительный нагрев при температуре не ниже 500° вызывает полное превращение полуводного гидрата в ангидрит. Глазенап установил, что в гипсе содержание всего только 0,002% воды все же еще дает слабые признаки твердения.

г) Эштрих-гипс, ангидразит, лейколит, ангидритовый цемент

Описываемая ниже модификация обожженного гипса, а именно эштрих-гипса начинает получаться при температуре красного каления (около 850°). Температура обжига эштрих-гипса различными исследователями и техниками указывается разная, что зависит вероятно от особенностей тех или иных разновидностей сырья. Шох¹ находит, что в среднем температура обжига составляет $900-940^{\circ}$, не ниже 850° и достигает 1020° . Подобные же цифры дает Глазенап², рекомендуя однако придерживаться для производства эштрих-гипса максимальных температур в целях получения более крупнозернистого продукта, с большим содержанием „свободной извести“ и дающего поэтому более высокую механическую прочность. Он же установил, что химический состав эштрих-гипса меняется в зависимости от температуры обжига; в своих опытах он получил следующие данные³.

Таблица 5

Температура в $^{\circ}\text{C}$	Химический состав продуктов обжига в %			
	извести	серной кислоты (SO_3)	CaSO_4	CaO
800	42,64	57,02	96,93	2,73
1100	43,06	56,40	95,88	3,58
1400	47,72	51,88	88,20	11,40

Надо заметить, что для этих анализов он применял чистый гипсовый камень, но, как показали дальнейшие исследования, не все разновидности гипсового камня пригодны для изготовления эштрих-гипса, так как некоторые сорта оказались слишком слабо разлагающимися при температуре 1000° .

На основании изучения микрошлифов эштрих-гипса, Глазенап в 1908 г. установил, что этот продукт не имеет однородного строения и состоит из двух веществ: во-первых, из зерен ангидрита и, во-вторых, из стекловидной массы, их обволакивающей. В 1923 г., производя исследование портланд-цемента, пересыщенного известью, и применяя для этого весьма высокие температуры, Глазенап приготовлял также образцы эштрих-гипса, причем установил, что последний состоит из стекловидных плотно спекшихся, имеющих кристаллическое строение оптически анизотропных зерен безводного сернокислого кальция и небольших количеств (3—5%) тоже стекловидной, плотной, аморфной и оптически изотропной модификации окиси кальция. Обе эти составные части получаются только при температурах выше 900° .

Линк и Юнг⁴ в своих уже указанных выше исследованиях установили

¹ Schoch, III, Auflage, стр. 210

² Glasenapp, Stuckgips, 1909.

³ Glasenapp, „TZ“ 14, Febr. 1923.

⁴ „Zeitschr. f. anorg. u. allg. Chemie“, Bd. 157, Juni 1924, стр. 407.

что содержание CaO имеет большое влияние на схватывание эштрих-гипса и что присутствие небольших количеств полуводного гипса повышает способность к схватыванию. Они подвергли гидратации две пробы одного и того же эштрих-гипса, который содержал 2,22% CaO и 1,18% воды, причем микроскопическое исследование установило присутствие в этом материале мелких игольчатых кристаллов полуводного гидрата. В качестве первой пробы был взят материал в том виде, в каком он был без дополнительного прокаливании; вторая проба была подвергнута дополнительному прокаливанию для разложения остатков полугидрата; 150 г вещества смешивали с 60 г воды, причем процесс гидратации показал, что пробы связывали следующие количества воды:

проба а — без дополнительного прокаливании,
проба б — дополнительно прокаленная.

через дней .	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
а)	2,48	3,67	4,60	5,66	—	8,56	9,33	10,67	11,51	—	13,86
б)	1,49	1,49	1,53	—	1,87	1,89	2,49	—	3,16	3,99	—

Таким образом в непрокаленной дополнительно пробе через 11 дней получилось 66% двуводного гипса; результаты показывают, что способность к схватыванию от присутствия небольших количеств полугидрата повышается.

Совершенно понятны постоянные попытки применить в качестве сырья для производства гипсовых вяжущих веществ природный ангидрит, который часто встречается в залежах гипса в виде подстилающих его массивов. Глазенап, производя свои исследования, также имел в виду применение ангидрита и, подвергая образец этой породы в природном виде обжигу в течение 5 час. при 1150—1200°, нашел в полученном продукте 77,5% CaSO_4 и 20,9% „свободной“, т. е. находящейся в твердом растворе извести. Следовательно здесь произошло значительное по размерам разложение ангидрита. Тонко размолотый и замешанный с 30% воды продукт дал пластичное тесто, которое быстро схватывалось и через несколько дней приобрело твердость и прочность мрамора; оказалось, что через 6 месяцев этот материал связал 8% воды. По Глазенапу воду связывает не только нейтральный сернокислый кальций, но также и „свободная известь“ основной соли. Явлений непостоянства объема в полученном таким образом ангидрите при наблюдении в течение 6 месяцев, обнаружено не было. Таким образом, подвергая ангидрит действию достаточно высокой температуры (приблизительно до 1400°) представляется возможным производить из него удовлетворительного качества вяжущий материал. Глазенап делает здесь следующее сопоставление с известью. Если гидравлическую известь получать из сырья, содержащего 23% кремнекислоты и полуторных окислов и 77% углекислой извести обжигом при температуре 1000°, то продукт представит собою нормальную гидравлическую известь; если же при том же химическом составе сырья повысить температуру обжига до 1400°, то получится спекшийся материал — портланд-цемент; следовательно повышенное качество продукта достигается здесь исключительно воздействием более высокой температуры. Аналогично этому, при достаточно сильном и продолжительном обжиге ангидрита, также можно получить благоприятные результаты. Конечно вопрос об экономической выгоды такого способа может решить только калькуляция. Во всяком случае примерно 100% перерасход на топливе вполне может оправдаться, так как дело идет об использовании не находящего применения и идущего в отвал материала.

В стремлении использовать ангидрит для производства вяжущего материала Геннике-Ванслебен пошел по другому пути. Согласно его предложению¹ ангидрит CaSO_4 подвергают сначала превращению в гидрат $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, не допуская его до затвердевания в сплошную массу; из полученного материала производят полуводный гидрат $2\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$. Тонко перемолотый ангидрит, проходящий через сито 900 отверстий, всыпают в раствор той или иной сернокислой соли при обыкновенной температуре; чтобы масса не затвердела, ее непрерывно перемешивают; такая обработка идет в течение 3—4 дней. Контрольными анализами устанавливают момент полного перехода ангидрита в двуводную соль. Когда наступит этот момент, масса отсасывается, промывается, освобождается от солей и затем высушивается на воздухе. Для превращения полученного двуводного гипса в полуводный достаточно нагрев до 90° ; потребное для этого тепло всегда может быть получено путем использования тепла отходящего из тех или иных топочных устройств. Помол продукта не требуется, так как при описанных операциях штукатурный гипс получается в виде достаточно тонкого порошка. Образцы такого гипса дали через 2 дня сопротивление сжатию в среднем $57,5 \text{ кг/см}^2$, а через 28 дней — 167 кг/см^2 ; следовательно по механической прочности материал довольно близко подходит к эстрих-гипсу. Полученный таким образом материал может подвергаться регенерации; перейдя после схватывания в двуводный гипс, будучи размолот, нагретом до 90° он может быть снова переведен в полуводную форму. Образцы, изготовленные из такого регенерированного гипса, через 3—4 дня дали сопротивление сжатию 70 кг/см^2 , а через 28 дней — 140 кг/см^2 . Этот новый вяжущий материал предложен под названием ангидразита.

По патенту Гартнера² природный ангидрит, будучи достаточно тонко измолот, схватывается при затворении с водой без каких-либо добавок и без специальной обработки. Помол должен быть очень тонкий; значительная часть порошка должна проходить через сито 10 000 отверстий, т. е. иметь величину зерен менее $0,060 \text{ м.м.}$ Чем тоньше будет помол, тем быстрее происходит схватывание и тем большую прочность покажет раствор. Продукт допускает добавление песка для получения более тощего раствора; добавка 1—3% портланд-цемента улучшает качество продукта, и в тех случаях, когда помол не очень тонок, такая добавка особенно хорошо влияет на сроки схватывания и прочность растворов.

Таблица 6

Пропорция смеси	Колич. воды в %	Прочность кг/см^2 на растяжение через			Прочность кг/см^2 на сжатие через		
		3 дня	7 дней	28 дней	3 дня	7 дней	28 дней
1:0	14	20	30	50	200	300	450
1:1	7	15	20	50	200	300	500
1:2	6	12	14	25	180	240	320
1:3	5	8	10	16	80	110	160

¹ Ueber Anhydrit, Dr. Hennicke, 1921, u. Patentschriften D. R. P. A.

² Anhydrit, Hartner, „Z. a. Chemie“, 1920, № 56.

Тесто, затворенное с 20—25% воды, начинает схватываться приблизительно через 2 часа, конец схватывания наступает через 4—7 час.

Табл. 6 показывает прочность растворов в различных пропорциях с песком.

Платцман¹, исследовав этот материал и проведя опыты его применения, пришел к заключению, что главным условием для достижения хороших результатов является подбор надлежащего количества воды. Схватывание ангидрита он приписывает коллоидальным процессам вследствие того, что при тонком помоле ангидрита начинает проявляться поверхностная энергия частиц и начинают действовать силы взаимного между ними притяжения.

Этот вяжущий материал получил название лейколита.

Проф. Будников совместно с инж. Левиным поставил в 1926 г. ряд опытов с целью вызвать твердение природного или искусственного ангидрита. Были применены различные катализаторы².

Было подвергнуто изучению влияние добавки окиси кальция, едкого натра, портланд-цемента, хромовых квасцов, сернистого аммония, сернистого натрия, железного купороса, серной кислоты, виннокаменной кислоты, кислото-сернистого натрия и калия.

Эти добавки примешивались в различных количествах к искусственно полученному ангидриту, а затем смесь подвергалась совместному перемолу в шаровой мельнице. После 20 000 оборотов мельницы весь материал проходил через сито с 4900 отверстиями.

Полученные пробы дали следующие максимальные величины для сопротивления на растяжение:

Таблица 7

Добавка	Колич. воды в %	Прочность на растяжение кг/см ² через		
		3 дня	7 дней	28 дней
3% окиси кальция	25	5,5	32,7	32,5
1% едкого натра	35	32,5	29,75	40,5
1% портланд-цемента	35	2,0	3,0	5,0
2% хромовых квасцов	35	34,5	38,45	37,5
1% сернист. аммония	35	13,0	12,7	41,5
3% натрия	35	15,5	8,2	38,0
1% серной кислоты	35	12,0	14,3	36,5
2% соляной кислоты	35	8,5	7,5	17,0
2% кисл.-сернистого натрия	35	20,5	26,0	56,0
2% кисл.-сернистого калия	35	27,5	33,15	50,5

Согласно предложению исследователей этот новый вяжущий материал носит название ангидритового цемента.

Испытание на постоянство объема и водостойчивость дали удовлетворительные результаты. При смешении ангидритового цемента (добавка: 1%)

¹ Zement*, 1920, стр. 525.

² Проф. П. П. Будников, Гипс, Лиг. 1933, 2-е изд. Ак. наук.

NaHSO₄) с нормальным песком в отношении 1:3 и затворении с 20% воды получены следующие величины для прочности на растяжение:

Через 7 дней	31,5 кг/см ²
28	33,6 .
Без песка через 28 дней	42,0 .

Прочность на сжатие ангидритовый цемент показал через 28 дней 500 кг/см² и более.

Температуру разложения безводного гипса Глазенап принимает равной 1400°, Шох определяет ее 1450°; Гофман и Мостович¹ нашли, что в действительности плавление начинается уже при 1360°, а отщепление серной кислоты вероятно уже при температурах несколько выше 1000°; более интенсивно оно происходит при 1200°.

д) Свойства различных видов гипсовых вяжущих веществ

Согласно изложенному выше, различают четыре главнейших разновидности гипсовых вяжущих материалов:

1. Нормальный полуводный гипс, который соответственно применению его для различных надобностей называют гипсом для кладки, для лепных работ, штукатурным гипсом и наконец особые его сорта — формовочным и модельным гипсом. К этому классу можно отнести также регенерированный гипс, получаемый по способу Генике из ангидрита.

2. „Растворимый“ ангидрит, в небольших количествах содержащийся в штукатурном гипсе. Эта разновидность редко производится в Европе в виде самостоятельного продукта; в Америке же применение ее распространено для изготовления различных гипсовых строительных камней, блоков, досок и т. п.

3. Нормальный сильно обожженный эштрих-гипс.

4. Тонко перемолотый природный ангидрит, известный под названием лейколита:

Химические и физические свойства этих четырех разновидностей совершенно отличны друг от друга.

1. Штукатурный гипс. Полуводный гидрат $2(\text{CaSO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O} = 93,8\% \text{ CaSO}_4 + 6,2\% \text{ H}_2\text{O}$ именуется обычно штукатурным гипсом. Он имеет при 25° уд. в. 2,75 (вант-Гофф). Количество тепла, потребное для превращения 1 кг двуводного гипса в полуводный, теоретически равно 138 кал².

Растворимость полуводного гипса в воде довольно значительна, при 25° приблизительно 10,5 г в 1 л³.

Большой растворимостью полугидрата по сравнению с растворимостью двуводного гипса Лешателье объясняет явление быстрого схватывания гипса.

Если к воде, взятой в количестве 60—70% по весу (при температуре ниже 63,5°), прибавлять порошок полуводного гипса, то часть его растворится, но тотчас же присоединит воду и, выделяя тепло, превратится в двуводный гипс. Так как последний менее растворим в воде, чем полуводный, то образуется пересыщенный по отношению к двуводному гипсу раствор, из которого избыток $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ выделяется в виде игольчатых кристал-

¹ „Chem. Eng.“, 1909. 5.

² Моуе, Gips, стр. 30.

³ C. Marignac, N. Arch. ph. nat., 48, 120.

лов. Этот процесс продолжается до тех пор, пока весь полуводный гипс не перейдет в двуводную форму. Таким образом схватывание и твердение штукатурного гипса представляет собою процесс переплетения и срастания выделяющихся игольчатых кристаллов двуводного гипса. Прочность и плотность затвердевшего гипса зависят поэтому не только от правильного производства полуводного гипса, но также и от количества воды, взятой для затворения, и от большей или меньшей продолжительности схватывания. Чем медленнее происходит схватывание гипса, при условии затворения надлежащим количеством воды, тем более прочными будут кристаллы образующегося двуводного гипса и тем прочнее и плотнее будет полученное изделие. При схватывании выделяется заметное количество тепла. Теоретически тепла должно выделиться ровно столько, сколько было затрачено на превращение двуводной формы в полуводную, именно 27 кал; однако вследствие тепловых потерь из названного количества удастся установить при схватывании лишь 20 кал. Различия в прочности и плотности сырого гипса едва ли имеют влияние на качество обожженного гипса; главное значение имеют различия в обжиге и в помоле штукатурного гипса, а также различия в количестве взятой для затворения воды.

Чем больше будет относительная поверхность отдельного зерна полуводного гипса, вступающего во взаимодействие с водой, тем быстрее будет происходить его растворение и тем быстрее произойдет схватывание. Опыты показали¹ для одного и того же обожженного гипса при одинаковом количестве воды для затворения (65% полугидрата и 35% воды) следующие например колебания в сроках схватывания и прочности на разрыв при разной тонкости помола:

Таблица 8

Тонкость помола	Срок схватывания в мин.	Прочность на разрыв кг/см ²
1. Проходит через сито 1200 отверстий на 1 см ² . . .	13	20
2. " " " 160 " " 1 " " " . . .	10	23
3. " " " 3600 " " 1 " " " . . .	7	24
4. " " " 4900 " " 1 " " " . . .	5	24,5

Таким образом более тонкий помол штукатурного гипса, производимый после его обжига, дает быстрее схватывающийся гипс, так как часть зерен гипса при его обжиге (варке) неминуемо получает перегрев выше $180-200^{\circ}$, и зерна делаются более плотными, что в свою очередь задерживает действие воды и следовательно схватывание гипса; дальнейший помол, увеличивая относительную поверхность, как только что отмечено, действует в противоположном направлении.

Производя свои исследования, Глазенап² поставил также опыты с целью выяснить, какое минимальное количество воды необходимо взять при за-

¹ „Rocks Prod Chicago”, 1923, № 19.

2. "TIZ", 1923, № 61.

творении, чтобы обеспечить переход полугидрата без остатка в двухводный гипс; оказалось, что если взять полугидрат, грубо перемолотый или даже в кусках, то при добавлении с 35% воды получается полная гидратация и полученный двухводный гипс отличался значительной твердостью и прочностью. Смесь из 12 г штукатурного гипса нормального помола и 88 г его в виде крупки с размерами зерен до 5 мм в диаметре, затворенная с 35 г воды, после схватывания и высыхания образцов, показала прочность на разрыв, равную 35 кг/см². Такого рода явления Глазенап объясняет тем соображением, что более крупные зерна или куски полугидрата сами по себе превращаясь в двухводный гидрат и, связывая воду, менее увеличиваются в объеме при своей перекристаллизации. Вследствие этого получается более плотная и прочная масса. При схватывании полугидрата нормального помола кристаллизационная вода требует меньшего объема по сравнению с объемом, который она занимала в несвязанном капельножидком состоянии. Поэтому при схватывании наблюдается сначала некоторое уменьшение объема, но когда затем начинает выделяться растворенный в воде полугидрат, в двухводной форме наступает увеличение объема (1%).

Нормальный штукатурный гипс, затворенный с надлежащим (правильным) количеством воды, в течение 3—4 мин. остается в текучем состоянии, и в течение 8—10 мин. — в пластичном состоянии. Прочность на разрыв составляет в среднем через 24 часа 10—12 кг/см², через 28 дней — 20—26 кг/см². Тонко перемолотый штукатурный гипс на сите 900 отверстий дает остаток 0—10%, средней тонкости 10—20% и грубого помола гипса 20—30%. Вес литра в зависимости от тонкости помола, в рыхло насыпанном виде составляет 650—850 г и в уплотненном — 1250—1400 г.

Сроки схватывания под влиянием различных примесей изменяются; схватывание замедляется клеевой водой, бурой, 6%-ным спиртом и т. п. Роланд¹, Камерон и Зейделе², подробно изучая этот вопрос, нашли, что некоторые соли, например хлористый кальций, уменьшают растворимость в воде полугидрата, и поэтому замедляют схватывание; другие соли, например поваренная соль, хлористый магний, нашатырь и мн. др., увеличивают его растворимость и ускоряют схватывание. В американской практике, перед упаковкой гипса в мешки для отправки почти всегда добавляют к нему замедлители, регулирующие сроки схватывания.

Так называемый растворимый ангидрит CaSO_4 при содержании в нем около 0,3% воды имеет уд. в. 2,7. Его растворимость в воде еще более значительна, нежели полугидрата, и поэтому растворимый ангидрит имеет гораздо более быстрое схватывание. Во время схватывания переход безводной формы в двухводную происходит не сразу; сначала в виде переходной ступени образуется полугидрат.

Ввиду того что „растворимый“ ангидрит жадно поглощает влагу из атмосферы, переходя в полугидрат, длительное его хранение при доступе воздуха недопустимо. Вследствие быстро протекающего схватывания из этого продукта получают более плотные, твердые и прочные изделия, и поэтому он находит себе в Америке широкое применение для отливки гипсовых плит, досок и других изделий; необходимым при этом условием является немедленная после обжига дальнейшая переработка продукта.

2. Эстрих-гипс. Эстрих-гипс CaSO_4 , применение которого за по-

¹ Rohland, Stuck u. Estrichgips, 1904.

² Cameron u. Seidele, Journ. Phys. Chem., 1901, 5, стр. 556 и 643.

следние перед войной годы получило широкое развитие, значительно отличается по срокам схватывания и прочности от штукатурного гипса. Его удельный вес составляет 2,97. Теоретический расход тепла для превращения 1 кг двухводного гипса в безводный составляет 236 кал¹. В зависимости от применения, для которого назначается эштрих-гипс, тонкость его помола бывает различной. Вес 1 л в рыхлом виде составляет 900—1200 г и в уплотненном — 1300—1700 г. Количество воды для затворения колеблется между 32 и 35%.

Растворимость в воде значительно меньше полугидрата, и поэтому его схватывание протекает гораздо медленнее, составляя 12—36 час. Вант-Гофф полагает, что при схватывании эштрих-гипса, так же как при „растворимом“ ангидрите, в качестве промежуточной ступени образуется сначала полугидрат, и только затем из последнего получается двухводная форма. Глазеннап² возражает против такого объяснения, так как его обстоятельные опыты показали, что процесс схватывания эштрих-гипса гораздо более сложен по сравнению со штукатурным гипсом. При исследовании микрошлифов старого, давно затвердевшего эштрих-гипса, никакой кристаллизации установить не удастся. Превращение эштрих-гипса в двухводный гипс происходит без изменения видимой формы, так как вследствие своей малой растворимости эштрих-гипс не может образовать пересыщенного раствора, как это получается с полугидратом. При гидратации происходит спайка отдельных его частиц между собою; такая спайка будет тем совершенней, чем больше поверхность соприкосновения и чем плотнее отдельные зерна прилегают одно к другому. Отсюда понятна необходимость производить уплотнение растворов эштрих-гипса трамбованием. Этим объясняется ослабление прочности растворов от примеси отощающих веществ, — песка, шлаков и т. д., так как при этом зерна эштрих-гипса разъединяются. Зернистая часть материала, состоящая собственно из ангидрита, превращается в двухводный гипс без изменения своей формы, тогда как стекловатый основной сернокислый кальций отщепляет „свободную“ известь, кристаллизующуюся в виде гидрата окиси кальция. Растворимость эштрих-гипса в воде, лежащая между таковой для полугидрата и двухводного гипса, также играет роль; при твердении и постепенном высыхании раствора эштрих-гипса небольших количеств растворенного в воде сернокислого кальция достаточно, чтобы заполнить более или менее поры раствора кристаллами двухводного гипса. Штермер³ в своем докладе в 1913 г. сообщил о своих опытах с эштрих-гипсом, причем он установил, что небольшая примесь гидрата извести к раствору гипса увеличивает прочность полученных отливок на 5—10%. Это видно из следующего сопоставления:

Смесь							
Эштрих-гипса частей		100	95	90	85	80	75
Са(ОН) ₂		0	5	10	15	20	25
Прочность кг/см ²							
7 дн.	растяж.	16,1	18,7	15,3	12,8	10,2	12,5
	сжатие	81	85,0	72,0	57,0	40,0	49,0
28 .	растяж.	17,8	25,0	22,5	17,6	12,4	13,3
	сжатие	97	188,0	182,0	127,0	96,0	112,0

¹ Мое, Gips, стр. 40.

² Glazenapp, Stuckgips etc., 1909.

³ Ber. D. G. V. 1913.

Эти опыты показывают, что при увеличении добавки гидрата извести прочность падает. Отсюда можно заключить, что, примешивая гидрат извести, нельзя получить такой же величины прочность, которая достигается обжигом эштрих-гипса при высокой температуре, когда образуется основной сернокислый кальций. Нижеприводимые результаты опытов того же а тора показывают, что эшт их-гипс дает тем высшую прочность, чем выше была температура его обжига.

Температура		900°	1080°	1180°	1200°
Содержание Ca(OH)_2		0,88%	2,02%	2,88%	3,10%
Прочность кг/см ²					
7 дн.	растяж.	0,2	0,42	5,2	32,9
	сжатие	5,0	6,0	34,0	296,0
28 "	растяж.	0,3	0,28	7,4	33,0
	сжатие	4,0	2,0	74,0	345,0

При схватывании эштрих-гипс обратно выделяет тепло, пошедшее на его образование; однако вследствие медленного схватывания оно не поддается измерению.

Сроки схватывания эштрих-гипса, так же как у штукатурного гипса, замедляются от примеси клеевой воды и буры и ускоряются от добавки нашатыря.

з) Обожженный в печах гипс. Наряду с штукатурным и эштрих-гипсом следует упомянуть о гипсе, получаемом обжигом в напольных, шахтных, кольцевых и тому подобных печах. Этот гипс называется в Германии „печным“ или „строительным“ гипсом; он производится и находит себе применение главным образом в южной части Германии.

Дело идет здесь о материале, получаемом обжигом при разнообразных температурах и состоящем одновременно из полугидрата, „растворимого“ ангидрида, намертво обожженного гипса и эштрих-гипса.

Этот материал применяется исключительно для строительных целей, отличается сравнительно медленным схватыванием и пластичностью растворов, вследствие чего он удобен в применении. Так как значительная часть продукта состоит как из слишком сильно, так и слишком слабо обожженного гипса, то примесь к растворам из него песка или других отошающих веществ оказывается излишней; прочность получается тем не менее хорошая, хотя и не достигает прочности чистых растворов из штукатурного или эштрих-гипса.

В Северной Германии вырабатывают и применяют аналогичный материал, носящий различные местные названия (Sparkalk, Lüneburger Kalk, Maueralk и т. д.). Одна из разновидностей такого рода продуктов, особенным образом обжигаемая в Штадтльдендорфе, именуется „авалитом“; этот материал отличается особенно хорошей прочностью.

Сроки схватывания, механическая прочность и другие свойства так называемого печного гипса колеблются очень значительно, так как химический состав и относительные количества содержащихся в нем различных модификаций гипса весьма разнообразны. Большое значение для этого продукта имеет тонкий помол, позволяющий измельчить и перемешать отдельные зерна, имеющие разный состав.

2. Техника производства гипса

а) Перечень аппаратов, машин и печей

При производстве строительного или штукатурного гипса, а также эштрих-гипса применяемые способы выработки весьма разнообразны и

зависят от перерабатываемого сырья, намечаемого размера производства и качества конечного продукта.

Наиболее часто применяются следующие аппараты, машины и печи:

Для предварительного дробления гипсового камня: 1) щековые дробилки, 2) молотковые дробилки — „Титан“ и т. п., 3) вальцовые дробилки, 4) дробильные шнеки.

Для измельчения предварительно дробленого камня: 1) колокольные мельницы, 2) молотковые мельницы, 3) вальцовки, 4) бегуны.

Для окончательного тонкого перемола дробленого сырого и обожженного гипса: 1) вертикальные мельничные поставы, 2) конусным мельничные поставы, 3) дезинтеграторы, 4) мельницы „Перплекс“ и т. п., 5) мельницы Фуллер, 6) шаровые мельницы.

Для обжига и сушки гипсового камня: 1) варочные котлы, 2) вращающиеся печи, 3) шахтные печи, 4) печи для обжига штукатурного гипса, камерные печи, 5) печи для обжига „строительного“ гипса¹.

Для просеивания, отвеивания и смешения размолотого обожженного гипса: 1) барабаны железные с крупными ситами, 2) барабаны деревянные с мелкими ситами, 3) воздушные сепараторы, 4) сотрясательные сита для крупнозернистых материалов, 5) мешалки.

Для транспортировки, дозирования и упаковки: 1) шнеки и трубошнеки, 2) ковшевые элеваторы, 3) ленточные транспортеры, 4) трясковые транспортеры, 5) машины для упаковки мешков, 6) питатели, 7) магнитные сепараторы.

Для обеспыливания: 1) пылевые камеры, 2) циклоны, 3) фильтры.

б) Машины для измельчения

Для предварительного дробления гипсового камня алебастровыми наводками обычно применяются щековые дробилки. Подробное описание этих дробилок дано в главе о цементе.

а) Щековые дробилки. В нижеследующей таблице приведены данные о размерах зева, производительности, потребной силе и весе дробилок, предназначенных для предварительного дробления гипсового камня до величины кусков в 50 мм:

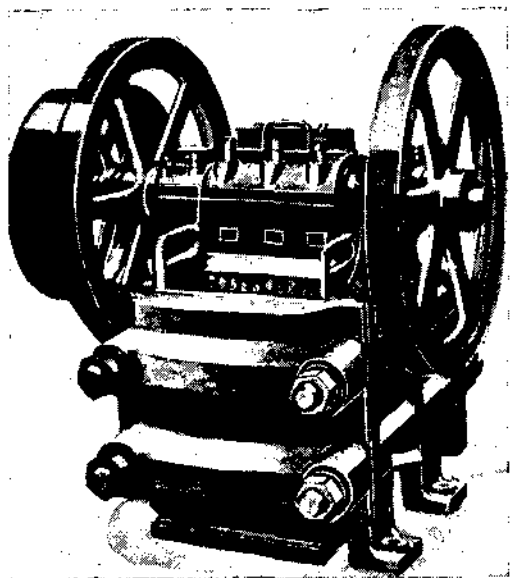


Рис. 49. Дробилка.

¹ В немецком тексте „Sparkalk“, т. е. гипс, применяемый для кладки.

Размеры зева в мм	310/150	410/220	500/250	600/300
Число оборотов в 1 мин.	250	250	250	250
Производ. в кг/час	2000	3000	5000	8000
Потребн. сила в л. с.	3—4	4—6	10—12	15—20
Вес в кг	1250	2250	4600	5500

При незначительных размерах производства и мягких материалах весь процесс дробления производится в одной дробилке до величины кусков, допускающих непосредственную подачу материала в соответствующего типа мельницы для его окончательного перемола.

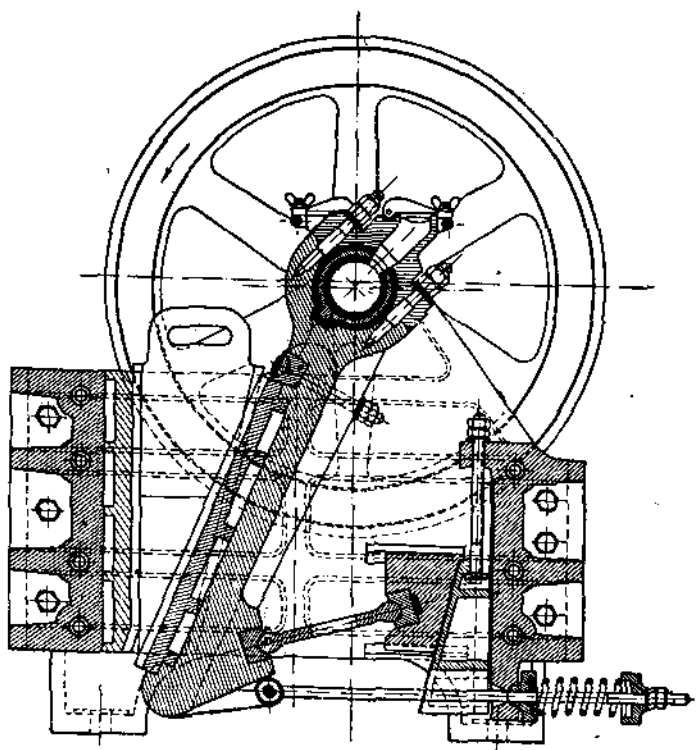


Рис. 50. Щечковая дробилка.

б) Гранулятор. Предназначенная для более мелкого дробления дробилка, изображенная на рис. 49 и в разрезе на рис. 50, по внешнему виду походит на обычную щековую дробилку, отличаясь от последней лишь тем, что в ней нет специального мотыля, каковым является приводимая в движение непосредственно от вала дробильная щека. Благодаря особому расположению упорной плиты по отношению к качающейся дробильной щеке, движение и качание последней происходят не у выходной щели, как у обычной щековой дробилки, а у загрузочного отверстия — зева. Таким устройством обеспечивается растирающее действие щеки, благодаря чему дробилка эта не только дробит материал на мелкие куски, но и растирает его в крупку и муку. С повышением количества мелочи в измельченном материале производительность ее снижается, а потребная для ее привода сила возрастает. Поэтому необходимо при значительных размерах про-

изводства предусматривать двухступенчатое раздельное дробление: сперва на обычных щековых дробилках, а затем уже на таких, так наз. „грануляторах“.

в) Молотковая дробилка. Конструкция молотковых дробилок за последние годы претерпела ряд усовершенствований, благодаря которым машины эти в настоящее время с большим успехом применяются на крупных заводах для предварительного дробления сырых материалов. Конструкция и принцип работы молотковых дробилок в исполнении разных фирм описаны в гл. VIII.

Производительность, размеры, необходимая сила и вес дробилок „Титан“, выпускаемых фирмой Амме, Гизеке и Конеген в Брауншвейге (применительно к дроблению гипсового камня) приведены в нижеследующей таблице:

Таблица 9

Размеры загрузочного отверстия в мм	Производительность в кг/час гипсового камня при дроблении его до 14 мм	Потребная сила в л. с.	Вес машины в кг

С одним валом

530/700	12 000	12—14	4 500
900/700	25 000	22—24	8 400
1130/700	45 000	30—34	10 000

С двумя валами

530/950	30 000	30	9 500
800/950	60 000	50	15 000
1200/950	80 000	70	16 500

Такие молотковые дробилки, самых разнообразных конструкций и от самых малых до самых крупных размеров, применяются в алебастровой промышленности как для предварительного дробления гипсового камня, так и для окончательного после пропуска его через щековую дробилку. В малых моделях для предварительного дробления удельный расход силы несколько велик. В подобных случаях перед молотковой дробилкой необходимо всегда устанавливать щековую. Производство ремонта и смена подверженных износу частей в этих дробилках просто и легко осуществимы. Поломка молотков и решеток в дробилках последних конструкций — явление редкое. Подлежащий дроблению материал не должен быть глинистым во избежание замазывания им решеток.

г) Вальцовые и конусные дробилки. При крупных размерах производства для предварительного дробления применимы также вальцовые дробилки (рис. 51) с шипами на вальцах. На одном крупном химическом заводе такой дробилкой дробится 150—170 т гипсового камня в 1 час; она характеризуется следующими данными: диаметр и ширина вальцов соответственно равны 1200 и 1600 мм, число оборотов в 1 мин. — от 11 до 12, необходимая сила — 120 л. с. Размеры гипсового камня, задаваемого в дробилку, достигают 70 см в наибольшем измерении, предварительное дробление производится до кусков величиной в 10 см. После вальцовой дробилки дробленый материал поступает в 2 молотковые дробилки для более мелкого дробления (грануляции).

Конусные дробилки, получившие значительное распространение

в гипсовой промышленности Америки, в Германии в этой отрасли почти совсем не применяются. Этот факт можно, пожалуй, объяснить тем обстоятельством, что в Америке гипсовый камень по большей части добывается подземными разработками и отличается вследствие этого равномерной влажностью, почему и исключается возможность замазывания дробилки материалом; в Европе же добыча сырья производится главным образом открытыми разработками, в силу чего оно подвержено действию атмосферных осадков и способствует таким образом более быстрому замазыванию этой дробилки.

д) Дробильные шнеки. На небольших заводах применяются для предварительного дробления также дробильные шнеки.

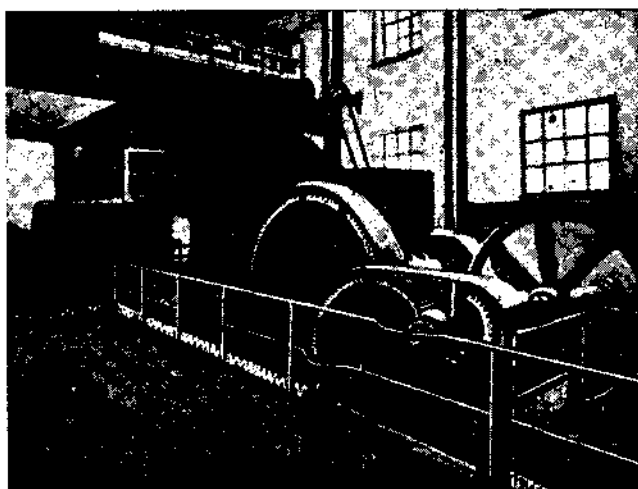


Рис. 51. Вальцовая дробилка.

Сырье для подачи в дробильный шнек должно быть предварительно измельчено до размера кусков в 15 см, что обычно в этих случаях производится вручную при добыче камня в самом карьере. Машина эта состоит, как поясняют рис. 52 и 53, из чугунного корпуса, внутри которого вращается горизонтальный вал с насаженным на него шнеком. Рабочая поверхность последнего состоит из ребер высотой в 50—60 мм, представляющих собою винтообразные, взаимно пересекающиеся витки с большим ходом. Этим шнеком, изготовляемым из закаленного чугуна, захватывается подаваемое в корыто сырье, здесь растирается и прожимается сквозь решетку, собранную из отдельных сменяемых плит и укрепленную в нижней части корыта. В зависимости от требуемой степени дробления устанавливаются плиты с соответствующими щелями и прозорами. Последние могут быть подобраны таким образом, что измельченный материал может затем непосредственно подаваться в мельницы для перемола. Вследствие значительных напряжений, возникающих в дробилке, торцевые и боковые стенки корыта снабжаются сменяемыми плитами из закаленного чугуна. Сама решетка, по мере износа шнека и плит, может быть соответственно отрегулирована. Дробилка снабжается маховиком и двумя шкивами: одним рабочим и одним холостым. Получаемый окончательный продукт состоит из смеси крупки и мелочи до 7 мм величиной.

Производительность, размеры, потребная сила и вес сведены в ниже-
следующей таблице:

Диаметр и длина шнека в мм	185/400	200/500	250/750	300/900
Число оборотов в 1 м. н.	500	400	350	300
Потребная сила в л. с.	2—4	3—5	6—9	8—12
Производ. в кг/час при бл.	2000	3000	5000	7500
Вес машины в кг	1100	1600	2700	4000

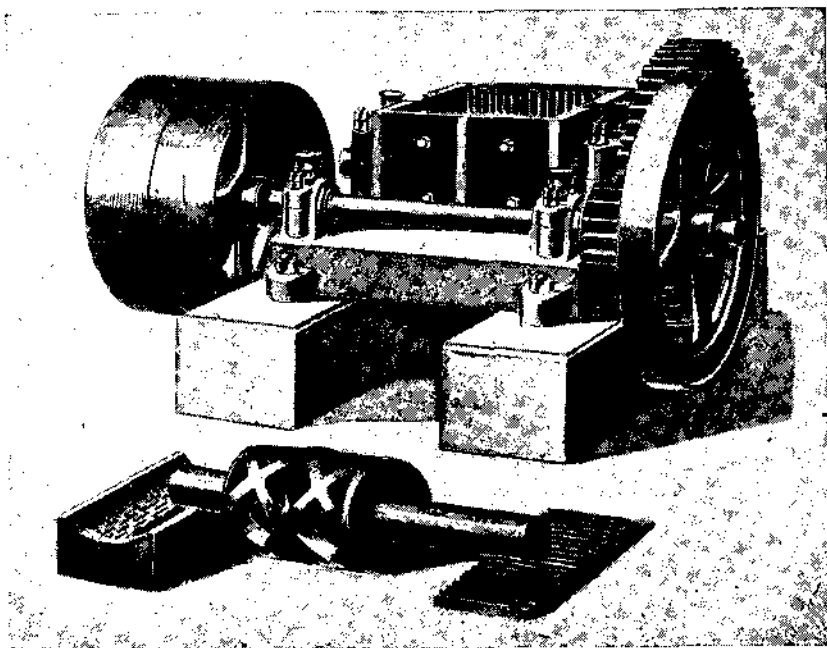


Рис. 52. Дробильный шнек.

е) Конические мельницы. Для второй стадии дробления на многих заводах применяются **конические мельницы**. Дробление произво-

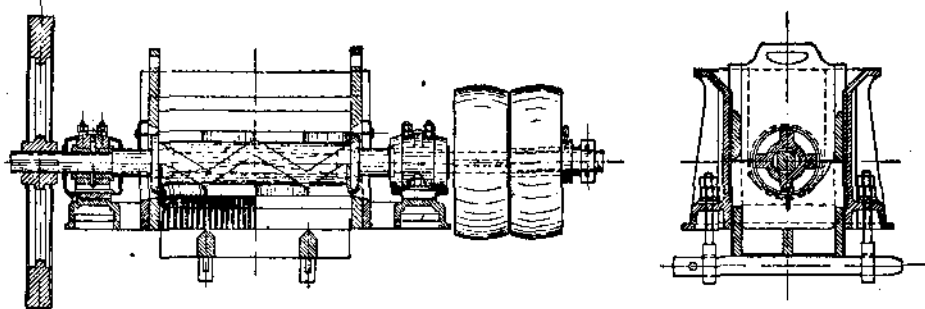


Рис. 53. Дробильный шнек.

дится, как показывает рис. 54, при помощи рифленого конуса, вращающегося в другом полем рифленом или по образующей или по другому направлению конусе (принцип обыкновенной кофейной мельницы). Корпус

наружного конуса устанавливается на цоколе с боковым выпускным отверстием; внутренний конус укрепляется на вертикальном валу и вместе с последним приводится во вращение при помощи конической зубчатой передачи с двумя шкивами: рабочим и холостым. У конической мельницы подобно горизонтальным мельничным поставам, описание которых мы даем ниже, вертикальный вал вместе с дробильным конусом снабжается особым устройством для регулирования просвета между обоими конусами и установления той или иной степени тонины помола. Оба конуса, а равно и нижний, более мелко рифленый, обод этих конусов, который, естественно, подвержен большому износу, чем другие детали, легко сменяемы. Размол материала конусной мельницей производится примерно до величины горошка с довольно значительным содержанием тонких фракций.

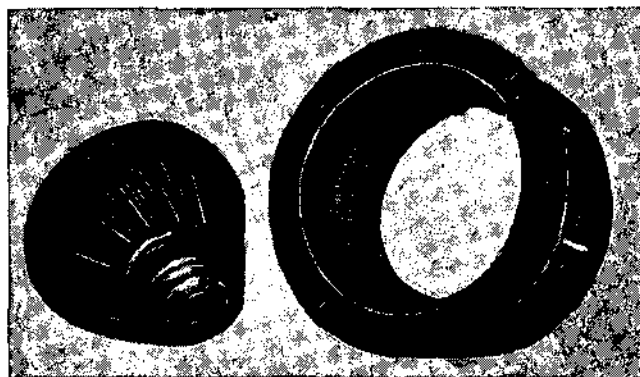


Рис. 54. Рифленые части конусных мельниц.

Основные данные о конусных мельницах приведены в следующей таблице:

Таблица 10

Наибольший диаметр конуса в мм	275	400	650	1 050	1 250
Потребная сила в л. с.	2	4	6	10	12
Производительность в кг/час	1 200	2 000	4 000	8 000	10 000
Вес в кг	400	900	2 000	5 000	7 300

Как уже ранее упоминалось, молотковые мельницы с большим успехом применяются также и для более мелкого дробления гипсового камня. В применении находятся машины самых разнообразных конструкций, однако по принципу действия, производительности и потребности силы большой разницы между ними нет.

В запатентованной фирмой Полизиус молотковой мельнице (рис. 55) боковые стенки изнутри снабжены укрепленными на болтах зазубренными кольцевыми плитами из закаленного чугуна. Помольными поверхностями являются: примыкающая к загрузочной воронке часть коробки, снабженная плитами из твердого закаленного чугуна, и вся остальная часть коробки, представляющая собою собранную из стальных полос трехгранного сечения

решетку. Шестиконечные крестовины (числом 2—8, в зависимости от размера машины) состоят из литых стальных втулок, к которым на шарнирах подвешены стальные молотки; последние по мере износа переставляются и подвешиваются в ряде других отверстий, расположенных по спирали во втулке. Особым запатентованным механизмом прозор между полосами решетки может быть отрегулирован в самых широких пределах, чем дается возможность получения состоящего из тонкой крупки продукта.

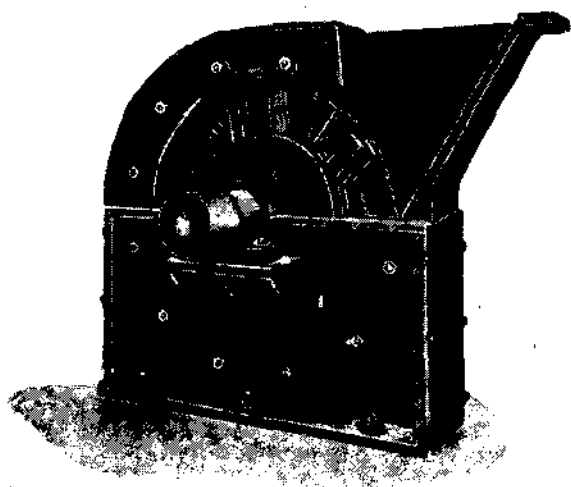


Рис. 55. Молотковая мельница.

Таблица 11

Диаметр и ширина корпуса в мм	600 × 400	800 × 600	1 000 × 800	1 200 × 1 000
Число оборотов в 1 мин.	1 000—1 200	800—1 000	600—800	400—600
Часовая производительность сырого гипса в кг	—	—	—	—
а) при ширине просвета между полосами в 30 мм	20 000	40 000	65 000	90 000
б) при ширине просвета между полосами 5 мм	7 000	15 000	20 000	30 000
Потребная сила в л. с.	10—15	20—30	30—40	50—60
Вес в кг	1 000	2 880	3 900	6 000

Вальцовые дробилки, пригодные также и для мелкого дробления (грануляции) сухого гипса, применяются самых разнообразных, очень хорошо разработанных и вполне оправдавших себя на практике конструкций. У большинства этих дробилок, выпускаемых различными фирмами, один из валцов вращается в неподвижных подшипниках, укрепленных на массивной раме, другой — в подшипниках, имеющих небольшую подвижку в раме и удерживаемых в нормальном рабочем состоянии тягами и массивными пружинами. Износ валцов незначителен, так как конструкцией подшип-

ников и прочих деталей устранена возможность перекоса валцов. Для измельчения влажного и липкого материала валцы должны быть рифлеными или зубчатыми.

Данные о производительности потребной силе и т. п. следующие:

Таблица 12

Диаметр валцов в мм.	400	550	700
Ширина	260	275	300
Число оборотов валцов в 1 мин.	60	50	45
Потребная сила в л. с.	5	8	11
Часовая производительность в кг при прозоре в 5 см.	2500	4000	5500
Вес дробилки в кг.	2500	4150	6300

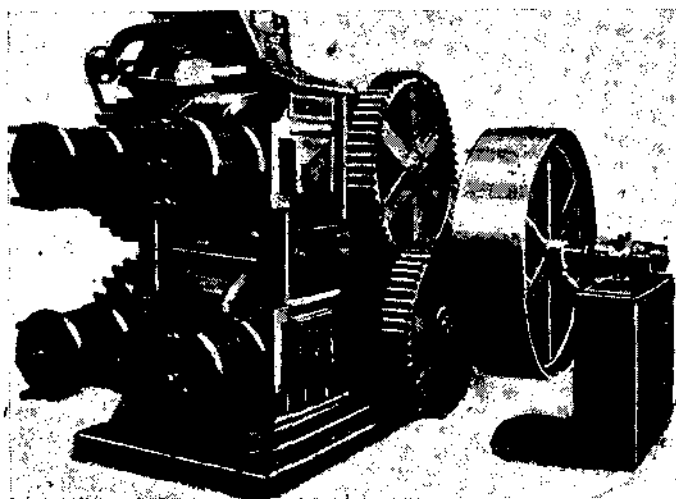


Рис. 56. Вальцовая дробилка.

Обода валцов сменяемы. Вращающиеся части заключены в плотные кожуха из листового железа в целях предохранения рабочих помещений и оборудования от загрязнения пылью при измельчении сухого материала.

При твердых материалах и больших размерах производства применяются также дробилки с двумя парами валцов, расположенными одна под другой и образующими таким образом одну цельную машину.

ж) Бегуны. Для мелкого дробления (грануляции) применяются также бегуны. Конструкция их и принцип работы описаны в гл. VIII.

в) Вертикальные мельничные поставы. Мелочь, получаемая при второй стадии дробления, состоящая из муки и зерен величиной до 6 мм, подвергается окончательному перемолу в мельницах самых разнообразных конструкций, в том числе и на мельничных поставах. Большое применение получили вертикальные поставы, в частности поставы фирмы Кенягсютге в Лаутербере и других фирм.

Как показывает разрез рис. 57, вертикальные поставы состоят из трех жерновов с двумя рабочими помольными плоскостями. Оба крайних жернова укреплены в торцовых чугунных стенках корпуса, а средний посредством четырехгранной втулки на вращающемся со скоростью 375—450 об/мин валу

проходящем через все три жернова. При более крупном материале подача его производится тряском, а при мелком, более пригодным для этого, изображенным на рис. 57, — питательным шнеком. Через центральные отверстия крайних жерновов материал с обеих торцовых сторон поставы подается в прозор между средним и крайними жерновами, здесь захватывается центробежной силой и, подвергшись перемолу между рабочими поверхностями, выбрасывается из последних и собирается в кожухе поставы. Центрально управляемой системой болтов, крайние жернова могут быть установлены строго параллельно вращающемуся, чем достигается равномерный износ жерновов и повышение их срока службы.

Горизонтальный вал вращается в двух защищенных от проникания пыли подшипниках, установленных на боковых кронштейнах торцовых стенок мельничного корпуса. Шнековый питатель приводится в действие

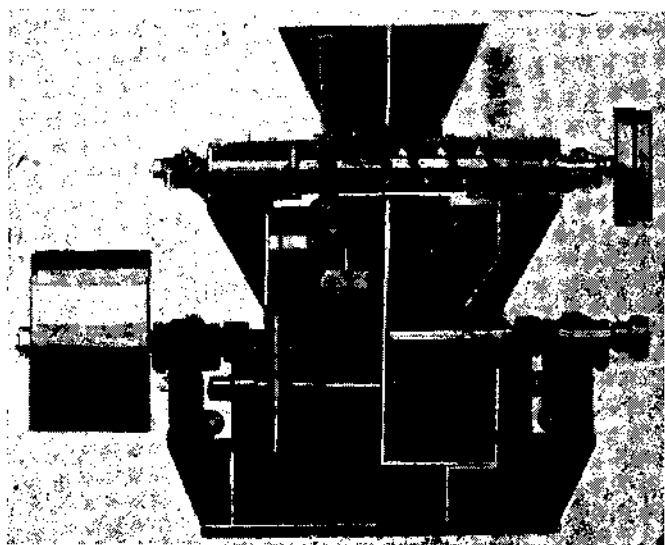


Рис. 57. Вертикальный мельничный постав.

ременным приводом от мельничного вала. Разборка мельницы отличается простотой и осуществляется без каких бы то ни было подъемных кранов и пр.

Эти поставы строятся двух размеров: меньший с диаметром жерновов в 600 мм, дающий при 450 об/мин около 800 кг сырой гипсовой муки одинаковой с штукатурным гипсом тонины, при потребности 4—5 л. с.; больший размер с диаметром жерновов в 800 мм, дающий при 375 об/мин приблизительно 1200 кг/час сырой муки той же тонины, при потребности 7—8 л. с.

При перемоле обожженного гипса производительность поставов несколько выше.

и) Горизонтальные мельничные поставы. Мельницы этого типа (подробное описание их см. в главе о портланд-цементе) состоят из двух горизонтально уложенных жерновов, из которых один укреплен неподвижно, а другой — на вертикальном вращающемся валу; размол производится соприкасающимися соответственно насеченными поверхностями жерновов. Поставы строятся с верхним и нижним бегунами; для размола гипса применяются большей частью поставы с нижним бегуном.

Постав с нижним бегуном, в исполнении заводов Полизуса, Круппа и Амме-Гизеке-Конеген, состоит или из цельной чугунной станины или же из двух или же трех чугунных колонн, на которых укреплен корпус самого постава. Главный подшипник вертикального вала расположен вне корпуса; на верхний конический конец вала насажена чугунная плита, на которой уложен и укреплен нижний жернов; нижний конец вала упирается в подпятник, который по мере надобности может быть соответственно поднят или опущен.

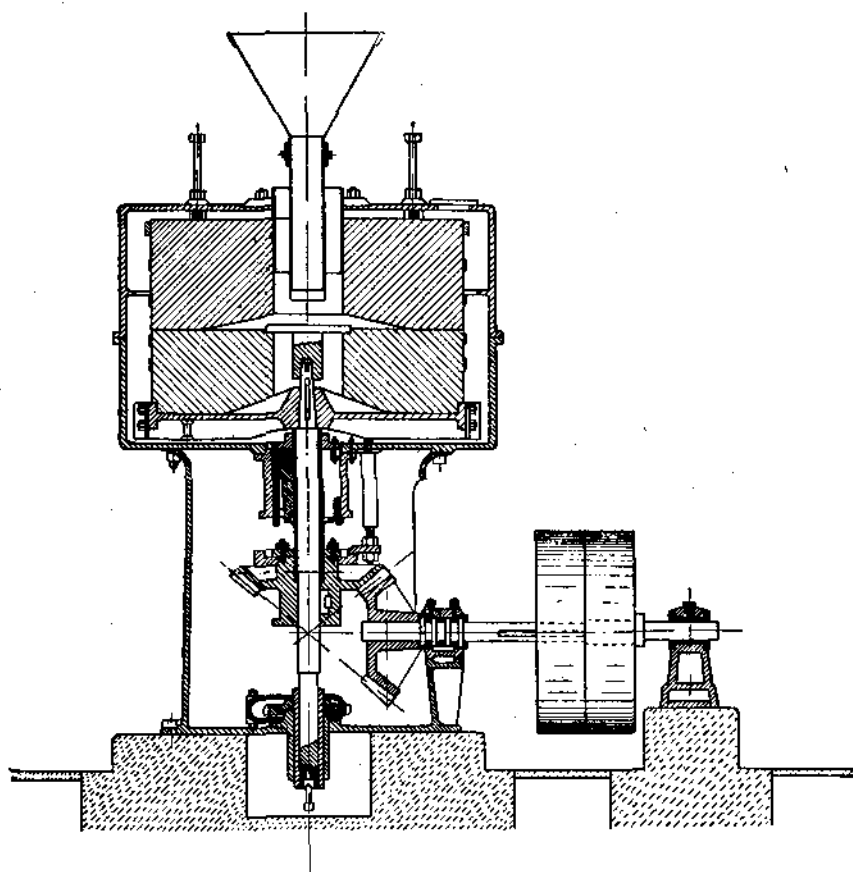


Рис. 58. Мельничный постав.

В то время как при поставке с верхним бегуном давление на подпятник складывается из веса жернова за вычетом давления, передаваемого на измельчаемый материал, при поставке с нижним бегуном на подпятник передается не только вес жернова но и давление, необходимое для перемола материала. Это обстоятельство и является основным недостатком поставов с нижними бегунами, вследствие чего подпятник этих поставов легко греется. На подпятник необходимо обратить самое серьезное внимание как при разработке его конструкции, так и во время его работы. По сравнению с поставами с верхними бегунами описанный постав имеет однако то преимущество, что давление на подлежащий размолу материал может быть доведено до каких угодно размеров и что кроме того материал нижним бегуном легче захватывается и значительно быстрее перерабатывается.

Чугунная плита с укрепленным на ней бегуном заключена в плотный пыленепроницаемый чугунный цилиндрической формы кожух, снабженный выпускным патрубком. К этому кожуху привинчен цилиндрической же формы колпак, внутри которого укреплен пропущенными через крышку и боковую стенку болтами верхний неподвижный жернов. Болты, соединяющие нижний кожух с верхним колпаком, снабжены прочными пружинами, позволяющими верхнему жернову, в случае попадания в прозор между жерновами какого-либо постороннего тела, несколько отойти от бегуна и предохранить постав от поломки. Отверстие в центре бегуна закрывается плоской крышкой; подача материала производится или небольшой питательной лентой или тряском; для привода последнего на вал насаживается небольшой шпindel. Постав приводится во вращение или от трансмиссионного вала со шкивами посредством конических шестерен, из которых одна насажена на вертикальный вал постава несколько выше подпятника

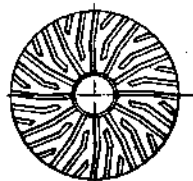


Рис. 59. Насечка жерновов.

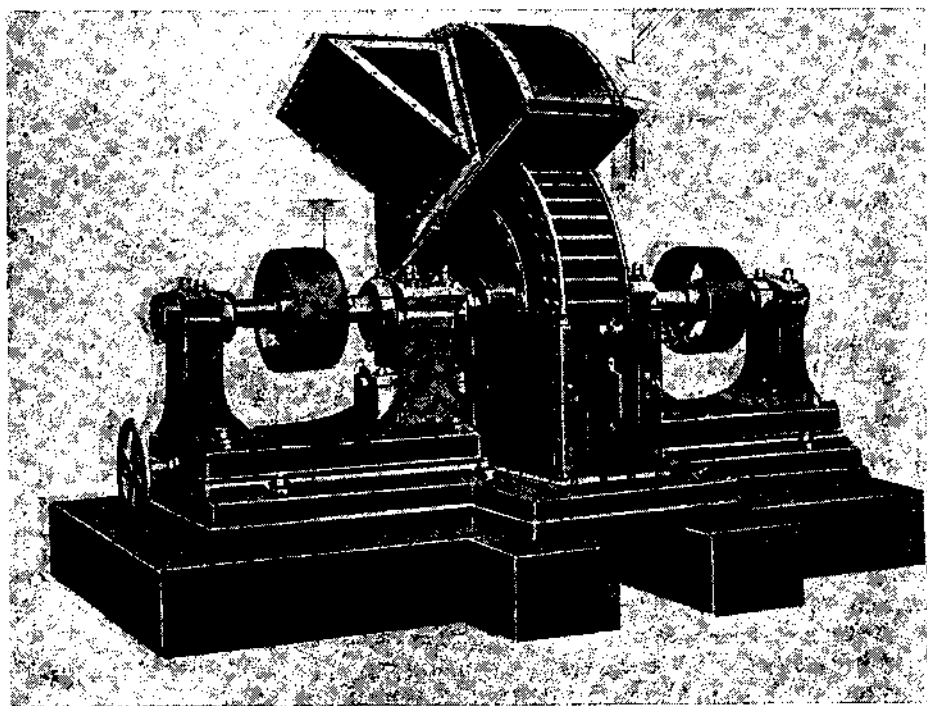


Рис. 60. Дезинтегратор.

или же от непосредственно насаженного на вал шкива при помощи полуперекрестного ремня; последний с целью натяжения и правильного направления движется по особому, прикрепленному к станине постава, переставному ролику.

Поставы с нижним бегуном обычно снабжаются жерновами диаметром

в 1250 мм; при 120—130 об/мин и потребной силе в 20 л. с. они дают в час 1200 кг гипсовой муки обычной для штукатурного гипса тонины. Насечка жерновов изображена на рис. 59.

к) Дезинтеграторы. Когда тонкому перемолу материала не придают особого значения или когда в наличии имеется достаточное количество просеивающей аппаратуры — вполне применимы для перемолу сырого и обожженного гипса дезинтеграторы.

Принцип работы дезинтегратора (рис. 60) основан на действии центробежной силы, развиваемой двумя концентрически одна внутри другой вращающимися в противоположном направлении системами штифтовых венцов. Каждая система состоит из двух или трех венцов, а каждый венец из ряда стальных штифтов, связанных в одно целое кольцами из полосового железа и общим железным диском, укрепленным на заклиненной на валу втулке. Один из венцов меньше другого и вдвинут в последний. Материал поступает через загрузочную воронку сперва во внутренний меньший венец, разбивается штифтами и центробежной силой выбрасывается в следующий, вращающийся в противоположном направлении венец и, подвергшись здесь повторному перемолу, выводится и направляется в нижнюю часть плотного разборного кожуха. Дезинтегратор приводится во вращение двумя ремнями, из которых один — перекрестный. Производительность дезинтегратора и тонкость помола зависят от числа оборотов и числа венцов.

Описанная машина также пригодна для перемешивания различных сортов гипса и т. п.

Производительность, вес, число оборотов и потребная сила приводятся в нижеследующей таблице:

Таблица 13

Диаметр наружного венца в мм	540	650	800	1000
Число оборотов в 1 мин.	1000	900	800	700
Потребная сила в л. с.	4	6	8	12
Производительность в кг для тонины штукатурного гипса	500	1000	2000	4000
Вес в кг	600	1100	1650	2700

л) Молекулятор. Молекулятор фирмы Пфейфер (Кайзерслаутерн) работает по аналогичному принципу; он снабжен одной вращающейся и одной неподвижной системой венцов.

Приводной вал с закрепленным на нем диском с ударными штифтами снабжается лишь одним подшипником в корпусе. Неподвижная система состоит из нескольких помольных венцов с отверстиями, через которые материал передается последовательно с одного венца на другой. Корпус внутри снабжен легко сменяемым ситом, на которое отбрасывается растертый материал ударными штифтами. В зависимости от той или иной потребной тонины помола подбираются сита с соответствующим количеством отверстий и таким образом дана возможность получения муки желаемой тонины. Все части доступны и легко сменяемы. Подача материала производится тряском или другим питателем.

м) Мельница Симплекс-Перплекс. В мельнице Симплекс-Перплекс (рис. 61) завода Альпине в Аутсбурге, похожей на вышеописанный молекулятор, большое внимание уделено проработке конструктивной формы ударных шипов и помольных венцов. Последние состоят из зубьев с прозорами и входят в кольцевой промежуток между двумя рядами ударных

шипов, замыкая собой все пространство вплоть до несущего шипы диска, благодаря чему материал может пройти через щели наружу лишь по соответствующем измельчении. Помольные венцы с зубьями располагаются в каждом последующем кольце все более часто, чем в предыдущем; они имеют форму буквы К, чем создаются весьма целесообразные помольные поверхности как для наружного, так и для внутреннего помольных венцов. Благодаря такому устройству получается многократное измельчение материала вследствие того, что зубья внутреннего и наружного венцов подвергаясь действию одного ряда ударных шипов, одновременно отбрасывают и растирают материал. Задняя стенка корпуса мельницы снабжена рифлеными плитами, на которые материал, пройдя решетку, отбрасывается и таким образом еще раз здесь подвергается измельчению. Основным недостатком, присущий всем ударным мельницам и состоящий в отсутствии

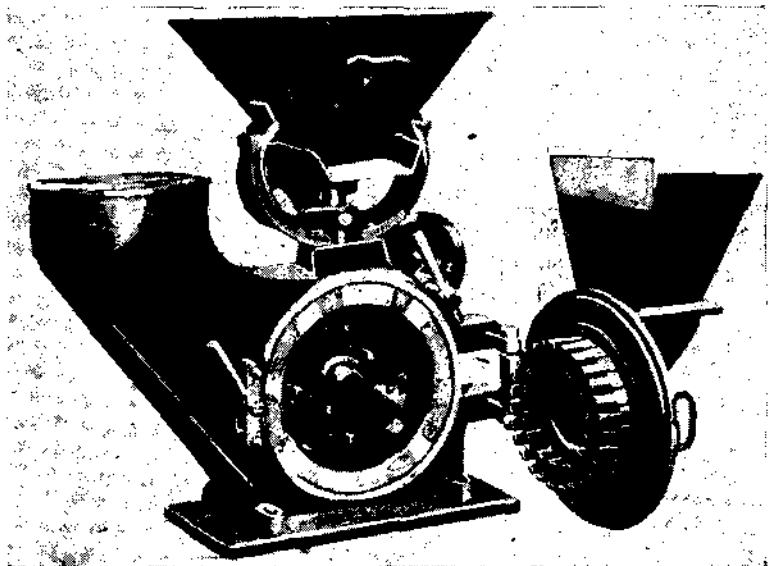


Рис. 61. Мельница Симплекс-Перплекс.

циркулирующего воздушного потока, в данной конструкции устранен тем, что создаваемый вращающимися частями мельницы поток воздуха направляется через патрубок в верхней части мельницы в рукавный фильтр и затем — в атмосферу.

Приводим данные производительности, потребной силы и веса мельницы Симплекс-Перплекс.

Таблица 14

	Номера мельниц			
	I	II	III	IV
Часовая производительность в кг при остатке в 8-10% на сите в 5000 отв. на 1 см ² . .	350	500	1150	1700
Потребная сила в л. с.	3	5	12	17
Вес в кг	130	260	470	870

и) Крестобойные мельницы. С большим успехом в гипсовом производстве применяются также крестобойные мельницы (рис. 62).

По внешнему виду крестобойная мельница напоминает „Перплекс“, однако принцип размол в ней совершенно иной. Рабочими элементами машины являются два рифленых, слегка конических кольца, прикрепленных к задней стенке корпуса и к передней шарнирной крышке, и быстро вращающаяся между ними крестовина с шестью ударными планками. Из последних четыре имеют коническую форму и попарно направлены на переднее и заднее коническое рифленое кольцо, остальные же два своим назначением имеют благодаря особо приданной им форме снятие материала с сит и отбрасывание его на рифленые кольца. Сита устроены, как и в мельнице Перплекс, по всей ширине корпуса и состоят из отдельных, легко сменяемых рамок. Работа мельницы основана исключительно на действии центробежной силы; износ рабочих частей незначителен

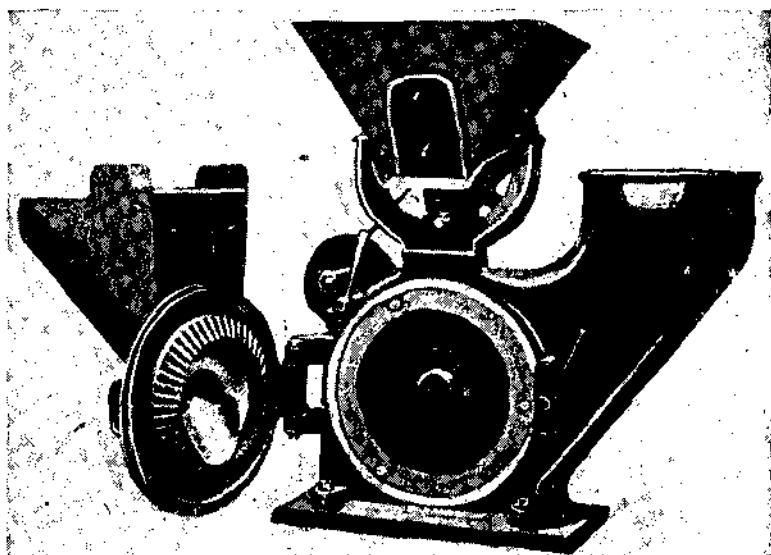


Рис. 62. Крестобойная мельница.

благодаря тому, что кусочки и зерна гипса сами являются помольными тельцами. Случайно попавшее в мельницу постороннее тело не может послужить причиной сколько-нибудь серьезных повреждений и в худшем случае может порвать лишь сито. Подача материала производится в центральную часть мельницы при помощи тряски. Тонкость помола зависит от количества и размеров отверстий в ситах, установленных в мельнице. Количество оборотов, которое делает вал с насаженной на него крестовиной очень значительно, почему внимание конструктора такого рода мельниц должно быть направлено на балансировку вала и тщательную разработку подшипников для последнего. Циркулирующий в мельнице воздух выводится через патрубок в рукавный фильтр и атмосферу, чем обеспечивается надлежащая тяга, а также повышение производительности мельницы.

Примерная производительность крестобойных мельниц для размол гипса при остатке в 8—10% на сите в 5000 отверстий на 1 см², потребная сила и прочие данные следующие:

	I	II	III	IV
Часовая производительность в кг	350	500	1150	1700
Потребная сила в л. с.	3	5	12	17
Все машины в кг	75	165	335	495
Число оборотов в 1 мин.	5000	4500	2900	2300

о) Мельница Фуллера. Довольно значительное количество этого типа мельниц, в исполнении американской фирмы Фуллер, уже в течение ряда лет работает на одном из крупнейших химических заводов Германии по перемолу гипса и ангидрита. Рис. 63 и 64 дают представление о конструкции и принципе работы этих мельниц.

Мельница снабжена чугунным корпусом; привод расположен в нижней части последнего и состоит или из насаженного на вертикальный вал шкива, приводимого во вращение горизонтальным ремнем, или же из пары конических шестерен, из которых одна укреплена на вертикальном валу, а другая — на горизонтальном. Несколько выше привода расположена помольная камера, в которой особой, насаженной на вал крестовиной четыре тяжелых стальных шара держатся в постоянном вращении; развиваемая при этом вращении центробежная сила прижимает шары к помольному ободу. Материал, подаваемый автоматическим питателем, пропускается сперва через магнитный сепаратор для очистки материала от случайно попавших в него железных частей, затем направляется в помольную камеру. Установленным в верхней части камеры эксгаустором тонко перемолотый материал подхватывается и отбрасывается на цилиндрическое сито, установленное над помольным ободом; крупинки, не прошедшие через сито, падают обратно в камеру, мука же, прошедшая через сито, отсасывается расположенным над камерой эксгаустором и выводится из мельницы. В последнее время мельницы эти строятся также с сепараторами.

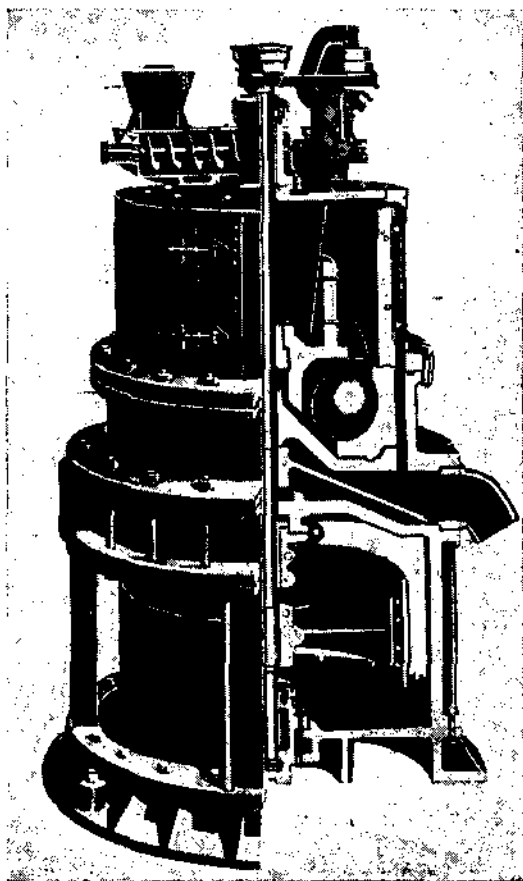


Рис. 63. Мельница Фуллера.

Мельница Фуллера строится четырех размеров; основные данные усматриваются из нижеследующей сводки:

Таблица 16

	I	II	III	IV
Занимаемая мельницей площадь, размеры в мм . . .	1300/1300	1750/1700	1900/1900	2500/2500
Высота в мм	2400	3000	3350	3500
Число оборотов вала в 1 мин.	300	210	160	130
Размер кусков подаваемого материала в мм	15	20	25	30
Часовая производительность гипса в кг при остатке 25% на сите 4900 отв. на 1 см ²	750—1000	2500—3000	8000—12000	—
Вес в кг	3600	8000	15000	27500
Расход силы, в л. с.	10	35—40	90—100	—

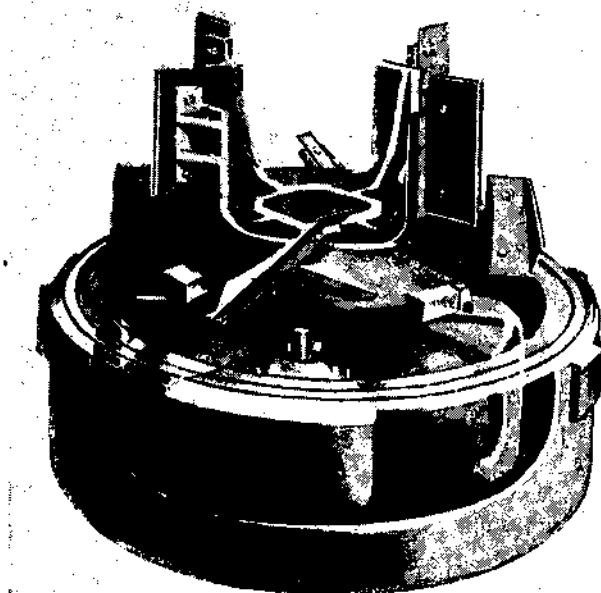


Рис. 64. Помольная камера.

п) Рулетта. Рулетта, названная так строящей ее фирмой Амме-Гизеке Конен в Брауншвейге (Германия) и сходная по конструкции с мельницей Фуллер, изображена на рис. 65. От ременного шкива, укрепленного на вертикальном валу, приводится в быстрое вращение самый вал вместе с насаженной на него крестовиной, удерживающей в постоянном вращательном движении помольные шары, которые центробежной силой прижимаются к помольному ободу. Подаваемый в мельницу материал величиной с грецкий орех направляется равномерным потоком под шары другой крестовины с лопастями, насаженной на вал несколько выше первой. Эта крестовина также снабжена лопастями, которыми смешанная с мукой крупка засасывается и затем отбрасывается на вертикальное цилиндрическое защитное сито. Недостаточно измельченный материал, не про-

шедший через сито, падает вниз в размольную камеру мельницы, предохраняя таким образом второе тонкое сито от порчи. Отсеянный продукт через высокие полые колонны мельницы поступает в приемный плотный бункер, из которого он транспортируется дальше при помощи шнеков или иных транспортеров или же упаковывается здесь в мешки. Ответственные, подверженные наиболее сильному износу части машины изготавливаются из высококачественной стали. Мелкие сита предохраняются от повреждений установленными перед ними более крупными ситами. Смена подверженных износу или неисправных внутренних частей легко и скоро осуществляется через боковой люк. Подача материала производится питательным аппаратом, приводимым в действие от мельничного вала при помощи витого ременного канатика.

Мельница строится двух размеров; с шарами в 260 и 180 мм. Большой размер перемалывает в час при расходе 120 л. с. 7000 кг гипсовой муки тонины, соответствующей остатку в 25% на сите в 900 отверстий на 1 см²; меньший размер при расходе 55 л. с. дает в час 3200 кг муки той же тонины.

р) Шаровые бесситные мельницы „Гартмюле“ с воздушными сепараторами. Ряд крупных химических заводов применяет для размолла гипса и ангидрита также мельницы типа Гартмюле с воздушными сепараторами в исполнении фирмы Пфейфер в Кайзерслаутерне. Описание этого типа мельниц мы даем в гл. VIII.

Шаровые мельницы с ситами широкого применения для указанной цели не нашли вследствие быстро наступающего замазывания.

в) Аппараты для обжига

Штукатурного гипса. Из всех аппаратов, применяемых для обжига штукатурного гипса, наибольшим распространением пользуется так называемый варочный котел. Он представляет собою (рис. 66) сварной или склепанный из котельного железа толщиной 10—15 мм цилиндр диа-

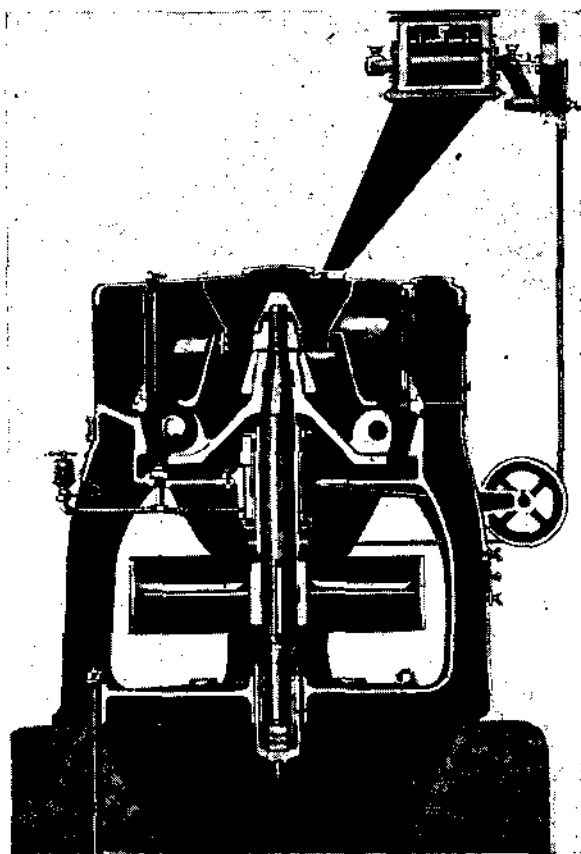


Рис. 65. Рулетта.

метром 1600—2000 мм и высотой в 700—1000 мм. К нижней части цилиндра приклепано кольцо из тяжелого углового железа, на котором укрепляется состоящее из ряда кольцевых сегментов чугунное днище толщиной в 60—90 мм; разборное, состоящее из отдельных частей днище вызывается необходимостью облегчения условий доставки и монтажа, а также необходимостью избежать вредных внутренних напряжений, вызываемых температурой. Соединение между собой отдельных сегментов и уплотнение последних осуществляется при помощи железных пружин, вставляемых в пазы, отлитые в стыках сегментов. Гипс в горячем состоянии жидок, как вода, и потому во избежание просачивания содержимого котла стыки промазываются и уплотняются смесью глины с коровьим навозом или чем-либо другим. Днище котла нередко делается кверху выпуклым

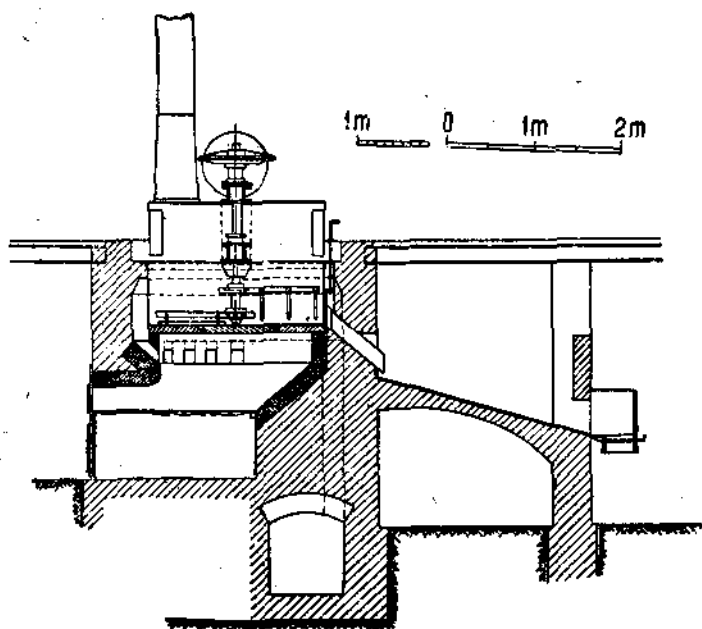


Рис. 66. Варочный котел.

с целью скорейшего опорожнения котла через люк с задвижкой внизу цилиндрической части. Котел снабжается мешалкой, состоящей из вертикального вала с прикрепленными к нему поперечными балками, к которым подвешены на цепях переставные колосники с волочащимися скребками из углового железа. Весь привод укрепляется на балках, уложенных по верху котла, и состоит из горизонтального вала с двумя шкивами — одним холостым и одним рабочим, — одной пары конических шестерен и вертикального вала для вращения поперечных балок с колосниками и скребками.

Назначение мешалки состоит в том, чтобы материал во время варки постоянно перемещивался во избежание местного его перегрева.

Котел устанавливается на каменном цоколе, выложенном изнутри огнеупорным кирпичом; в цоколе устроены топка и зольник. Топка — простая, с горизонтальной колосниковой решеткой, на которой можно сжигать самое

разнообразное топливо; для сжигания бурого угля часто применяются также ступенчатые решетки.

Образовавшимися газами прежде всего разогревается днище котла, а затем уже через соответствующие окна в цоколе — цилиндрическая его поверхность, после чего газы направляются в боров и дымовую трубу. Котлы могут также отапливаться жидким топливом или газом.

Подача материала в котел производится шнеком или иным питателем или же чаще всего — непосредственно из установленного над котлом силоса небольшими порциями через определенные промежутки времени. Для улова и отвода паров, выделяющихся при обжиге, над котлом устроен колпак из оцинкованного железа или алюминия, из которого газы вытяжной трубой отводятся наружу. Контроль над процессом варки осуществляется при помощи термометра, вводимого через устроенный в стенке колпака люк, закрываемый дверкой.

Рабочий процесс в варочном котле происходит так. Развив горение топлива на решетке, пускают в ход мешалку, и в котел затем начинают подавать сырую гипсовую муку небольшими порциями. Во избежание перегрузки мешалки засыпку следует производить не слишком быстро. Нагревшись до определенной температуры, гипсовая мука становится текучей, как вода, вследствие выделения гидратной воды. Текучее состояние материала облегчает его перемешивание и способствует осаждению еще содержащихся в нем крупных частиц, которые, попав в сферу более высоких температур, подвергаются более интенсивной варке. Температура гипсовой муки, постепенно повышаясь и дойдя до 100°C , приводит всю массу в состояние вскипания, продолжающегося до тех пор, пока температура не достигнет 130°C . После этого наступает успокоение и содержимое в котле оседает на 10—14% вследствие перехода большей части сырого гипса в полугидрат. При дальнейшем нагреве массы, примерно через 10—12 мин., содержимое котла снова вскипает и, по достижении температуры порядка 155°C , опять успокаивается и оседает. Немного спустя при температуре примерно в 165°C вновь начинается небольшое вскипание и выделение пузырьков. Это именно тот момент, когда фактически закончен перевод всего сырого гипса в полугидрат, и уже началось образование «растворимого ангидрита». Теперь настало время для выпуска из котла материала, срок чего в значительной степени зависит от качества поступающего в переработку сырья и назначения окончательного продукта.

Если сырье высокого качества, то отлитые из обожженного на нем гипса изделия будут тем крепче, чем ближе температура обжига доведена к $170\text{--}180^{\circ}\text{C}$. С целью выпуска обожженного гипса открывают задвижку в нижней цилиндрической части котла, и гипс выгружается в устроенный рядом с котлом приемок с наклонным дном для остывания. Котел затем снова загружается материалом для последующей варки. Вместе с паром уносится также значительное количество гипсовой пыли, поэтому пар направляют в пылевые камеры с перегородками для осаждения и улавливания этой пыли. Собранную таким образом сухую гипсовую пыль примешивают к окончательному продукту.

Время наполнения варочного котла нормальной емкости длится около 35—45 мин., а весь процесс варки, в зависимости от интенсивности горения — от $2\frac{1}{2}$ до 3 час. Расход топлива составляет примерно 14% бурого угля или 9% бурого брикетированного или же 7% каменного угля среднего качества от веса обожженного гипса. Нередко применяют также смесь бурого и брикетированного углей.

Производительность, размеры, потребная сила варочных котлов наиболее ходовых размеров, применяемых в Германии, Австрии и других странах, приводятся в нижеследующей таблице:

Таблица 17

Диаметр в мм	Высота в мм	Производи- тельность в кг в сутки	Потребность силы в л. с.	Вес в кг
1 000	800	8 000—10 000	1½—2	2 800
1 800	800	10 000—12 000	2 —3	2 800
2 000	1 000	15 000—17 500	3 —4	4 000

В гипсовой промышленности Северной Америки описанной конструкции варочные котлы также широко применяются, но уже значительно больших размеров¹. Применяемые здесь котлы в большинстве случаев имеют в диаметре 2500 мм и в высоту 2000 мм. Для еще большего увеличения поверхности нагрева котлы строятся с двумя-четырьмя внутренними жаровыми трубами большого диаметра. В последнем случае газы нагревают сперва днище и, пройдя нижний канал и жаровые трубы, омывают верхнюю половину цилиндрической части варочного котла. Такой котел вмещает 6000—7000 кг гипсовой муки; процесс варки в нем длится обычно 2½—3½ час., потребная сила равна 15 л. с., а средний расход топлива 65 т каменного угля на 1000 т окончательного продукта. В работе встречаются даже котлы диаметром до 4,2 м и вместимостью до 20—25 т гипсовой муки. Процесс варки в этих котлах тот же, что и в германских.

Фредеркингом и машиностроительным заводом в Зангергейзере разработана другая конструкция варочного котла. В ней передача тепла производится высокотепературной водой, циркулирующей в системе железных труб небольшого диаметра. При отливке чугунного днища котла и двух концентрических коробок, подвешиваемых внутри котла, закладываются, в целях достижения лучшей теплоотдачи, все трубки, предназначенные для циркуляции высокотепературной воды. Необходимое во время варки перемешивание производится мешалкой и шнеком. Применяемая в качестве посредника для передачи тепла вода нагревается до 360° С. Вся система труб замкнута, и циркулирующая в ней вода совершает также замкнутый цикл. Котел для высокотепературной воды состоит собственно из топki, у стенок которой подвешена система труб, в которой происходит нагрев воды.

В качестве топлива для этого котла применяется кокс во избежание образования сажи на трубках. Процесс варки в нем тот же, что и в уже описанных. Варочные котлы этой системы строятся производительностью до 18 000 кг в сутки; расход кокса обычно составляет 70—80 кг на 1000 кг готового продукта.

Разработанный фирмой Опитц и Кайзер варочный котел сходен с только что описанным с той лишь разницей, что трубки не расположены в чугунных отливках, а подвешены внутри котла тремя отдельными секциями. Днище котла изготовлено из котельного железа толщиной в 10—12 мм и обогревается спиральной секцией труб, подвешенных к днищу; с целью уменьшения потерь тепла лучеиспусканием вниз, спиральная секция защищена теплоизоляционным материалом.

¹ Rocks Produkts, 1923, 20.

Варочные котлы, обогреваемые жидким топливом или электричеством, также встречаются в тех случаях, когда применение иного вида топлива кроме жидкого или электричества неосуществимо, и имеют свои преимущества. Регулировка процесса горения в каменноугольных топках однако осуществима в более широких пределах и более точно; поэтому получаемый в котлах с угольными топками гипс отличается большей однородностью качества.

Так как варка в периодически работающих аппаратах, т. е. в так называемых варочных котлах, всегда сопряжена не только со значительными потерями тепла, но и с высокими по заработной плате расходами, то уже сравнительно давно стали применяться в качестве непрерывно действующего аппарата вращающиеся печи. За последнее время созданы различные системы таких печей, которые с успехом применяются в гипсовой промышленности.

Вращающаяся печь системы Куммера. Печь системы Куммера, впервые появившаяся в Америке, представляет собою наклонно расположенный барабан длиной в 7—8 м, диаметром в 1,5—2 м, по которому во время процесса обжига пропускается гипсовый камень, предвари-

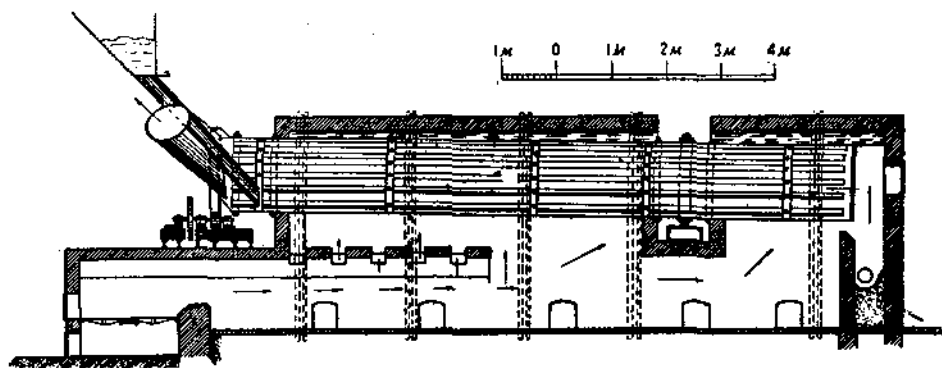


Рис. 67. Вращающаяся печь системы Куммер.

тельно измельченный до 15 мм. Топочные газы, как показывает рис. 67, сперва обогревают барабан снаружи, затем проходят в самый барабан, двигаясь навстречу идущему с другой стороны гипсу. Топка обычного типа снабжается по большей части в целях обеспечения равномерности горения и отопления или вращающейся решеткой или ступенчатой с принудительным движением колосников; топливом служит орешек или брикетированный уголь. Минував порог, газы направляются в перекрытое сводом пространство под барабаном, где догорают унесенные мелкие частицы угля и происходит оседание золы. Свободные от золы газы частично проходят через имеющиеся в своде отверстия, частично же — прямо в пространство между барабаном и его обмуровкой.

Печь снабжена огнеупорной футеровкой и рядом перегородок из шамотового кирпича, надлежаще направляющих топочные газы в целях наилучшего использования содержащегося в них тепла; омыв наружную часть барабана, газы вступают внутрь его, где они идут в обратном направлении. Барабан печи изготовляется из котельного железа толщиной в 15 мм, клепаной конструкции, и опирается своими бандажами на ролики; во вращательное движение он приводится посредством зубчатой передачи; число

сборо́тов в 1 мин. колеблется между четырьмя и шестью. Внутри барабан снабжается продольными планками или угловым железом, служащими для подъема материала на определенную высоту; все время сбрасываясь с планок и углового железа, гипс приводится в самое тесное соприкосновение с идущими навстречу горячими газами. Для подвода под колосниковую решетку воздуха, устанавливается вентилятор, которым при надобности подается также и вторичный воздух в топочную камеру. Далее между барабаном и пылевой камерой устанавливается эксгаустер, которым отсасываются продукты горения вместе с выделяемым при обжиге паром, и тем самым повышается сила тяги. В соответственных местах устраиваются смотровые отверстия и устанавливаются термометры для контроля и наблюдения за процессом обжига и сушки. Подача материала в печь производится питательным шнеком или тряском. Из печи обожженный гипс направляется в элеватор и подается им на распределительные шнеки, отводящие его в силоса для охлаждения в течение 24—26 час. Выдержка необходима потому, что ядро более крупных частиц гипса полностью еще не успело превратиться в штукатурный гипс, увеличивать же время обжига и пребывания гипса в печи недопустимо из-за возможности пережога. В упомянутых силосах происходит окончательное вызревание без необходимости в дополнительном подводе тепла извне.

Из силосов гипс транспортируется теми или иными транспортерами в мельничный цех. Если силоса снабжены достаточным количеством холодильных ячеек, то непрерывный производственный поток обеспечен полностью. Дальнейшие работы по усовершенствованию этих печей показали, что благодаря увеличению длины печи примерно до 30 м можно обойтись без всяких холодильных силосов. Необходимо еще отметить, что на некоторых заводах Германии пользуются для перемола еще горячего гипса мельницами системы Фуллера или им подобными, в которых помольные камеры снабжены особым устройством для охлаждения, причем размолотый продукт транспортируется в обычные силоса шнеками с подобным же устройством. Это устройство себя очень хорошо зарекомендовало и благодаря отсутствию необходимости в холодильных силосах дало возможность для экономии на затратах по сооружению силосов и нужного для них места. В пылевых камерах, устраиваемых рядом или над печью, благодаря переставным щитам из оцинкованного железа, асбестовой ткани и т. п. пыль осаждается и затем выводится или цепью или шнеком к элеватору у силоса. Необходимая для обжига того или иного сырья температура должна быть изучена и установлена соответствующими опытами, так как и искусственная тяга, и скорость продвижения обжигаемого материала, и количество, и свойство пропускаемого сырья имеют немаловажное значение для установления температурного режима. В сушилках Куммера рекомендуется сушить лишь более крупный материал, предварительно же отсеянную мелочь следует варить в варочных котлах. Расход топлива составляет примерно 400—500 кг орешка хорошего качества на 10 т обожженного гипса; энергии на то же количество готового продукта потребуется около 20—25 квт·ч.

Вращающаяся печь системы Полизиуса. Для выработки более высоких сортов штукатурного и формовочного гипса фирмой Полизиус строится запатентованная ею вращающаяся печь, конструкция которой изображена на рис. 68.

Измельченный до размера кусков в 30 мм гипсовый камень подается точкой на укрепленное в конце печи цилиндрическое сито, на котором

и просеивается. Прошедшая через сито мелочь перерабатывается в варочных котлах, не прошедшие же через сито более крупные куски направляются в печь. Барабан отопливается топкой со стороны одной из продольных стенок обмуровки, причем газы сперва омывают наружную его поверхность и затем уже проходят внутреннюю жаровую трубу, ко орая значительно увеличивает поверхность нагрева печи. Барабан снабжен расширенной зоной как раз в том месте, где газы по выходе из топки приходят с ним в соприкосновение. Назначение расширенной зоны состоит в том, чтобы дать возможность материалу скопиться в ней с целью предотвращения его перегрева. В печи этой системы гипс в соприкосновение с топочными газами не приходит. Материал, пройдя печь, представляет собой уже готовый обожженный продукт и непосредственно может быть направлен в мельницу для окончательного перемола. Выделяющийся в печи пар отсасывается эксгаустором отдельно от продуктов горения и, миновав расположенную за барабаном пылевую камеру, отводится в трубу. Устройством задвижек дана возможность в широких преде-

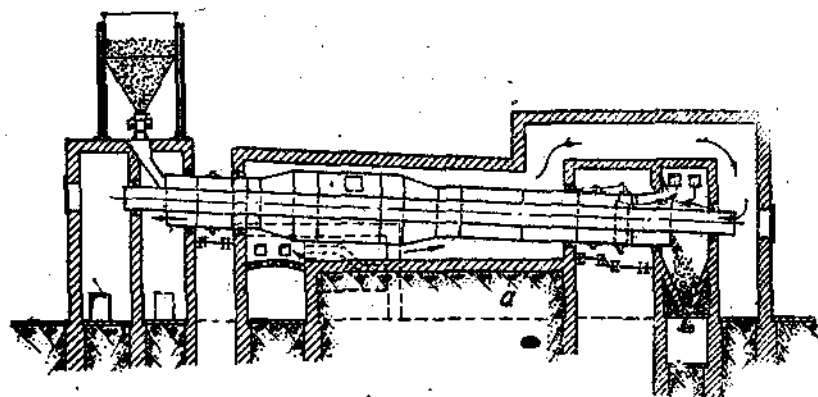


Рис. 68. Вращающаяся печь системы Полизиуса.

лах изменять подачу свежего воздуха для установления соответствующего температурного режима. В отношении расхода топлива необходимо отметить, что при одном и том же качестве конечного продукта он ниже, чем при варочных котлах.

Вращающаяся печь системы Бютнера. Сушильные барабаны системы Бютнера, зарекомендовавшие себя надежностью и экономичностью работы, получили широкое применение как в Германии, так и в прочих странах.

Сушильный барабан этот состоит из несколько наклонно расположенного на роликах вращающегося железного барабана, снабженного внутри патентованным устройством системы Герлах (рис. 69) для непрерывного перелопачивания и равномерного каскадного распределения материала по всему поперечному сечению барабана.

При выработке штукатурного гипса процесс производства происходит так. Гипсовый камень, измельченный до величины от 0 до 15 мм, подается с помощью автоматического питателя и шнека в барабан и здесь движется вместе с газами в прямотоке. Устройство для перелопачивания и каскадного

распределения материала состоит из ряда балок крестообразного сечения, расположенных таким образом, что материал при каждом полном обороте барабана переваливается четыре раза. Указанным устройством кроме того обеспечивается равномерное распределение гилса по всему поперечному сечению барабана. Сырье, непрерывно переваливаясь с одной поверхности на другую, подвергается интенсивной сушке горячими газами, омывающими со всех сторон отдельные крупинки его. Непрерывным перемешиванием мате-

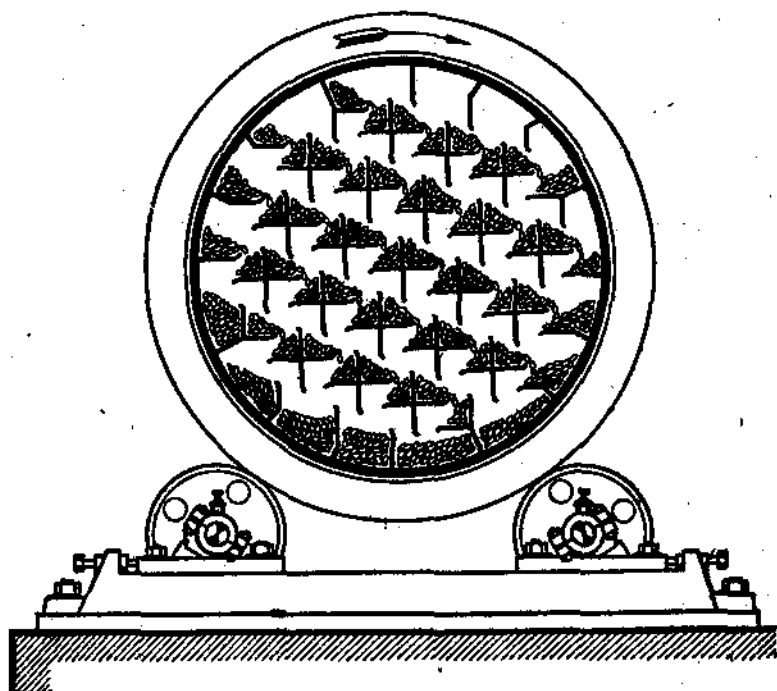


Рис. 69. Каскадная система.

риала достигается еще то преимущество, что более мелкие частицы под действием тяги быстрее проносятся через барабан, чем более крупные, и подвергаются таким образом менее продолжительному действию топочных газов, чем эти последние. В результате всего этого получается равномерный обжиг как крупных, так и мелких фракций от 0 до 15 мм. Балки крестовидного сечения по всей длине имеют гладкую ровную поверхность, вследствие чего всякая задержка на них материала исключена. У выходного отверстия барабан для регулирования скорости выходящего материала снабжается особым устройством — подпорной диафрагмой. Она состоит (рис. 70) из ряда частично заходящих один за другой сегментов, которые прикреплены к выпускному концу барабана и, будучи соответственно установлены, меняют свободное сечение барабана и в той или иной мере задерживают материал внутри барабана. Установив эти сегменты в соответствии с влажностью подлежащего сушке материала, в дальнейшем можно вести производство без всякой регулировки, конечно при условии равномерной подачи сырья и топлива.

Барабан делает 3—4 об/мин, причем время пребывания материала в барабане составляет около 2 час.

Для отопления в большинстве случаев применяются полугазовые топки для сжигания или кускового, или брикетированного бурого угля; применимы также топки с вращающейся решеткой для сжигания орешка. Для отвода газов при растопке сооружается особая труба, которая при пуске барабана выключается. Освобождающийся во время сушки пар по выходе из печи вместе с продуктами горения направляется в циклон, а отсюда — в пылевую камеру, где пыль осаждается. Для отсасывания пара и продуктов горения между циклоном и выпуском печи устанавливается эксгаустор; трубопровод, соединяющий эксгаустор с циклоном и выходной камерой печи, снабжается задвижками, с помощью которых регулируется сила тяги, а стало быть, и температура в барабане.

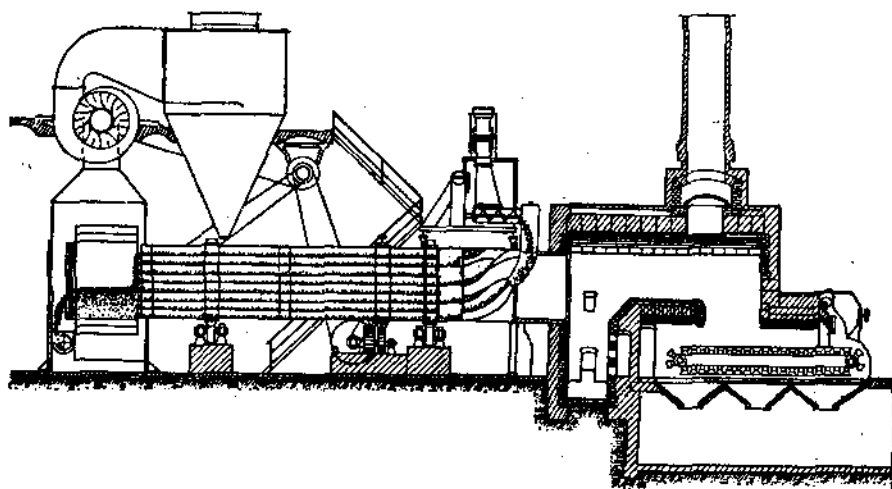


Рис. 70. Вращающаяся печь системы Бютнера.

Описанный барабан строится для производительности от 2000 до 12 000 кг штукатурного гипса в час. Потребная энергия составляет 5—6 квт·ч на 10 т обожженного гипса.

В Торде (Зибенбюрген) такой барабан работает с 1913 г. на имеющемся там естественном газе с теплотворной способностью 8000 ккал и зарекомендовал себя с наилучшей стороны.

Для выработки штукатурного гипса применяется еще целый ряд других вращающихся печей, но все они без исключения как по способу работы, так и по конструкции сходны с уже описанными.

Гарцская шахтная печь для обжига строительного и эштрих-гипса. Для обжига строительного и эштрих-гипса применяются главным образом шахтные печи, почему вполне естественно напрашивается вопрос об использовании для гипсовой промышленности имеющегося в известковой и цементной промышленности опыта по применению шахтных печей.

Значительным распространением пользуется гарцская шахтная печь (рис. 71). Она представляет собою простую шахту цилиндрического или эллиптического сечения высотой около 5 м при среднем диаметре около

2 м; для выгрузки обожженного гипса у основания печи имеется четыре выпуска. В целях усиления тяги и обеспечения большей безопасности обслуживания, печи снабжаются железным или каменным вытяжным зонтом с отверстием для загрузки материала. Кожух печи—каменный, футеровка из шамотового кирпича. По всему сечению печи, на расстоянии около 80 см одно от другого, устроены смотровые отверстия для контроля процесса обжига, а также для снятия и спуска со стенок наваров и так называемых „козлов“ при помощи железных шестов.

Печь работает непрерывно по так называемому пересыпному способу: слой гипса с размерами кусков от 10 до 15 см попеременно чередуется со слоем тощего короткопламенного угля. Объемное соотношение угля к гипсу составляет примерно 1:10, т. е. на 10 вагонеток гипсового камня задается 1 вагонетка угля, который равномерно разравнивается по всему сечению печи. Печь перед пуском необходимо хорошо прогреть хворостом, дровами

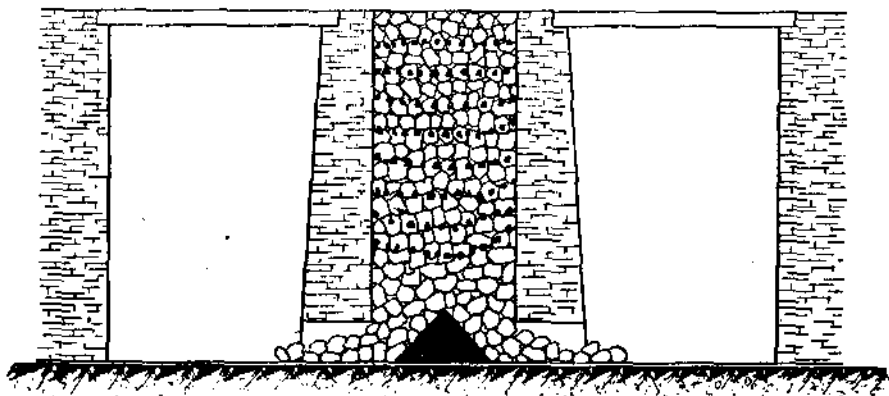


Рис. 71. Гарцская шахтная печь.

и т. п., после чего зажигается слой кокса на подстилке из гипсового камня, а затем постепенно—и все содержимое печи, причем при первой засыпке печи топливо задается с некоторым избытком для обеспечения надлежащего прогрева печи и ее содержимого. Время прохождения материала через описанную печь составляет $1\frac{1}{2}$ суток. Особое внимание необходимо обратить на подачу достаточного количества воздуха, так как иначе получается восстановительный процесс горения и как следствие—образование столь опасного для эштрих-гипса сернистого кальция. Обожженный продукт отдельными партиями 2—3 раза в сутки выгружается шуровкой. В тех случаях, когда обжиг, а также и выгрузка должны быть задержаны (например в праздничный день), содержимое шахты сверху засыпается мелким материалом, для понижения тяги и ослабления процесса горения. Обожженный продукт тщательно сортируется, так как при неравномерном ходе обжига он нередко содержит довольно значительное количество недопала.

Шахтная печь системы Мейера. Для обжига эштрих-гипса очень хорошие результаты достигнуты на шахтных печах системы Мейер-Валькенрида (рис. 72) с выносными топками. Шахта этой печи имеет форму опрокинутой усеченной четырехгранной пирамиды высотой в 5 м с верхним сечением 3×4 м и нижним, на уровне топок, $2,5 \times 1,5$. Печь снабжается двумя двоянными топками с колосниковыми

решетками и двумя выгрузными отверстиями в нижней части седловидного пода. Гипсовый камень в верхних слоях сначала подогревается отходящими газами; спускаясь к выходным окнам для топочных газов, он нагревается здесь до необходимой температуры и, продвигаясь далее вниз, охлаждается. Выгрузка обожженного гипса производится через каждые четыре часа и длится до тех пор, пока не появятся куски раскаленного материала, что означает, что из зоны подогрева поступило в зону обжига достаточное количество материала. Выгрузку продукта следует производить одновременно и равномерно с обеих сторон для обеспечения ровного спуска всего содержимого печи. Дверцы выпускных отверстий устроены на такой высоте над уровнем пода, чтобы обожженный продукт мог тут же

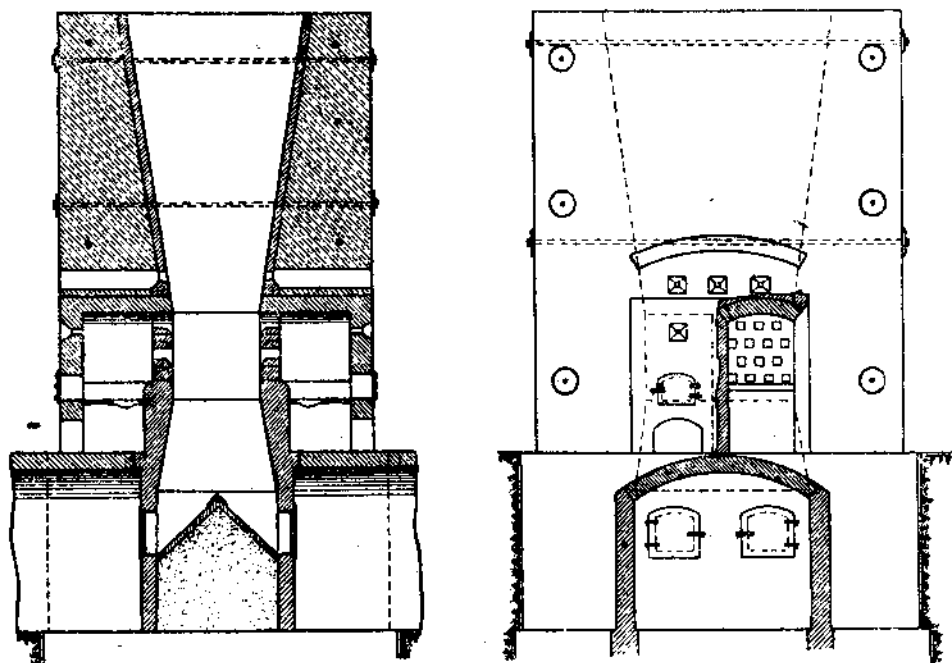
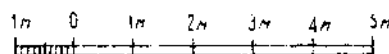


Рис. 72. Шахтная печь системы Мейера.

грузиться в вагонетки для отвозки его на склад. Дверцы должны быть всегда закрыты во избежание прорыва холодного воздуха в зону обжига. Необходимо однако отметить, что выгрузка горячего материала сопряжена с потерей тепла и увеличением расхода топлива и создает кроме того тяжелые условия для обслуживающего персонала. Эти недостатки могут быть устранены устройством полугазовых выносных топок, при которых часть горючих газов поступает в печь несгоревшей и требует для сжигания подвода добавочного количества воздуха; поэтому при открытых дверцах выпускных отверстий поступающий через них холодный воздух, охлаждая материал, нагревается и тем самым способствует развитию еще более высоких температур. При газовой топке эти преимущества проявляются еще сильнее. Помимо всего этого газовые и полугазовые топки допускают возможность

сжигания самых низкосортных видов топлива и повышения таким образом экономичности работы.

Суточная производительность печи Мейера равна 20 т эстрих-гипса при расходе топлива в 7%, каменного или 11%, брикетированного бурого угля.

Шахтная печь системы Готоп. На многих заводах Германии для обжига гипса применяются шахтные печи системы Готоп (рис. 73). Речь и здесь идет об обычной шахтной печи с выносной колосниковой топкой. Газы из топок направляются сперва в сооруженный внутри самой шахты купол из шамотового кирпича, а затем уже после надлежащего прогрева кладки — в самую шахтную через ряд отверстий, расположенных в кладке на различной высоте. Здесь газы, смешавшись с выделенным из гипсового камня паром, отводятся по горизонтальным, снизу открытым трубам, проходящим через всю шахту в сборные каналы внутри кладки кожуха печи и затем в трубу. Сила тяги и интенсивность теплопередачи регулируются задвижками в сборных каналах. Эта

печь отличается благодаря описанному устройству хорошей теплоотдачей и более быстрой отгонкой пара из гипсового камня. В кладке имеются смотровые отверстия, через которые можно следить за процессом обжига. Печь работает непрерывно. Материал кусками до 15 см величиной подается в шахту через отверстие зонта, устроенного над колошниковым, и выгружается по окончании процесса обжига и некоторым охлаждением через выпускные отверстия в нижней части шахты через определенные промежутки времени. Печи эти дают от 20 000 до 50 000 кг в сутки. Расход топлива зависит от степени первоначальной влажности и необходимой сушки.

Для обжига гипса применяются еще так называемые гипсообжигательные камеры. Обжиг происходит в больших перекрытых камерах из массивной кирпичной кладки вместимостью в 200 т гипсового камня; в них на расстоянии примерно 1 м друг от друга выкладываются топочные каналы шириной в 30 и высотой 50 см, которые загружаются коксом. На эти каналы сажаются сперва крупный гипсовый камень, и затем на последний —

менее крупный, до тех пор, пока камера не будет загружена полностью; все содержимое печи наконец сверху засыпается слоем мелочи. Кокс в каналах зажигается хворостом, дровами и т. п. Весь процесс обжига при вместимости камеры в 200—300 т продолжается около 3—4 суток.

После того как все количество кокса в каналах сгорело, материал оставляется еще на некоторое время в камере для охлаждения; затем он выгребается, сортируется и в зависимости от результатов обжига или перемалывается, или после перемола подвергается обработке в варочных котлах в более высококачественный продукт. При таком двукратном обжиге затраты на рабочую силу хотя и возрастают, но зато получается значительное сбережение силы на переход полуобожженного материала.

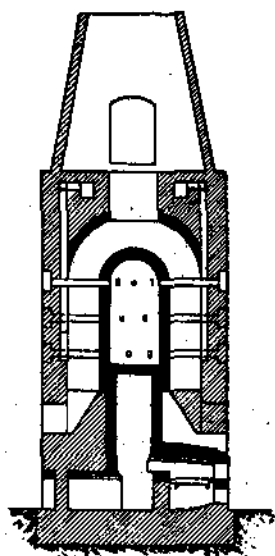


Рис. 73. Шахтная печь системы Готоп.

Печи для обжига „строительного“ гипса (для кладки)¹ сходны с гарцскими шахтными печами. Шахта высотой в 4—5 м имеет прямоугольное сечение с размерами в верхней части $2 \times 1,2$ м и в нижней части у выпуска— $2,5 \times 3$ м; верх шахты снабжается коническим зонтом из каменной кладки, на котором устанавливается дымовая труба высотой 10—12 м. В качестве топлива применяется или мелочь бурого угля, или уголь-рухляк. Загрузка производится таким же порядком, как и в гарцских шахтных печах. Расход угля составляет 10—12% веса готового продукта. Печь вышеуказанных размеров вмещает 10 т гипсового камня и дает около 8 т обожженного гипса за 10—12 час.

г) Аппаратура для просеивания

Барабаны с ситами и воздушные сепараторы

Для отсева мелочи от кусков сырого гипса до его измельчения, пере-мола и обжига, а равно и для просеивания применяются барабаны железные или деревянные, обтянутые листовым железом с пробитыми отверстиями или же шелковой и латунной тканью. Описание этих барабанов мы даем в гл. VIII.

За последние годы с большим успехом применяются для отсева муки от крупки воздушные сепараторы различных конструкций, которые благодаря незначительной потребности в энергии для их привода, незначительности занимаемого ими места и отсутствию сит находят все большее применение в гипсовой промышленности. На описании конструкции и принципа работы сепараторов мы также считаем излишним здесь останавливаться, так как оно подробно изложено в главе о цементе.

При отсеивании штукатурного гипса с остатком 8% на сите 4900 отверстий на 1 см^2 производительность воздушных сепараторов, выпускаемых фирмами Полизиус в Дессау и Пфейфер в Кайзерслаутерне, составляет:

При диаметре в мм	Производитель- ность в кг/час
1200	450
1600	800
2000	1250
2400	1800
2800	2500

В то время как при отсеве барабанами равномерность подачи материала большого значения не имеет, при отсеивании воздушными сепараторами этот момент заслуживает самого серьезного внимания. Подачу материала рекомендуется производить при помощи автоматического питателя. Не давая здесь подробного описания сепараторов, мы все же должны, во-первых, отметить простоту ухода за ними, во-вторых, указать, что, благодаря расположению подшипников и регулировочного устройства на крышке самого сепаратора, установка и монтаж осуществляются просто и легко и что кроме того нет надобности в устройстве особых люков для обслуживания, как в барабанах для просеивания.

¹ Этот гипс в Германии получил название „Sparkalk“, означающее в переводе „экономическая изрость“—материал, ничего общего с известью не имеющий.

Сотрясательные сита

Для отсева крупного гипсового камня и подачи его в измельчающие машины применяются также сотрясательные сита и качающиеся колосники, схожие по конструкции и способу действия с описываемыми нами в гл. VIII.

д) Аппаратура для перемешивания, транспортеры, весы и магнитные сепараторы

При производстве некоторых сортов высококачественного гипса теснейшее перемешивание самого материала или совместно с другими добавками производится в особых мешалках, аппаратах, применяемых в целом ряде других производств. Аппараты эти работают большей частью периодически, и состоят из двух вращающихся в разном направлении шнеков, интенсивно перемешивающих пропускаемый через них материал. Перемешанный продукт насыпается непосредственно у выпускного штуцера в мешки или же удаляется транспортным шнеком.

Для транспортировки гипса и подачи его в те или иные машины применяются те же аппараты и механизмы, что и в цементной промышленности. В целях экономии затрат, кожухи элеваторов и желоба для шнеков нередко изготавливаются из хорошо профугованных досок.

Выпускные штуцера муочных силосов снабжаются довольно часто автоматическими весами, в которых подача материала прекращается по достижении определенного веса насыпки автоматически действующей задвижкой или клапаном.

Ввиду того, что в подаваемом из карьера сырье нередко попадают железные части, как например куски поломанного инструмента, болты, гайки, гвозди и т. п., могущие послужить причиной поломок в дробилках и мельницах, то для улавливания этих железных частей устанавливают в течках для подачи материала в дробилки или мельницы магнитные сепараторы, иногда по несколько штук последовательно.

Через соответствующие промежутки времени магнитные сепараторы очищаются от уловленных ими металлических частей. Сепараторы с вращающимися магнитами снабжаются скребками для непрерывного снятия приставшего железа, почему они и отличаются постоянством силы притяжения.

е) Обеспыливающие устройства

Пылевые камеры, трубы, циклоны и фильтры

При варке и обжиге вместе с паром всегда уносится значительное количество гипсовой пыли, которая по выходе из трубы оседает и, загрязняя всю ближайшую местность, крыши и т. п., представляет одновременно значительные потери в производственном процессе. В целях сокращения потерь сооружают за варочными котлами и вращающимися печами пылевые камеры, в которых изменением сечения ходов и установкой щитов пыль улавливается и осаживается. Эти камеры сооружаются главным образом каменными и снабжаются или большим, плотно закрываемым проходом для вывоза осаждающейся в них пыли, или же устройством в их поду более целесообразных, непрерывно действующих скребковых или шнековых выгрузных транспортеров. При сооружении таких камер необходимо обратить самое серьезное внимание на установление правильных размеров самих камер и надлежащую их изоляцию, чтобы избежать конденсации в них паров, а следовательно и образования в них шлама. Рекомендуется поэтому отводить

пары из пылевых камер в дымовую трубу, что способствует установлению более ровной тяги: увлекаемая пыль выносится в атмосферу на большую высоту и становится безвредной для ближайшей окрестности.

Той же цели можно достигнуть устройством нескольких параллельных вертикальных каменных каналов различного сечения, где благодаря многократному изменению направления потока пыль осаждается; в поде каналов устраиваются выгребные ямы, из которых время от времени скапливающаяся в них пыль выгружается. Правильным выбором размеров и соответствующей изоляцией необходимо предохранить каналы от конденсации в них пара.

Во избежание скопления значительных количеств пыли и сужения ею таким образом сечения, пылевые камеры в крупных установках с вращающимися печами снабжаются автоматическим разгрузочным приспособлением для непрерывного удаления пыли; для этой цели применяются или шнековые, или скребковые транспортеры, для очистки же щитов от осевшей на них пыли—согрясательный механизм.

Для печей, работающих на искусственной тяге, вполне пригодны циклоны, описание которых приводится в гл. VIII. С целью предохранения кожуха циклона от ржавления из-за влажной пыли его внутри или красят, или покрывают слоем цементного раствора.

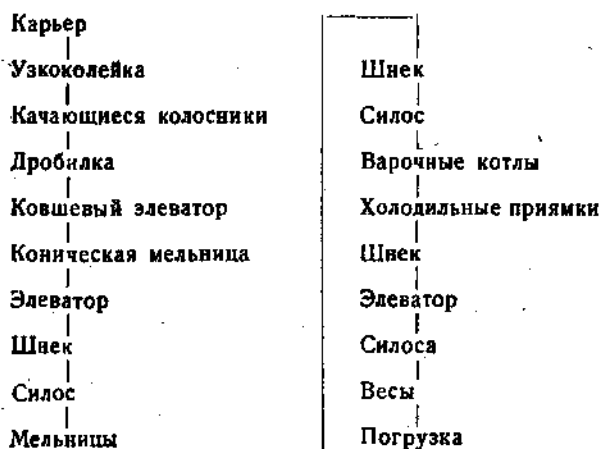
Образующаяся при измельчении и просеивании обожженного гипса пыль отсасывается помощью эксгаустора по надлежаще уложенным трубопроводам и осаждается затем в фильтрах, различные конструкции которых описываются нами в гл. VIII.

ж) Схема производства гипса

Схема производства гипса зависит от качества сырья и окончательного продукта, а также от размеров самого производства.

В дальнейшем мы даем описание процесса производства и всего устройства:

- а) завода штукатурного гипса с варочными котлами;
 - б) завода штукатурного гипса с вращающейся печью системы Куммера;
 - в) завода эстрих-гипса с шахтной печью системы Мейера.
- а) Завод штукатурного гипса с обычными варочными котлами суточной производительностью в 45 000 кг работает по следующей схеме:



Из карьера гипс кусками размером не более 30 см подается по узкоколейке шириной колеи в 600 мм вагонетками с опрокидными кузовами в дробильный цех. При значительном расстоянии между заводом и карьером или при беспокойном рельефе местности можно рекомендовать воздушно-канатную дорогу. Чаще всего однако завод сооружается вблизи карьера, почему в таких случаях сравнительно редко применяется паровая тяга для подачи сырья целыми составами. Для описываемого завода принято, что гипсовый камень подается к дробильному цеху непосредственно из карьера.

Для суточной выработки в 45 000 кг штукатурного гипса требуется около 54 000 кг гипсового камня.

Далее принято, что работа в карьере — транспортировка сырья в дробильный цех — производится в одну 8-часовую смену, так что в час должно быть добыто, отвезено и раздроблено 7000 кг камня.

При доставке камня по рельсо-цепной или рельсо-канатной дороге вагонетками в $1\frac{1}{2}$ м³, или весом в 750 кг, требуется отправлять каждые 6 $\frac{1}{2}$ мин. одну груженую вагонетку.

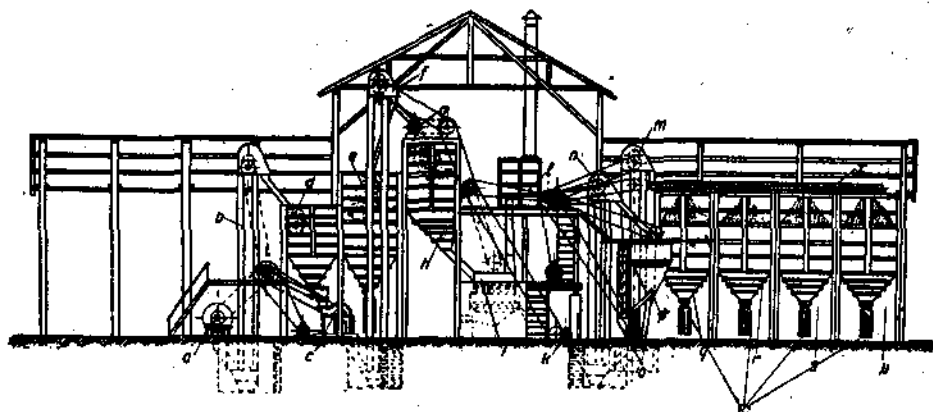


Рис. 74. Завод штукатурного гипса с паровыми котлами (продольный разрез).

При расстоянии между карьером и дробильным цехом около 300 м и при скорости движения вагонеток 0,8 м в 1 сек. в пути всегда будут находиться одна груженная и одна порожняя вагонетки. Таким образом для обеспечения подачи сырья потребуется 7—8 вагонеток.

Сырье выгружается на качающуюся решетку или складывается рядом; решеткой сырье подается равномерным потоком в дробилку. Мелочь, провалившаяся сквозь решетку, направляется в выпускную течку дробилки, значительно облегчая таким образом работу последней. Для ежечасного дробления 7000 кг гипсового камня до кусков размером в 5 см потребуется дробилка с размерами зева 600/300 мм и расходом силы от 15 до 18 л. с.

Ковшевым элеватором дробленый материал вместе с провалившейся сквозь качающуюся решетку мелочью подается в коническую мельницу с диаметром конуса в 1 м, которая измельчает материал до величины 8 мм, расходуя при этом 8—10 л. с.

После конической мельницы материал другим элеватором подается на верхнюю площадку силосов, где он шнеками распределяется по отдельным ячейкам силосов или питательным бункерам мельниц.

Для обеспечения непрерывности работы мельниц — на случай остановок

дробильного цеха — весьма рекомендуется запасные силоса устраивать таких размеров, чтобы они вмещали дневную производительность дробильного цеха, т. е. в нашем случае по меньшей мере 54 т.

При условии, чтобы мельничный цех перерабатывал всю суточную продукцию варочных котлов в течение 8—10 час., необходимо установить 8 вертикальных мельничных поставов с диаметром жерновов в 600 мм или же 6 таких же поставов с диаметром жерновов в 800 мм. Однако во избежание необходимости сооружения чрезмерно мощного мельничного цеха целесообразнее работать в две смены, и тогда потребуется всего лишь три вертикальных поставы с диаметром жерновов в 600 мм. Но все же и в этом случае рекомендуется установка еще одного резервного поставы на случай смены или насечки жерновов.

Конические выпускные штуцера силосов располагаются непосредственно под загрузочными воронками мельниц. Работа мельничных поставов описана выше. Задвижка в нижней части мельниц дает возможность наблюдать за тонкостью помола продукта.

По выходе из поставов материал поступает в шнеки, расположенные в выемках фундаментов, и из шнеков — в элеваторы для подачи на площадку силосов варочного цеха, на которой он системой шнеков распределяется по отдельным ячейкам. Силоса должны быть такой емкости, чтобы обеспечить бесперебойную работу варки не менее чем на 1—2 суток.

Варочные котлы обычно устанавливаются так, чтобы топки были расположены на уровне пола, а загрузочные отверстия — примерно на 3 м выше. Питание котлов в редких случаях происходит автоматически, так как скорость и время загрузки зависят от работы и состояния топок. Больше всего оправдали себя штуцера с задвижками, которыми можно регулировать количество подаваемого материала в самых широких пределах, причем необходимо обратить внимание на то, чтобы штуцер был расположен по возможности дальше от вытяжной трубы и чтобы он легко был доступен для обслуживания.

О варке сказано более подробно выше.

Для суточной производительности в 45 000 кг достаточно трех котлов диаметром в 2000 мм и высотой 1000 мм. Котлы находятся в непрерывной работе круглые сутки, во избежание потерь тепла от растопки. В качестве топлива применяется брикетированный бурый уголь, расход которого приблизительно 4000 кг при вышеуказанном суточном выпуске.

Топочные газы отсасываются дымовой трубой высотой в 25 м, служащей также для отвода пара из пылевой камеры.

Обожженный гипс выпускается из котла через отверстие, имеющееся в цилиндрической части котла у самого днища, в каменный холодильный приямок площадью в 6—8 м², где он остается до выпуска следующей варки; уже в холодном виде гипс транспортируется шнеками и элеваторами в отдельные ячейки запасных силосов. На некоторых заводах обожженный гипс из варочных котлов выпускается во вращающийся холодильный барабан, где он тщательно перемешивается и охлаждается.

Для привода дробильного, мельничного и варочного цехов, а также транспортеров, подъемников, элеваторов и пр., на новейших заводах применяются главным образом электродвигатели благодаря легкости их подбора соответственно потребности в силе того или иного механизма и минимальным потерям от недогруза и холостого хода.

Для описанного завода потребуются следующие электромоторы:

1	мотор в 4—6 л. с. для наклонного подъемника
1	» » 25 » » дробильного цеха
1	» » 32 » » мельничного
1	» » 25 » » варочного

причем этими же моторами приводятся и приводящие транспортеры, элеваторы и пр

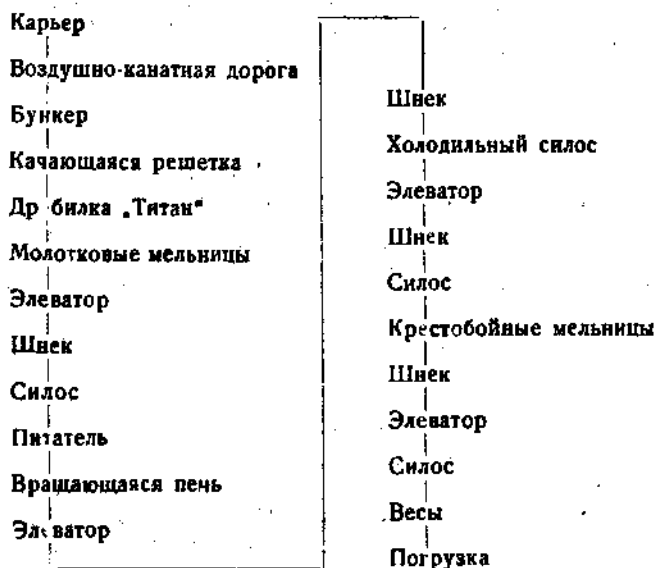
При необходимости выпускать гипс или более высокого качества, или особо тонкого помола, обожженный продукт подвергается вторичному размолу. В таких случаях необходимо соорудить добавочного силоса емкостью в 20—30 м³, под которым устан вливаются 2—3 мельницы той же конструкции и размеров, как вышеописанные. Производительность этих мельниц при перемоле обожженного гипса на 20—25% выше, чем при перемоле сырого. Особое внимание должно уделяться правильной и тщательной насадке жерновов.

Размолотый гипс в этом случае еще отсеивается воздушным сепаратором и упаковывается тут же в мешки, крупка же из-под сепаратора направляется в мельницу для повторного размола.

Под силосами готовой муки устанавливаются автоматические весы для упаковки ее в мешки.

Для возможности укладки того или иного количества упакованных мешков вокруг силосов необходимо предусмотреть соответствующую площадь.

б) Далее мы даем описание завода с суточной производительностью в 120 т штукатурного гипса, оборудованного вращающейся печью системы Кумера, работающего по следующей схеме:



Для выработки 120 т штукатурного гипса потребуется 144 т гипсового камня.

Для доставки камня из карьера в бункер дробильного цеха предусмотрена воздушно канатная дорога; карьер отстоит от завода на расстоянии 700 м, скорость движения вагонеток принята в 2 м/сек, а емкость ваго-

Нетки — в $\frac{1}{2}$ м³ или 750 кг. В карьере вагонетки принимаются на тележки узкоколейки и подаются к тому или иному забою для погрузки. Работа карьера и канатной дороги намечена в одну 8-часовую смену; в час таким образом должно быть добыто и доставлено в дробильный цех 18 т гипсового камня. Поэтому в пути должны всегда находиться две груженых и две порожних вагонетки при расстоянии между последними в 360 м, что соответствует $2\frac{1}{2}$ мин. для прохода этого расстояния. Считаю, что одновременно будут находиться:

на погрузочной станции	10 вагонеток
в пути по канатной дороге . . .	4 вагонетки
на разгрузочной станции	4 „

получим необходимые для регулярной работы завода 18—20 подвесных вагонеток и 8—10 тележек для обслуживания карьера.

Емкостью бункера для гипсового камня должна быть обеспечена по меньшей мере вся суточная выработка, во избежание перебоев в работе всего завода из-за возможных случайных остановок подвесной дороги.

Дробилка „Титан“ производительностью в 18 т/час дробит гипсовый камень до величины кусков не более 50 мм; загрузочное отверстие дробилки имеет следующие размеры: 900/700 мм, а потребная для ее привода сила составляет 20 л. с.

Питателем для дробилки „Титан“ являются установленные перед ней качающиеся колосники, которыми также отсеивается мелочь.

Раздробленный д. обилкой „Титан“ материал направляется двойной точкой в две молотковых мельницы, установленные непосредственно под дробилкой. Мельницы эти имеют в диаметре 700 мм при ширине корпуса в 500 мм, требуют для привода по 10—15 л. с. и измельчают материал до величины кусков не более 15 мм.

Отсюда материал ковшевым элеватором подается в силос емкостью, равной по меньшей мере суточной потребности в сырье печного цеха.

Под силосом устанавливается трясковый питатель, которым материал равномерно подается во вращающуюся печь системы Куммера, перед тряском можно еще установить сито для отсева тонких фракций и переработки их в варочных котлах; в этом случае обеспечивается более ровный обжиг во вращающейся печи.

Работа вращающейся печи системы Куммера, обеспечивающего устройства и холодильных силосов подробно описана выше.

Из холодильных силосов обожженный материал с помощью шнеков и элеваторов подается в мельничный силос, под которым устанавливаются крестобойные мельницы для окончательного перемола; для переработки 5000—6000 кг штукатурного гипса в час потребуются: 4 крестобойных мельницы модели IV, при расходе каждой мельницей 15 л. с.

Из-под мельниц материал транспортируется шнеками в элеваторы, подающие его на площадку над мучными силосами, где он распределяется шнеками по отдельным ячейкам.

За процессом обжига во вращающейся печи необходимо иметь постоянный самый неослабный, осуществляемый регистрирующими термометрами контроль. Через определенные, по возможности короткие, промежутки времени от обожженного гипса должны отбираться пробы, чтобы в случае обнаружения каких-либо отклонений в схватывании могли быть немедленно приняты меры к их устранению.

Что касается расхода топлива, то при применении угля высокого ка-

чества его потребуется для выработки 120 т в сутки около 5400 кз. В целях обеспечения регулярного и бесперебойного режима обжига устройство автоматических топок и механизированной подачи угля следует всемерно рекомендовать.

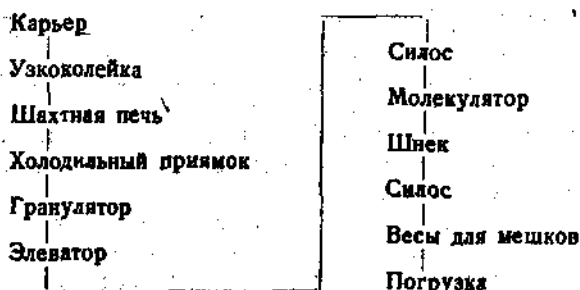
При вращающихся печах силоса должны иметь очень большую емкость, во избежание перебоев в обжиге, так как всякие остановки чрезвычайно влияют на качество выпускаемого продукта. По тем же соображениям силоса должны быть снабжены достаточным количеством штуцеров для насыпки и упаковки мешков.

Все оборудование завода приводится в движение электромоторами, а именно:

1	мотор в 12 л. с.	для воздушно-канатной дороги
1	" " 65 "	дробильного цеха
1	" " 30 "	печного
1	" " 70 "	мельничного

Потребная для привода всех прочих транспортеров, элеваторов и пр. сила соответственно учтена в мощности моторов того или иного цеха.

я) Описываемый ниже завод по выработке эштрих-гипса оборудован шахтной печью систем Мейера и рассчитан на суточный выпуск 20 т этого гипса. Схема производства следующая:



Печь данного завода расположена таким образом, что поступающий по узкоколейке из карьера гипсовый камень подается по эстакаде непосредственно в печь, причем все транспортное устройство состоит из короткого узкоколейного пути с четырьмя поворотными кругами и двух вагонеток с опрокидными кузовами.

Для выработки 20 т эштрих-гипса в сутки потребуется 24 т гипсового камня.

Шхту печи держат всегда загруженной доверху, выпуск обожженного гипса производится каждые 4 часа, в соответствии с чем за этот же промежуток времени следует загрузить около 4 т гипсового камня. Следует отметить, что чем равномернее по величине загружаемые куски материала, тем ровнее идет обжиг.

Выгруженный из печи материал предварительно охлаждается на площадке перед печью и по охлаждении подается в дробильно-мельничный цех, мощность которого такова, что вся суточная выработка печного цеха может быть переработана в одну 8-часовую смену.

Гранулятор с размером зева 410/220 мм дробит материал до величины горшка не более 5 мм, расходуя при этом 6 л. с. Из гранулятора материал элеватором подается в силос, откуда он поступает в молекулятор для окончательного перемола; потребная для его привода сила равна 8 л. с.

Из мельничного отделения гипс подается элеватором в силоса, под которыми установлены автоматические весы для насыпки мешков.

Расход угля для производства 20 т эштрих-гипса составляет около 2200 кг брикетированного бурого угля.

Все механизмы завода приводятся в действие одним лишь мотором мощностью в 25 л. с.

В тех случаях, когда размеры производства сравнительно незначительны и когда конечный продукт должен быть более высокого качества, целесообразнее устанавливать варочные котлы ввиду большей простоты производственного процесса и более легкого управления им.

Однако при более значительных размерах производства, свыше 100 т в сутки, более уместна вращающаяся печь, так как такой завод потребует и меньшей площади и меньшего количества обслуживающего персонала. Хорошо организованным и налаженным контролем можно обеспечить хорошего качества конечный продукт.

Вторичный перемол гипса после его обжига ускоряет схватывание и повышает механическую прочность его, причем добавочный расход энергии сравнительно невелик. Повторному перемолу обычно подвергаются лучшие сорта гипса.

Для обжига эштрих-гипса (гидравлического гипса) в шахтных печах не всякое сырье пригодно; путем пробного обжига необходимо установить, какие сорта сохраняют наибольшую твердость в раскаленном состоянии; при небольшой твердости гипсовый камень под давлением вышележащих слоев легко крошится, ход печи нарушается, и как следствие материал пригорает к шамотовой футеровке шахты.

Калькуляция себестоимости

Издержки производства на том или ином гипсовом заводе чрезвычайно разнообразны и зависят от сырья, оборудования, рода топлива, типа силовой установки, заработной платы, транспорта и пр.

Вейднером („Ver. G. V.“, 1911) и Шохом дается для производства штукатурного гипса следующее распределение издержек производства по отдельным статьям:

	Вейднер (в %)	Шох (в %)
1) Стоимость добычи	9,5	10
2) Стоимость дробления и размола	22,5	53
3) „ вар и	32	
4) „ упаковки и размола	10	9,5
5) Налоги, отчисления и страхование	2,5	20
6) Ремонт, запасные части и пр.	1,5	
7) Общие расходы	10	7,5
8) Проценты на капитал	3,5	
9) Амортизация	8,5	

По личному опыту автора относительные величины эти можно считать вполне отвечающими данным практики.

Фактические издержки в зависимости от способа производства и прочих условий колеблются в пределах от 70 до 160 германских марок за 10 т готовой продукции франко завод без упаковки. Эштрих-гипс обходится примерно на 10% дешевле благодаря тому, что он легче размалывается.

3) Свойства штукатурного гипса и эштрих-гипса

Способы испытания

Обе указанные разновидности гипса по своим свойствам значительно отличаются одна от другой.

а) Цвет. Штукатурный гипс имеет белый цвет; эштрих-гипс — заметный красноватый оттенок, зависящий обычно от присутствующих соединений железа.

б) Вес единицы объема. Вес 1 л штукатурного гипса в рыхло-насыпанном виде составляет 0,67—0,85 кг; в уплотненном — 1,2—2,4 кг. Объемный вес эштрих-гипса вследствие его более плотной структуры и более крупного помола равен 1,0—1,1 и, соответственно, 1,5—1,6 (способ определения см. в гл. XII).

в) Тонкость помола. Штукатурный гипс представляет собою порошок значительно большей тонкости по сравнению с эштрих-гипсом; особой тонкостью отличается формовочный гипс. Тонкость помола определяется просевом через сита (см. гл. XII). Отвешивают 100 г гипса и просеивают через сухое сито с 900 отверстиями на 1 см² размером 600 × 350 мм (ширина отверстий сита равна 0,22 мм). Просев производят до тех пор, пока на подложенном листе черной глянцевой бумаги не будет заметно прохождения порошка гипса. Затем взвешивают находящийся на сите остаток и определяют таким образом процентное содержание в гипсе более крупных зерен, а следовательно и процентное содержание прошедшего через сито тонкого порошка. Остаток на сите 900 отверстий на 1 см² обычно колеблется в следующих пределах (в процентах):

тонко-размолотый гипс	до 10
гипс средней тонкости	10—20
крупно-размолотый гипс	20—50

Австрийские нормы требуют, чтобы остаток на сите в 900 отверстий на 1 см² (с толщиной проволоки 0,1 мм) не превышал (в процентах):

строительный гипс	50
формовочный	10
скульптурный	5
эштрих-гипс	50

Через сито с 64 отверстиями на 1 см² материал должен проходить без остатка.

г) Вода для затворения. Количество воды, потребной для затворения при определении времени схватывания штукатурного гипса примерно в два раза больше, чем для эштрих-гипса. То количество гипса, которое нужно взять на 100 см³ воды, для того чтобы получить текучий гипсовый раствор, называют „затворяемым количеством“ гипса (по-немецки: Einstreumenge; точный перевод: „засыпаемое количество“).¹

Для определения этого количества берут стеклянный стакан высотой в 60 мм, с внутренним диаметром в 70 мм. Стакан перед каждым опытом должен быть совершенно сухим. Пустой стакан вывешивают на точных

¹ Необходимо отметить, что для образования при затворении гипса однородного и без комков раствора надлежит всыпать гипс в воду, а не приливать воду к гипсу, как это делается при изготовлении теста из других вяжущих веществ. Не приняв этого во внимание, читатель, незнакомый еще с этим вопросом, может при дальнейшем изложении легко впасть в недоумение. — В. Ю.

весах (удобнее всего дробью), после чего в нем отвешивают 100 г совершенно чистой воды, имеющей температуру 15—20°; при этом необходимо следить за тем, чтобы брызги воды не попали на стенки стакана, так как тогда при засыпке гипса часть его прилипнет к стенкам и результаты опыта получатся неправильные. Поэтому лучше всего заранее отмерить 100 г/см³ воды в мензурке и влить ее осторожно в приготовленный сухой стакан.

Все сосуды и приборы необходимо самым тщательным образом очистить от всяких следов гипса, оставшегося от прежних испытаний; вода должна быть чистой, не содержащей никаких солей.

Под стакан подкладывают бумаги, отмечают время начала засыпки гипса, который продолжают всыпать до тех пор, пока не прекратится погружение его в воду, т. е. до тех пор, пока не исчезнет зеркальная поверхность воды и вместо нее не покажется остающийся заметным в течение 3—5 сек. сухой тонкий слой гипса.

д) Продолжительность затворения (срок засыпки). Продолжительность затворения должна составлять 1½—2 мин.

Во время производства засыпки гипса в воду при этом испытании ни к стакану, ни к находящемуся в нем тесту прикасаться нельзя. По окончании опыта взвешивают стакан вместе с водой и гипсом, и, вычтя вес воды (равный 100 г) и вес пустого стакана, получают вес израсходованного на засыпку гипса (затворяемое количество гипса).

Тесто, которое получается при изложенных опытах, нельзя применять для других испытаний, например для определения периодов (сроков) текучести и пластичности гипса.

Соответственно меньшей влагоемкости эштрих-гипса затворяемое количество для него получается примерно в два раза большее, чем для штукатурного гипса; засыпку эштрих-гипса при испытании продолжают до тех пор, пока на поверхности вся вода не окажется впитавшейся в порошок и не образуется тонкий, примерно в 1 мм, слой сухого эштрих-гипса; затем при последующем перемешивании массы получается пластичное тесто, которое хотя и медленно, но все же само по себе должно стекать с ложки.

Оказывается, что на 100 см³ воды идет в среднем 120—150 г штукатурного гипса и соответственно 270—360 г эштрих-гипса.

(Легко видеть, что цифры, выражающие „затворяемое количество“ гипса, находятся в обратном отношении к цифрам, выражающим количество воды, необходимой для затворения. Таким образом чем больше для данного гипса получается затворяемое количество, тем меньше следовательно требуется воды для получения из гипса теста нормальной консистенции.—В. Ю.)

Из данных опытов определения затворяемого количества подсчитывается процент воды, нужный для образования растворов нормальной консистенции; для штукатурного гипса это будет 83—67%, а для эштрих-гипса в среднем около 30—33%.

Вообще можно сказать, что при возрастающей потребности в воде (т. е. при уменьшающемся затворяемом количестве) с качественной стороны данный гипс получает соответственно более низкую оценку. Если при перемешивании полученного теста обнаружится склонность к образованию комков, это дает кроме того повод к сильному подозрению, что данный гипс недостаточно обожжен.

По австрийским нормам затворяемое количество определяется следующим образом.

е) Затворяемое количество. Затворяемое количество представ-

дает собою то количество гипса, которое может быть воспринято 100 см^3 воды, образуя при этом удобное для отливки, т. е. текучее гипсовое тесто. Для строительного, формовочного и скульптурного гипса затворяемое количество не должно превосходить 190 г. Для эштрих-гипса затворяемым количеством называется то его количество, которое требуется для приготовления со 100 см^3 воды раствора, обладающего консистенцией густого теста; для эштрих-гипса оно не должно превышать 300 г.

Американские нормы при испытании гипса особо важное значение придают определению нормальной консистенции растворов, так как иначе для различных сортов гипса невозможно получить сравнимые результаты при дальнейших испытаниях.

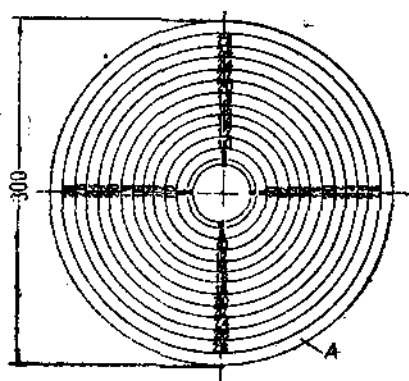
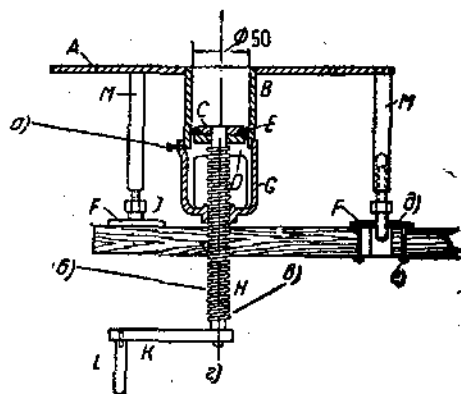


Рис. 75. Вискозиметр Сутарда.

ж) Определение консистенции вискозиметром. Для определения нормальной консистенции гипса пользуются особым аппаратом — вискозиметром Сутарда (рис. 75). Он состоит из вертикального латунного цилиндра с внутренним диаметром 2 дм; внутри цилиндра помещен поршень, передвигаемый вращением винта. Нарезка винта рассчитана так, что при 10 оборотах поршень перемещается на $2\frac{1}{2}$ дм. На верхний край цилиндра надет диск диаметром 12 дм с тщательно обработанной совершенно плоской поверхностью, на которой вытравлен ряд concentрических окружностей с диаметрами от 6 до 28 см, причем на диске все эти диаметры обозначены соответственными цифрами. Помощью установочных винтов аппарату дается такое положение, чтобы верхний диск с concentрическими окружностями был строго горизонтален. Вращением шпинделя поднимают поршень до совпадения (с одной общей плоскостью) его верхней поверхности с поверхностью диска. Затем опускают поршень на

$2\frac{1}{2}$ дм, сделав для этого 10 оборотов винта в обратную сторону.

Из подлежащего испытанию гипса готовят раствор, просеивая гипс через сито в сосуд с предварительно налитой в него в определенном количестве водой. Для опыта требуется не менее 300 г готового раствора. Когда в воду, находящуюся в сосуде, засыпано надлежащее количество гипса, ему дают в течение 2 мин. пропитаться, затем перемешивают раствор в продолжение 30 сек., после чего его вливают в цилиндр, причем все пространство над поршнем должно быть заполнено в точности до верхнего края цилиндра. Вслед за тем, повернув шпиндель 10 раз (1 об/сек), поднимают поршень вверх, в результате чего раствор, выходя из цилиндра, растекается на поверхности диска в виде круглой лепешки. Диаметр последней определяется по диаметру соответствующей окружности, обозначенному на диске.

Консистенция теста считается нормальной, если образованная гипсом на поверхности диска вискозиметра круглая лепешка получится с диаметром, равным 9,7 см. Рядом повторных опытов, меняя затворяемое количество гипса, устанавливают надлежащее соотношение между водой и гипсом; нормальной консистенция данного гипса выражается числом кубических сантиметров воды, которое приходится на 100 г гипса.

з) Срок схватывания, период текучести, период пластичности. Для определения срока схватывания затворяют испытуемый гипс, высыпая его, как указывалось выше, в 100 см³ воды. Практика показывает, что в среднем штукатурный гипс начинает схватываться через 8—10 мин., а конец схватывания наступает через 20—50 мин. Для хорошего качества штукатурного гипса срок схватывания ни в коем случае не должен превышать 1 часа. В противоположность штукатурному гипсу, схватывание эштрих-гипса продолжается иногда до 50 час.; в среднем начало его схватывания составляет 4—5 час., а конец 15—20 час.

В практике испытание гипса в отношении сроков схватывания, в особенности для штукатурного гипса, разделяют на две особые операции: на определение периода текучести и периода пластичности.

Под периодом текучести гипса надо понимать промежуток времени от начала засыпки при затворении гипса до момента, когда раствор гипса теряет свою подвижность.

Для определения периода текучести готовится нормальная консистенция гипсовый раствор; в качестве сосуда для затворения берут резиновое полушарие диаметром 12 см, накрываемое сверху квадратной цинковой пластинкой (20 × 20 см), с круглым вырезом, имеющим диаметр 10 см (рис. 76). Замечают момент начала засыпки гипса, взятого в точно отвешен-

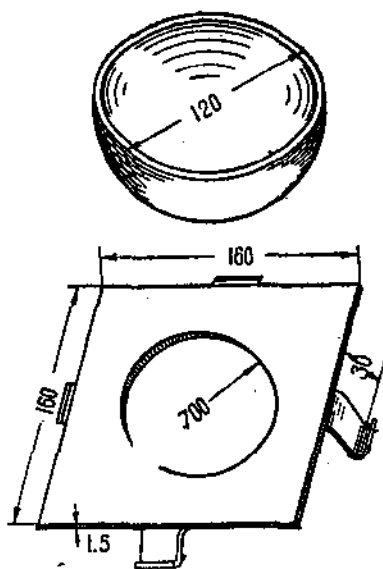


Рис. 76.

ном количестве и равномерно высыпает гипс с ложки в резиновое полушарие; случайно попавший при этом на цинковую пластинку гипс осторожно ссыпают в сосуд. Снявши цинковую дощечку, энергично разминают и перемешивают тесто ложкой так, чтобы в случае наличия в тесте комьев они полностью разошлись. Тесто выливают затем на стеклянную пластинку (15 × 15), которую слегка встряхивают и тем дают раствору разлиться на стекле и образовать лепешку толщиной 5—7 мм, диаметром около 10—12 см. После этого перочинным ножом (толщина тупой стороны лезвия—2 мм) через промежутки времени в 1/2 минуты делают на лепешке разрезы. Нож после каждого разреза тщательно очищается; это необходимо делать как при этом испытании, так и при следующем за ним определении периода пластичности.

В тот момент, когда края разреза перестают сами по себе сливаться, период текучести гипса заканчивается.

Конец периода текучести практически можно определить еще по одному довольно отчетливому признаку: выливаемый из сосуда гипс перестает течь равномерной и непрерывной струей.

Под периодом пластичности понимается промежуток времени от начала засыпки при затворении гипса до того момента, когда гипс теряет свою пластичность, выражающуюся в потере способности давать гладкую поверхность при затирке.

Для определения периода пластичности можно использовать гипсовую лепешку, служившую для определения времени текучести. Подметив путем надавливания пальцем, что период пластичности подходит к концу, через промежутки времени в 1 мин. начинают отрезать от лепешки стружки толщиной 2 мм. Если при довольно быстро производимом лезвием ножа разрезе стружка получается зернистой и ломкой, этот момент является концом периода пластичности.

Нормально период текучести составляет примерно 5—8 мин., а период пластичности 15—20 мин.

Сроки схватывания эштрих-гипса проще всего определять при помощи иглы Вика; можно, так же как и для штукатурного гипса, прибегать к разрезу гипсовой лепешки ножом.

Австрийские нормы так определяют периоды, о которых идет речь. Период текучести—это промежуток времени от начала засыпки при затворении до момента потери гипсом способности выливаться. Сорта гипса, время текучести которых меньше 4 мин., называются быстро схватывающимися, все остальные—медленно схватывающимися.

Период пластичности—это промежуток времени от начала засыпки при затворении до момента потери гипсом способности давать гладкую поверхность при затирке. Медленно схватывающиеся сорта гипса обладают обычно периодом пластичности более 8 мин.

и) Теплота, выделяемая при схватывании. Раствор штукатурного гипса после затворения нагревается, выделяя при схватывании теплоту, о чем уже упоминалось выше. Возрастание температуры, измеряемой двумя введенными в тесто максимальными термометрами, происходит в виде двух довольно резко выраженных ступеней; первое повышение, в большинстве случаев наступающее через 2—3 мин., обычно составляет 4—5° и зависит от превращения растворимого ангидрита, если таковой имеется; второе повышение начинается через 5—7 мин., заканчивается через 15—20 мин. и характеризует переход полугидрата в двуводный гипс; обычно температура возрастает до 20°. Считаясь с той быстротой, с которой протекают эти процессы, особенно первый из них, термометр помещают в воду еще до начала засыпки при затворении гипса и наблюдают за его показаниями уже во все время засыпки. Кроме того в продолжение всего опыта необходимо следить за тем, чтобы температура внешней среды была одинаковой с температурой схватывающегося гипса; лучше всего воспользоваться для этой цели электрическим шкафом, обладающим быстрой и точной регулировкой.

Эштрих-гипс сколько-нибудь значительного повышения температуры во время схватывания не дает, так как выделение тепла растягивается на слишком продолжительный срок.

к) Рост объема при схватывании. Во время схватывания штукатурного гипса (в отличие от эштрих-гипса) происходит небольшое увеличение объема теста, могущее доходить почти до 1% и заканчивающееся одновременно со схватыванием. В соответствии с областью применения штукатурного гипса такое расширение имеет положительное значение, так как благодаря ему заполняются например все углубления форм для отливок и т. п. без вреда для самих форм.

д) Непостоянство объема. Все плохо изготовленные вяжущие материалы легко обнаруживают непостоянство объема, выражающееся в разрыхлении, расслаивании и растрескивании сделанных из них изделий (и массивов), что ведет иногда к совершенному их разрушению. Непостоянство объема гипса обычно устанавливают испытанием полученных при помощи формы Прюссинга прессованных лепешек диаметром 80 мм и высотой 25 мм, для изготовления которых надо брать возможно минимальное количество воды. Надлежащее количество воды характеризуется тем, что при прессовании лепешек наблюдается выделение еще некоторого небольшого количества воды. Вынутые из формы лепешки в течение 24 час. сохраняют во влажном воздухе.

По истечении этого времени начинается испытание на постоянство объема. Сначала одну из лепешек подвергают действию теплого влажного воздуха, температура которого поддерживается непрерывно в пределах 60—70°. Лучше всего применять для этой цели паровую баню (рис. 77), где лепешка лежит над резервуаром с водой, все время нагретой до температуры примерно 75°. Это испытание применяется исключительно для штукатурного гипса. Вторую лепешку кладут в стеклянную ванну, наполненную на 4—5 мм насыщенной гипсом водой, имеющей комнатную температуру; время от времени, необходимо добавлять воду взамен испарившейся. Это испытание может быть усилено подогревом ванны с образцами до температуры 30—40°.

Если испытуемый материал недоброкачественен, то уже по прошествии нескольких часов, а максимум через одну неделю, склонность к непостоянству объема начинает обнаруживаться.

С другой стороны, надо отметить, что непостоянство объема может быть вызвано вследствие неправильной переработки гипса, например в том случае, когда к эштрих-гипсу прибавлено значительное количество портланд-цемента, чтобы сделать его более удобообрабатываемым и ускорить срок его схватывания. Подобно тому как для регулирования срока схватывания портланд-цемента допустима добавка гипса в количестве не более 3%, добавка портланд-цемента к гипсу также не должна превышать некоторого максимального количества.

м) Усадка. Вредной усадки у гипса нормальных качеств не наблюдается. Для строительных работ это свойство гипса имеет исключительно важное значение. В случае применения эштрих-гипса даже для покрытия значительных поверхностей получают покрытия без трещин.

н) Прочность. Чтобы иметь суждение о прочности, которой можно ожидать от данного образца штукатурного гипса, надо применить следующую простую пробу. На нижней гладкой поверхности лепешки, снятой со стеклянной пластинки вскоре после окончания схватывания гипса, проводят ножом прямую черту подобно тому, как это делают при резке стекла алмазом. Затем лепешку ломают по этому месту, если излом получается совершенно ровный и точно совпадает с чертой, надо ожидать хорошей прочности. Лепешки, спрессованные по Прюссингу, для такой пробы неприменимы; лучше всего делать для этого испытания более плоские лепешки (толщиною примерно 1½ см), не давая им излишне растекаться по краю.

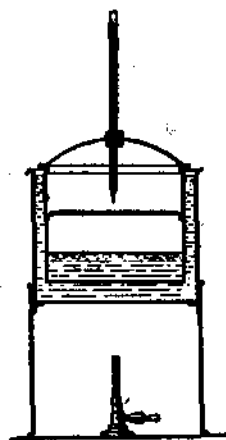


Рис. 77.

Получаемую гипсом в результате его твердения прочность определяют по сопротивлению растяжению, сжатию и изгибу.

Для определения временного сопротивления растяжению отливают 12 образцов (восьмерки с поперечным сечением 5 см, рис. 78), из которых 6 шт. испытывают на приборе Михаэлиса (см. гл. XII) через 1 день и 6—через 28 дней.

Для изготовления образцов поступают так, как описано выше. Приготавливают раствор гипса нормальной консистенции в количестве нужном для шести образцов сразу; для этой цели берут 400 см³ воды при температуре 15—20° и соответственно необходимое количество гипса. Например, если

затворяемое количество было определено равным 160 г, надо взять $4 \cdot 160 = 640$ г гипса. Быстро все время перемешивая тесто, разливают его в формы, предварительно слегка смазанные белым вазелином или протертые тряпкой, смоченной маслом, так, чтобы раствор выступал из форм примерно на 5 мм.

При быстро схватывающемся гипсе, имеющем период текучести в 2—3 мин., можно изготавливать в один прием лишь по 3 восьмерки, беря для этого по 200 см³ воды.

По окончании периода пластичности выступающая из формы часть раствора осторожно срезы-

вается; для этой цели служит специальный нож (рис. 79), который кладут на форму плоской стороной и, двигая им наподобие пилы, срезают излишнее количество материала; тем же ножом, не нажимая, наружная поверхность образцов хорошо выравнивается. После схватывания гипса (спустя примерно полчаса) образцы снабжаются надлежащими отметками, вынимаются из формы, взвешиваются, переносятся в сухое закрытое помещение с температурой 15—20°, где укладываются на трехгранные рейки, и сохраняются до дня испытания. Хранить образцы очень удобно на изображенной на рис. 80 подставке. Надо только внимательно следить за

тем, чтобы подставка от стен помещения находилась на расстоянии не менее 20—30 см, чтобы образцы со всех сторон имели доступ воздуха и могли равномерно высыхать. Образцы укладывают на трехгранные рейки с промежутками 3—4 см друг от друга.

Для определения сопротивления сжатию приготавливают 12 кубиков с ребрами длиной 7,07 мм. Если испытывается штукатурный гипс, формы наливается нормальным раствором. Кубики из эштрих-гипса делают, заполняя формы с излишком помощью ложки; довольно густая масса теста ложкой хорошо уплотняется, причем могущие оказаться пузыри удаляют, во время уплотнения протыкая тесто тонкой стеклянной палочкой. Незадолго до окончания схватывания гипса излишки массы, выступающие над краем формы, удаляют ножом и, осторожно заглаживая, удаляют последние остатки так же, как это делается при изготовлении восьмерок. Кубики вынимаются

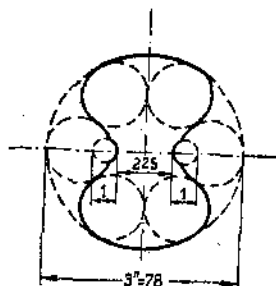


Рис. 78.

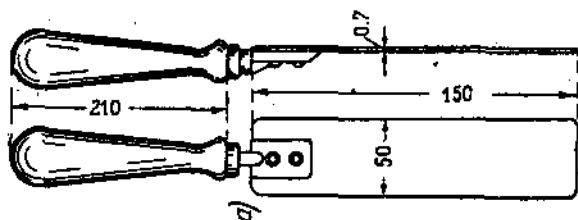


Рис. 79.

из форм лишь по окончании схватывания, хранятся во влажном воздухе, а затем в насыщенной гипсом воде; соответственно через 1 день и через 28 дней они испытываются под прессом на сжатие.

Для определения сопротивления изгибу делают 12 призматических образцов; длина ребра такой призмы—16 см, поперечное сечение 4×4 см; образцы изготавливаются в точности так же, как восьмерки для испытания на разрыв. Из числа этих призм 6 испытываются через 1 день и 6 через 28 дней. Форма для приготовления образцов разъемная и состоит из шести частей, соединяемых вместе одним единственным винтом; все эти части предварительно смазываются маслом или вазелином.

На каждые 6 подлежащих изготовлению образцов берут 11-кратное затворяемое количество гипса на 1100 см³ воды, имеющей температуру 15—20°. Так например, если затворяемое количество определено в 150 г, то на 1100 см³ воды необходимо взять $11 \times 150 = 1650$ г гипса. В остальном все приемы для отливки этих образцов в точности те же, что при изготовлении восьмерок; только для отделки и сглаживания образцов применяется нож нескольких больших размеров, а именно: 340×50 мм. Образцы, предназначенные для испытания на изгиб, также сохраняются на трехгранных рейках; испытание их производится на аппарате Михаэлиса соответственно измененной конструкции.

При испытании на изгиб призмы следует располагать так, чтобы разглаженная грань призмы находилась в обойме аппарата сверху; вес чашки вместе с насыпной дробью, помноженный на 11,7, дает в результате сопротивление изгибу на 1 см². Окончательной считается цифра, являющаяся средней из шести испытаний.

Другой способ определения сопротивления изгибу, более простой и удобный, предложен был в 1911 г. Пассовым на годичном гипсовом съезде. Аппарат его конструкции (рис. 81) состоит из очень простой деревянной стойки, двух закругленных наверху поперечин *ff* и стрелки *i*, точно указывающей середину расстояния между ними. Оглитая в железной форме гипсовая балочка кладется на поперечины так, чтобы выступающие с обеих сторон концы имели совершенно одинаковую длину. После этого на балочку при помощи деревянной рамки *k* подвешивают ведро для дробин и, на-

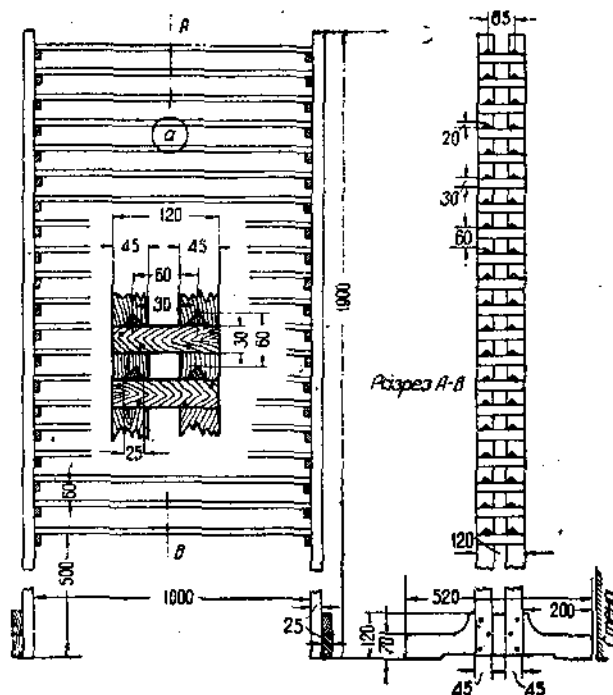


Рис. 80.

стоянии должен обладать следующим минимальным сопротивлением сжатию:

через 7 дней 30 кг/см²
 „ 28 дней 60 „

Эштрих-гипс, хранившийся во влажном пространстве, должен иметь минимально следующую прочность на разрыв:

через 1 день 10 кг/см²
 „ 7 дней 25 „

Эштрих-гипс, хранившийся во влажном пространстве, должен иметь минимально следующее сопротивление сжатию:

через 7 дней 100 кг/см²
 „ 28 дней 150 „

На гипсовом съезде в Штутгарте в 1914 г. Мундт сделал доклад о своих чрезвычайно обстоятельных испытаниях, произведенных им над большим количеством (около 100) сортов германских гипсов; испытания эти имели целью определить затворяемое количество, период текучести, период пластичности, тонкость помола и прочность на растяжение через 1, 7, 28 и 84 дня. В нижеприводимой таблице указаны верхние и нижние пределы, а также средние цифры, полученные Мундтом в результате всех произведенных им испытаний.

Для определения тонкости помола применены были сита в 900 и 5000 отверстий на 1 см², т. е. с отверстиями шириною 0,223 и соответственно 0,086 мм.

Таблица 17а

№ испытания	Затворяемое количество в г	Время текучести в мин.	Время пластичности в минутах	Остаток на сите в 900 и 5000 отверстий	Временное сопротивление растяжению			
					1 день	7 дней	28 дней	84 дня
—	160.	2	7 ³ / ₄	17 33	10,5	21,5	22,0	22,5
76	210	2	7	8 28	12,8	25,8	27,0	27,3
66	155	8	22	19 36	12,2	24,7	22,1	22,1
6	202	1 ¹ / ₂	7	48 58	7,5	21,3	20,9	20,1
50	177	1 ¹ / ₂	7	46 60	10,8	28,5	26,4	24,8
89	165	4	8	3 24	14,7	25,9	25,3	25,4
69	207	2	7	9 36	12,3	29,5	27,4	27,6
82	195	2	8	15 32	13,0	29,3	31,7	28,5
70	145	2 ¹ / ₂	8	10 34	12,5	23,2	27,0	30,4

(Средние числовые значения указаны в самом верхнем ряду.)

Значительно выше прочность эштрих-гипса: через 28 дней хранения в гипсовой воде он дает сопротивление сжатию, равное в среднем приблизительно 180 кг/см², и при хранении во влажном воздухе — около 160 кг/см²; у самых лучших сортов эштрих-гипса сопротивление сжатию может доходить даже до 300 кг/см² и выше.

При применении эштрих-гипса необходимо, чтобы под ним имелся слой влажного песка или слой смоченных угольных шлаков и чтобы он после был хорошо защищен от высыхания; на следующий день его необходимо

энергично уплотнить колотушкой так, чтобы он был утрамбован примерно до $\frac{3}{4}$ своего первоначального объема. Только после этого его поверхность выравнивают гладилкой.

Изготовленный таким образом гипсовый пол, особенно если его после высыхания покрывают линолеумом, обладает превосходными качествами, он не дает трещин и хорошо заглушает шум.

о) Пористость, объемный вес. Для определения пористости и объемного веса гипса после его схватывания и затвердения поступают следующим образом. Взвешивают воздушно-сухой образец и погружают его в пропитывающую жидкость, где он остается в продолжение 24 час.; этот срок можно сократить до 6 час., ускоряя пропитку при помощи воздушного насоса. Затем образец, насыщенный жидкостью, после быстрой поверхностной просушки снова взвешивают. Разница между тем и другим весом дает вес впитанной образцом жидкости; деля же вес жидкости на ее удельный вес, получаем полный объем пор, выраженный в $см^3$.

Вес единицы объема определяется с помощью волюменометра той или иной системы (см. описание этих аппаратов в гл. XII).

п) Гидратная вода. Гидратная вода, гидраты и ангидрит (по Леперэну).

Испытуемая проба гипса высушивается при 70° до постоянного веса. Навеску сухого материала помещают на несколько дней над водой, во влажном воздухе, до тех пор, пока не будет установлено прекращение дальнейшего сколько-нибудь значительного увеличения веса, после чего материал вновь высушивают. Зная прирост a веса в результате выдержки сухого гипса над водой, можно вычислить количество безводного гипса, превратившегося в полугидрат; это количество равно:

$$x = \frac{136 \cdot a}{9},$$

округляя—15 a . После этого гипс пропитывают водой и после схватывания высушивают при 70° до постоянного веса. Вновь получившийся прирост веса b дает количество z полугидрата, часть которого уже раньше образовалась из безводного гипса: $z = \frac{145 \cdot b}{27} = 5,37 \cdot b$. Таким образом первоначально имевшееся количество полугидрата равно:

$$y = \frac{145 \cdot b}{27} - \frac{145 \cdot a}{9} = 5,37 (b - 3a).$$

Для определения количества сырого гипса находят содержание гидратной воды в пробе в ее первоначальном виде; делается это путем нагревания в двойном тигле; такой способ исключает возможность какого бы то ни было вредного для результатов опыта перегрева. Найденному ранее количеству полугидрата соответствует вполне определенное содержание воды, которое можно подсчитать по уравнению реакции. Если опыт показал более высокое содержание воды, то избыток n должен быть отнесен за счет сырого гипса; его количество p равно тогда:

$$p = \frac{172 \cdot n}{36} = 4,78 \cdot n.$$

р) Прочие исследования. Из числа других исследований надо упомянуть еще об определении содержания углекислой извести и сернистого кальция, которые производятся обычными методами, описанными подробно в общей части, посвященной способам химического анализа.

Глава V

ВОЗДУШНАЯ ИЗВЕСТЬ

1. Исторические данные

Производство воздушной извести и ее применение для строительных растворов принадлежат к древнейшим отраслям в истории техники. Древние египтяне применяли для растворов смесь гипса с известью; вопрос о том, составлялась ли ими смесь этих материалов, взятых порознь, намеренно или же это происходило случайно, в результате обжига (например в Верхнем Египте) известняков, содержавших гипс, остается невыясненным и не имеющим к тому же существенного значения. Во всяком случае уже при сооружении пирамиды Хефрена (за 2800 лет до н. э.) применялся раствор из чистой извести, причем в качестве отошающей добавки служил измельченный содержащий гипс известняк. Известковый раствор применялся также во времена Навуходоносора (за 600 лет до н. э.) в Вавилоне. В Китае мы видим то же самое; там великая каменная стена, сооружение которой относится к III в. до н. э., была построена на извести без добавки песка; по свидетельству Клее, это практикуется в Китае еще и сейчас. У Катона (184 г. до н. э.) имеется описание известково-обжигательной печи; вообще у древних римлян техника строительных растворов была высоко развита; например им было известно, что вследствие добавки к известковому раствору толченого кирпича или трасса получают водоустойчивые растворы.

2. Производство воздушной извести

а) Теория обжига

Известь всех видов получается при прокаливании известняков, именуемом в технике обжигом извести. Процесс этот выражается следующим химическим уравнением:



Это означает, что в результате обжига известняка CaCO_3 разлагается, причем из 100 весовых частей углекислой извести выделяется 44 ч. углекислого газа, а 56 весовых частей остаются в виде твердой окиси кальция или едкой извести. Разложение углекислой извести находится в зависимости от давления и температуры, т. е. каждому давлению соответствует определенная температура, выше которой происходит разложение углекислой извести, или, другими словами, начиная с определенной температуры, каждому ее значению соответствует определенное давление, ниже которого

имеет место разложение CaCO_3 на CaO и CO_2 . Этот процесс может протекать и в обратном направлении в зависимости от величины давления и температуры, причем из CaO и CO_2 снова образуется CaCO_3 .

Значит, при известных температурах и давлениях должно иметь место равновесие, как это и было впервые установлено Лешателье, а затем Розенфельдом:

температура	700°	750°	800°	850°	900°	С
давление	50	99	195	370	700	мм рт. ст.

По определению Томсена количество тепла, необходимое для разложения углекислой извести, составляет 42,52 кал на моль (100 г CaCO_3), что и выражается следующим термохимическим уравнением:



Для того чтобы 1 кг CaCO_3 разложить на CaO и CO_2 , надо следовательно затратить 452,2 кал. Для этой цели казалось бы необходимо иметь в известковой печи температуру в среднем около 900° С. При такой температуре давление углекислоты в известняке настолько велико, что оно превышает давление газовой смеси, которая имеется в печи над находящимся в процессе разложения известняком; благодаря этому углекислота получает возможность выделиться из известкового камня. На практике однако для удовлетворительного хода обжига в печи необходимо держать температуры, значительно превышающие 900°; это объясняется тем, что хотя при 900° известняк и будет разлагаться, но выделение углекислоты происходит слишком медленно и лишь при значительно более высокой температуре этот процесс протекает более ускоренным и приемлемым для практического производства темпом. Герцфельд на основании ряда опытов установил, что каждые 100° сверх 900° ускоряют процесс разложения в 30 раз. Необходимо отметить, что различные известняки требуют для своего обжига различных температур, высота которых колеблется для разных сортов камня между 1000 и 1400°. Твердые известняки с кристаллической структурой требуют более высоких температур, а мягкие и пористые — более низких. Весьма важное значение имеет также величина кусков известняка: внутри мелких кусков тепло проникает значительно быстрее, чем внутри крупных. Согласно опытам Герцфельда, вполне оправдавшимся на практике, на скорость разложения известкового камня большое влияние оказывает также водяной пар, который всегда получается при обжиге известняка, содержащего естественную влажность.

До сих пор не вполне выяснено еще, чем это явление может быть объяснено: вполне возможно, что водяной пар оказывает каталитическое действие.

Химическая сторона процесса разложения углекислого кальция, выражаемая уравнением $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$, вообще говоря, не может дать нам представления о ходе изменений во внутренней структуре известняка при его обжиге. В этом отношении нам может помочь только физическая химия¹.

В качестве исходного вещества для наших рассуждений возьмем кристаллический углекислый кальций, т. е. известковый шпат, так как в су-

¹ Kohlschütter, Über die Vorgänge beim Abbinden u. Ablöschen des Kalkes Vortrag im „VDK“, 1925.

шественной части известняк и состоит из совокупности множества более или менее крупных, расположенных в самых разнообразных направлениях кристалликов известкового шпата.

Каждый отдельный кристалл кальцита построен из совершенно правильно распределенных в пространстве атомов Са и атомных групп CO_3 ; как те, так и другие, располагаясь в определенных плоскостях, вследствие параллельного их напластования образуют кристаллического строения вещество. При обжиге такого вида „пространственная решетка“ разрушается. Если бы мы достаточно длительное время выдержали материал при температурах обжига, то из полученных молекул СаО образовались бы новые пространственные решетки, именно относящиеся к правильной системе, т. е. кубические кристаллы. При относительно небольшой продолжительности обжига известняка кристаллы получают ультрамикроскопических размеров, образуя некоторую так называемую дисперсную систему. Таким образом молекулы полученной окиси кальция, имеющей свойства твердого тела, хотя и равномерно, но без системы распределены в пространстве, которое было занято исходными кристалликами известкового шпата.

Урбах¹ составил следующий расчет минимального расхода углерода, необходимого для обжига известняка, содержащего 100% CaCO_3 , при применении в качестве топлива чистого углерода С.

Минимальный расход углерода на обжиг—100 кг чистой углекислой извести.

Начало выделения CO_2 —900°, конец—1030° (по данным Герцфельда).

Средняя температура обжига 965°.

Удельная теплота CaCO_3 между 10 и 965°—0,24.

Удельная теплота СаО между 965 и 1030°—0,25.

Теплота разложения CaCO_3 (по Томсену)—42520 кал.

Теплота разложения CaCO_3 (по Ричардсону)—45 100 кал.

	По Томсену	По Ричардсону
Нагревание CaCO_3 : $100 \cdot 0,24 \cdot 965 =$	23 160 кал	23 160 кал
Разложение CaCO_3 :	42 520 "	45 100 "
Нагревание СаО: $100 \cdot 0,25 \cdot 65 =$	1625 "	1625 "

Минимальный расход тепла 67 305 кал 69 885 кал

Максимальная теплопроизводительность 1 кг С: 7833 кал.

Минимальный расход углерода будет: $\frac{67305}{7833} = 8,6$ кг, или соответственно

$\frac{69885}{7833} = 8,9$ кг, т. е., округляя, 9 кг.

Если бы существовала возможность совершенного использования тепла, необходимого для разложения углекислой извести, иначе говоря, если бы продукты горения целиком отдавали известняку всю заключающуюся в них теплоту, то для обжига 100 кг углекислой извести потребовалось бы только $\frac{42520}{7833} = 5,43$ кг углерода.

Блок² определяет минимальный расход углерода для обжига извести, исходя из предположения об идеальной печи, в которой отсутствуют какие

¹ Urbach, Die Wärmewirtschaft der Kalkindustrie. Vortrag im „VDK“, 1922.

² B. Block, Das Kalkbrennen im Schachtöfen mit Mischfeuerung, Berlin 1917.

бы то ни было потери тепла вследствие охлаждения и совершенно отсутствует затрата тепла для нагрева избыточного воздуха. В результате своих вычислений он получает расход углерода в 7,8 кг на 100 кг чистой углекислой извести.

Но так как на практике обжиг никогда не производится на чистом углероде и нет также таких известково-обжигательных печей, которые работали бы без тепловых потерь, то ясно, что в действительности вышеуказанные цифры должны быть выше. Тем не менее весьма важно эти цифры знать, так как в каждом хорошо руководимом производстве должно существовать стремление по возможности к ним приблизиться. Закончив теоретическое рассмотрение, перейдем к обжигу извести в практическом производстве.

6) Техника производства воздушной извести

Обжигательные печи

Для обжига известняка в настоящее время главным образом применяются печи двух систем: кольцевая и шахтная, причем в зависимости от типа применяемых топок и рода топлива различают целый ряд самых разнообразных конструктивных оформлений.

а) Шахтная печь. Свое развитие современная шахтная печь получила от напольной печи, кое-где встречающейся еще и сейчас, несмотря на ее значительно больший расход топлива в сравнении с шахтными печами. Напольная печь состоит из каменной шахты, имеющей форму кратера, выложенного внутри шамотным кирпичом, открытого сверху и снабженного в нижней суженной части решеткой. Первоначально печи эта в простейшей своей форме сооружалась в земле у склона горы, причем лишь одна передняя стена ее выкладывалась из кирпича. Впоследствии стали строить печи целиком из кладки, иногда снабжая их трубами. Первое время процесс обжига носил периодический характер и лишь позднее, по мере усовершенствования печей, возможным стал непрерывный процесс обжига. Засыпка угля и известняка производилась поочередно отдельными слоями. Напольная печь усовершенствованного типа кроет в себе уже все зачатки шахтной печи, отличаясь от последней только своими размерами и в первую очередь своей очень небольшой высотой — около 3—6 м и сравнительно большим верхним диаметром $2\frac{1}{2}$ —6 м. У напольной печи поэтому отсутствуют и зона подогрева и зона охлаждения, что находит свое выражение в высоком расходе топлива, составляющем около 40% хорошего каменного угля. По сравнению с напольными шахтные печи имеют более плавную форму шахты. Высота их значительно больше, не менее 8 м, не считая трубы. Шахтные печи подразделяются на печи, работающие по пересыпному способу, при котором засыпка известняка и угля производится поочередными слоями, и печи с выносными топками; последние в свою очередь подразделяются на шахтные печи с полугазовой топкой и печи, работающие на генераторном газе, на пылевидном и жидком топливе.

б) Шахтная печь по пересыпному способу. Первые печи по пересыпному способу, так называемые бельгийские, имели цилиндрическую форму шахты, от которой пришлось однако отказаться, так как в случае припекания извести к футеровке материал легко зависает в печи. В шахтной печи современной конструкции (рис. 82) шахта состоит из двух сложенных своими основаниями усеченных конусов. Верхний конус имеет более плавную форму, а нижний крутой с небольшой высотой. Печь таким обра-

дом похожа на доменную печь. Блок в противоположность сказанному рекомендует нижнюю конусообразную часть заменить цилиндрической. Вся высота печи от колошника до нижнего выхода колеблется в пределах от 8 до 18 м при внутреннем диаметре в наиболее широкой части 2—3,5 м. Впрочем следует рекомендовать с объемом печи не выходить за пределы 75 м³, так как целесообразнее сооружать вместо мощных печей несколько большее количество менее мощных, особенно в тех случаях, когда условия сбыта обожженной извести подвержены значительным конъюнктурным колебаниям. Шахтная печь состоит из кирпичного или каменного кожуха, выкладываемого внутри шамотным кирпичом; между кожухом и футеровкой остаются воздушные прослойки, заполняемые в целях изоляции золой, шлаком и тому подобными материалами. Печь снаружи снабжается толстыми железными обручами на расстоянии 0,5—1 м один до другого, набиваемыми или стягиваемыми болтами. За последнее время печи стали снабжать цельным железным кожухом. В качестве футеровки следует применять высокоосновной шамотный кирпич лучшего качества. Кладка производится на шамотном растворе, расходовать который следует по возможности меньше. Кирпичи кладутся впритирку, чтобы получить возможно более тонкие швы; по тем же соображениям целесообразнее применять кирпич большего по сравнению с нормальным размера—в целях уменьшения количества швов. В Германии для футеровки известково-обжигательных печей помимо шамотного кирпича с успехом применяется естественный кварцевый сланец, разрабатываемый в Круммендорфе, несмотря на его ярко выраженный кислый характер. Этот сланец отличается большой плотностью и высокой температурой размягчения, благодаря чему он мало реагирует с известью.

В кожухе печи на расстоянии 1,5—2 м одно от другого устроены плотно закрываемые смотровые отверстия, используемые также и для шуровки в случае зависания материала в печи. Старая шахтная печь бельгийского типа сооружалась на чугунных колоннах и совершенно открытой снизу, благодаря чему известь внизу образовывала угол естественного откоса; по мере выгреба извести снизу содержимое печи соответственно спускалось. Так как ядро конуса, образуемого естественным откосом, неподвижно и легко затягивается золой и известковой пылью, то прекращение доступа необходимого для горения воздуха неизбежно. В целях предотвращения этого явления стали применять решетки самой разнообразной конструкции. Больше всего оправдала себя двусторонняя двухэтажная решетка. В дальнейшем печи целиком стали сооружать из камня и кирпича, начиная с уровня земли; в нижней части их устраивали соответственно числу выпускаемых отверстий каменную призму или конус, которые несколько входили в зону охлаждения печи и служили для спуска материала. Выпускные отверстия числом в два, и иногда в четыре устраивались в нишах кладки, и во время работы печи, когда выгрузка не производилась,

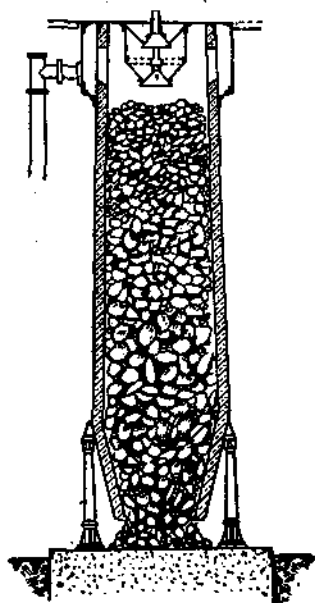


Рис. 82. Известково-обжигательная шахтная печь.

плотно были закрыты дверцами из толстого листового железа. Для засоса необходимого для горения воздуха в дверцах предусматривались задвижки.

При пуске в ход всякой новой шахтной печи необходимо соблюсти ряд предосторожностей. Печь следует прежде всего основательно просушить; после этого под выпускным отверстием разводят и поддерживают в течение нескольких (4—6) суток слабый огонь, причем все отверстия печи должны оставаться все это время открытыми. После этого под печью стоймя по кругу устанавливаются поленья дров так, чтобы между ними сохранялся необходимый для притока воздуха прозор; чтобы поленья не заваливались, их обвязывают проволокой. Поверх поленьев набрасывают древесную стружку, затем мелко колотые дрова, и таким образом заполняют всю зону остывания печи. После этого дрова засыпают коксом в количестве от 250 до 300 кг в зависимости от размеров печи, затем накладывают 400 кг известкового камня и 65 кг кокса, на последние—еще 400 кг известково о камня и 55 кг кокса и т. д. до тех пор, пока количество кокса не снизится до 35 кг, и печь чередующимися слоями в 400

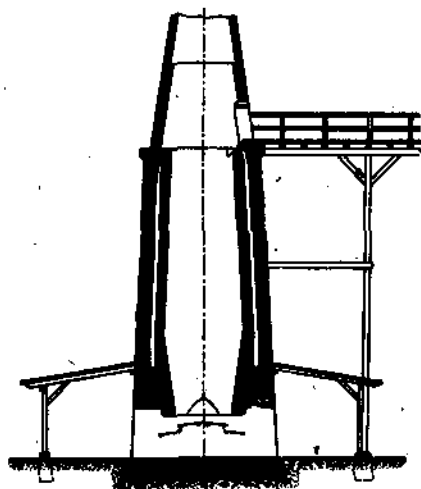


Рис. 83. Известково-обжигательная шахтная печь.

и 35 кг известняка и кокса не будет доверху заполнена (необходимое для обжига того или иного известняка количество кокса следует устанавливать опытным путем). Когда загрузка окончена, шуровочные отверстия закрываются и дрова зажигаются. При усадке и спуске материала колошник догружается свежим. По истечении примерно 36 час. приступают к первой выгрузке готового продукта и производят вслед за этим новую засыпку известняка и кокса. Величина кусков загружаемого камня должна быть по возможности однородной и не превышать размера человеческой головы; кокс должен быть доменный, лучшего качества, с размерами кусков величиной примерно с куриное яйцо. Ни в коем случае не следует применять каменного брикетированного или бурого угля, так как из-за

выделения уже в зоне подогрева летучих они покидают печь, совершенно не будучи использованными. При загрузке особое внимание должно быть обращено на то, чтобы крупные куски известкового камня направлялись в центр печи, а мелочь, образующаяся при погрузке и выгрузке вагонеток,—к стенкам. Кокс разравнивается по всему сечению печи. Зона горения в печи не должна перемещаться вверх, чтобы сохранить достаточную зону подогрева. В целях установления более равномерного процесса обжига необходимо, как правило, производить выгрузку готовой извести через каждые два часа или 12 раз в сутки.

Так как шахтные печи работают большей частью с тем или иным значительным избытком воздуха, то при составлении теплового баланса необходимо учесть это тепло, бесполезно расходуемое на нагревание избыточного сверх потребного для горения воздуха. Далее, подлежат еще учету и другие потери, как например потеря тепла, уносимого отходящими газами, и т. п. Приведем составленный Урбахом тепловой расчет теоретически не-

Обходимого для работы шахтной печи количества горючего. Урбак исходит при этом из того предположения, что из 17 860 кг чистой углекислой извести (сухого мрамора), при температуре 1200° С, при угле с теплотворной способностью 6500 кал и 10% золы должно быть получено 10 000 кг извести. Далее принято, что газы уходят из печи с температурой в 300° С, что температура наружного воздуха равна 10° С, а количество тепла, необходимого для разложения 1 кг CaCO_3 , согласно Томсену составляет 425,2 кал и что наконец 1 кг угля с 10 кг воздуха дает 10,9 кг горючих газов. Обжиг производится с 4-кратным количеством воздуха. Обозначив искомый расход угля через x , получим:

Расход тепла в шахтной печи:

- I. Нагрев 17 860 кг CaCO_3 с 10 до 1050° С: $17\,860 \cdot 0,25 \cdot 1040 = 4\,643\,600$ кал.
 - II. Разложение CaCO_3 : $17\,860 \cdot 425,2 = 7\,594\,072$ "
 - III. Нагрев 10 000 кг CaO с 1050 до 1200° С: $10\,000 \cdot 0,255 \times 150 = 382\,500$ "
 - IV. Нагрев 7860 кг CO_2 с 1050 до 1200° С: $7860 \cdot 0,301 \times 150 = 354\,879$ "
 - V. Нагрев потребного для горения воздуха с 10 до 1200° С: $x \cdot 40 \cdot 0,26 \cdot 1190 = 12\,376 x$
- Общий расход тепла: $12\,376 x + 12\,975\,051$ кал.

Приход тепла:

- I. От сжигаемого угля: $x \cdot 6500 = 6500 x$.
 - II. От золы, охлаждаемой с 1200 до 10° С: $x \cdot 0,1 \cdot 0,23 (1200 - 10) = 27 x$.
 - III. От охлаждаемых отходящих газов с 1200 до 300° С:
 1. 7860 кг углекислоты: $7860 \cdot 0,273 (1200 - 300) = 1\,938\,276$ кал
 2. воздуха для горения:
 - а) избыточный воздух: $x \cdot 30 \cdot 0,265 (1200 - 300) = 7155 x$;
 - б) продукты горения: $x \cdot 10,9 \cdot 0,270 (1200 - 300) = 2648,7 x$.
 - IV. Тепло в извести: $10\,000 \cdot 0,23 (1200 - 10) = 2737\,000$ кал.
- Общий приход тепла: $16\,330,7 x + 4675\,276$ кал.

Расход должен быть равен приходу: количество угля, необходимое для обжига 1000 кг извести, определяется таким образом из следующего уравнения:

$$\begin{aligned}
 12\,376 x + 12\,975\,051 &= 16\,330,7 x + 4\,675\,276; \\
 (16\,330,7 - 12\,376) x &= 12\,975\,051 - 4\,675\,276; \\
 3954,7 x &= 8\,299\,775; \\
 x &= 8\,299\,775 : 3954,7 = 2098,7.
 \end{aligned}$$

Мы нашли таким образом, что при каменном угле теплотворной способностью в 6500 кал количество его, теоретически необходимое для обжига в шахтной печи 10 000 кг кипелки из 17 860 кг мрамора (с 100%-ным содержанием CaCO_3) без учета потерь на лучеиспускание и теплоотдачу в окружающую атмосферу, составляет округленно 2100 кг.

Потери должны еще несколько ухудшить результаты приведенного расчета; однако при применении кокса хорошего качества с теплотворной способностью в 7000 кал и обжиге с небольшим избытком воздуха результаты будут более благоприятными.

Для известково-обжигательной печи, работающей по пересыпному способу и с отсосом газов, применяемым в сахарном производстве, Блок дает как хорошую цифру расхода 9—10% кокса; Клаасен определяет тот же расход в 10—12%; Шмидт указывает предельные значения по 20 сахарным заводам 10—16,6 кг кокса на 100 кг известняка. В известково-обжигательных шахтных печах, работающих по пересыпному способу и без искусственной тяги, расход кокса нужно считать близким к последней цифре.

Так как при загрузке камня и кокса колошниковые дверцы остаются открытыми, то в печь проникает большое количество холодного воздуха, сильно ослабляющего силу тяги. Для предотвращения этого явления Эккардт и Готоп в своих печах устраивают между трубой и колошником шатер,

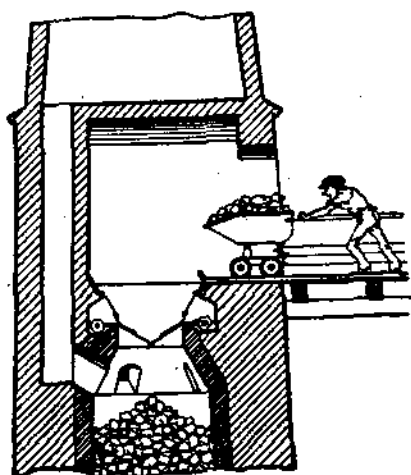


Рис. 84. Колошниковый шарнирный затвор.

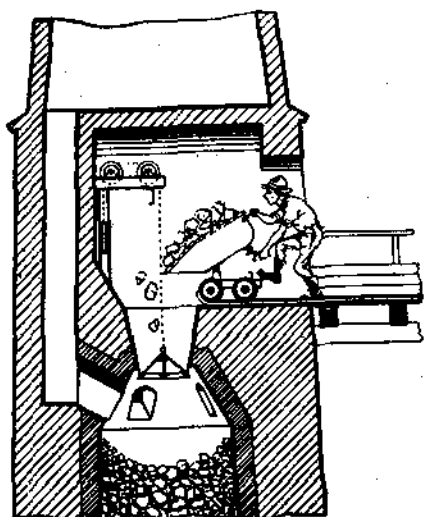


Рис. 85. Конусный затвор для колошника шахтной печи.

с обеих сторон которого газы могут проходить в дымовую трубу. Внутри шатра устроен шарнирный затвор, автоматически открывающийся книзу при загрузке шахты и закрывающийся по окончании загрузки при помощи противовеса. Вместо шарнирного применим также конусный затвор. Оба затвора (рис. 84 и 85) одинаково хорошо себя зарекомендовали.

Как уже упомянуто, вместо естественной тяги от дымовой трубы для засоса необходимого для горения воздуха, применима также искусственная.

Дело в том, что сила естественной тяги зависит от целого ряда обстоятельств: и от величины кусков загружаемого известняка (мелкие куски материала образуют малопроницаемую массу, через которую воздух вследствие значительных сопротивлений пройти чрезвычайно трудно) и от температуры наружного воздуха; при высокой наружной температуре сила потока горячих газов в дымовой трубе, а значит и сила тяги трубы, ухудшается, при низкой же температуре, наоборот, тяга трубы повышается. Чтобы не зависеть от указанных причин и чтобы создать одинаковые при всех обстоятельствах условия тяги, воздух или отсасывают сверху, или же вдувают в печь снизу. Засос воздуха в печь, или, что то же, отсос газов из печи (рис. 82) сперва применялся в известково-обжигательных печах сахарных заводов,

которым для технологического процесса необходима углекислота, выделяющаяся из известняка и содержащаяся в отходящих газах. В этих печах газы отсасываются непосредственно у колошника воздушным насосом или эксгаустором через особый колпак или загрузочную воронку с конусным затвором. В отличие от описанных печей сахарных заводов, печи известковых заводов снабжаются по большей части вентиляторами для дутья воздуха в шахту снизу, что влечет за собой сокращение расхода энергии или же уменьшение размеров вентилятора, так как объем газов у колошника из-за более высокой температуры по меньшей мере вдвое больше объема потребного для горения холодного воздуха. Само собой понятно, что использование углекислоты в этом случае отпадает. Зегер, в целях возможно более равномерного распределения воздуха, рекомендует одну часть воздуха в размере 50% вдувать в центре печи, а другую часть — несколько выше, через 6—8 отверстий, расположенных по окружности шахты. Количество подаваемого воздуха может быть соответственно установлено задвижками — в зависимости от его потребности в том или ином месте. Дутье значительно повышает производительность печи. По Блоку производительность печи с дутьем на 20—30% выше, чем у печи с естественной тягой.

Дальнейшим усовершенствованием производственного процесса известково-обжигательной шахтной печи, влекущим за собой сокращение издержек производства, является механизация загрузки камня и угля и выгрузки готовой извести. Механические выгрузные решетки непрерывно выгружают обожженный продукт по всему сечению печи, чем достигается равномерность хода печи, и чего ручная выгрузка никогда дать не в состоянии. Кроме того механизация выгрузки, как и механизация засыпки, дает соответствующую экономию в рабочей силе. В портландцементной промышленности печи, оборудованные такими аппаратами, применяются уже давно. В известковом производстве положение несколько иное, — здесь известняк в отличие от портланд-цементного сырья поступает в печь в виде кусков самой разнообразной формы и величины; автоматическая загрузка поэтому не обеспечивает правильного, равномерного распределения известкового камня по всему сечению печи. То же относится и к автоматическому выгрузному аппарату печей, так как бесформенные куски известняка не могут конечно спускаться вниз так равномерно, как это происходит с сырьем в шахтных печах для обжига цемента.

Уже в 1887 г. Е. Сольвеем была запатентована в Германии вращающаяся решетка для автоматической выгрузки извести из шахтных печей, но окончательное конструктивное оформление и широкое распространение автоматическая шахтная печь получила лишь за последние 15 лет. За это время появился целый ряд автоматических печей различных конструкций, однако все они применимы только для производства портланд-цемента. Подробное описание этих печей изложено в главе о портланд-цементе. Для обжига извести все эти печи, разумеется, также вполне применимы тогда, когда нет надобности в выпуске комовой извести, так как применяемые в портландцементной промышленности выгрузные аппараты без исключения всегда дробят конечный продукт. Для производства кусковой извести строятся поэтому шахтные печи с решетками, не дробящими выгружаемый из печи материал.

Автоматический аппарат такого рода системы Штрекера, изображенный на рис. 86, строится заводом Крупп-Грузонверк. Он представляет собой длинную уложенную на роликах решетку, получающую медленное поступательное и возвратное движения от червячной передачи и зубчатой рейки;

известь выталкивается решеткой с двух сторон печи. Обратное движение решетки получает благодаря самодействующему ременному переключателю, который после каждого хода решетки переводит ремень на шкив обратного

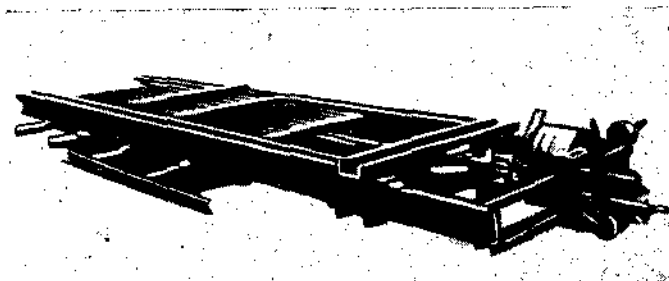


Рис. 86. Разгрузочная решетка системы Штрекера.

хода. Решетка изготавливается из профильного железа и прочных колосников, укладываемых с прозорами для пропуска воздуха. Пусковой механизм, расположенный в раме, приводит в движение решетку при помощи шатуна,

который расположен вне печи, благодаря чему как механизм, так и ременный переключатель, установленные вне рамы аппарата, ограждены от загрязнения пылью. Ввиду того что привод и решетка установлены на одной общей раме, все возникающие усилия принимаются последней, вследствие чего на фундамент эти усилия не передаются. Для предотвращения поломок при непреодолимых препятствиях во время хода решетки устанавливается предохранительная сменная шпонка. Выгружаемый равномерно со всего поперечного сечения шахты обоими концами решетки материал выталкивается в два бункера, из которых он подается на трясковый транспортер. Мелочь отделяется от более крупных кусков пропуском материала сквозь сито; мелочь элеватором подается в силос для мелкой извести, а кусковой

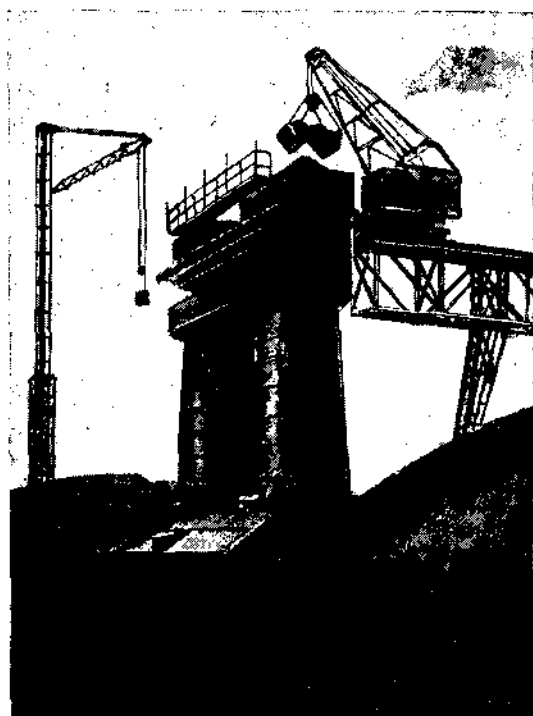


Рис. 87. Автоматическая шахтная печь завода Полизуса.

материал с помощью ленточного транспортера передается на склад кусковой извести или же грузится непосредственно в вагон. Производительность вы-

грузного аппарата, которым также могут быть оборудованы старые действующие печи, регулируется в широких пределах. Вновь сооружаемые печи также могут быть снабжены и механизированным загрузочным аппаратом. Дальнейшей вполне автоматической является также печь завода Полизуиса. Загрузка этой печи производится при помощи вращающегося бункера с двойным автоматически действующим конусным затвором. Известняк и кокс подаются в печь в смешанном виде. Обожженный продукт (рис. 88) спускается на неподвижную тарелку, по которой движется эксцентрически установленный скребок, отводящий известь к сборному желобу, вращающемуся на роликах вокруг тарелки. Внутри желоба установлен нож, которым известь направляется в примыкающую к желобу течку. Выгрузной аппарат можно установить на ту или иную производительность и при надобности в любое время

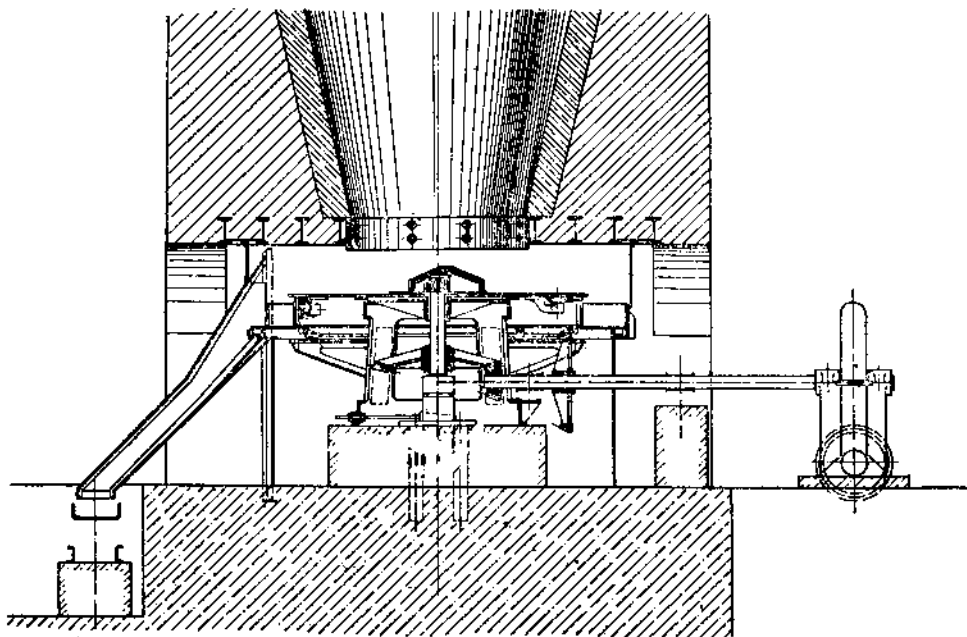


Рис. 88. Выгрузной аппарат для шахтной печи завода Полизуиса.

выключить. Тарелка во избежание пылеобразования помещена в снабженный дверцами кожух, через который подводится и регулируется подача воздуха и ведется наблюдение за правильной выгрузкой из печи готовой извести. Печь может работать как с естественной, так и с искусственной тягой.

Изображенная на рис. 89 автоматическая шахтная печь фирмы Грюбера в Берлине работает следующим образом. В бункер *a*, верхняя площадка которого находится на уровне земли, загружается известняк и кокс. У выпускного отверстия бункера *a* устроен шарнирный затвор *b*, через который выпускается материал в нижний распределительный бункер *c*, из которого известняк и кокс цилиндрическим дозировочным аппаратом отдельно отмеренными порциями выгружается в ковш скипового подъемника и им подается вверх на вращающуюся вокруг оси колошника питательную коробку *e*, распределяющую известняк и кокс равномерно по всему сечению печи. Спускающийся с призмы *g* по двум направлениям на площадку *f*

обожженный материал отводится с последней движущейся взад и вперед кареткой *h*, через широкие точки *i* в призмную воронку *km*, которая опоражнивается при помощи шарнирного затвора. В описываемой печи ручной труд применяется лишь при шарнирном затворе, так что вся печь обслуживается лишь двумя рабочими. При применении нижнего дутья печь вместо приемной воронки с шарнирным затвором снабжается автоматически опоражнивающимся герметическим шлюзовым затвором, который приводится в действие от автоматически переключаемого на обратный ход электромотора мощностью 1—2 л. с. Печь системы Грюбера производительностью

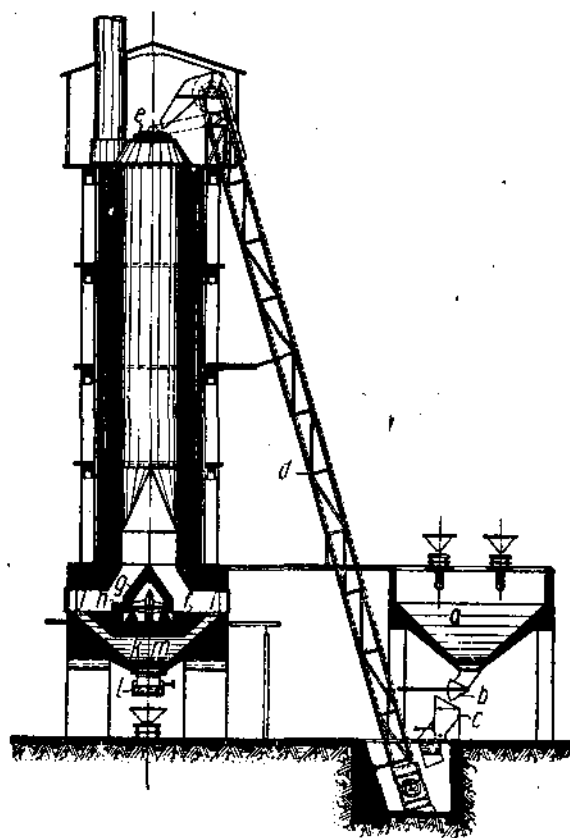


Рис. 89. Автоматическая шахтная печь системы Грюбера.

до 60 т сооружается или из кирпича с железным кожухом или же из бетона. Количество известковой мелочи, получаемой в такой печи, установлено на основе продолжительного наблюдения в 16%, т. е. не больше, чем у обычных шахтных печей, работающих по пересыпному способу.

Большое применение получила на сахарных заводах автоматическая шахтная печь по пересыпному способу системы Эберггардта в Вольфенбюттеле (рис. 91). Печь эта снабжается сплошной цилиндрической шахтой высотой до 32 м. Материал загружается или через воронку, снабженную соответствующим затвором, или, при подаче известняка и угля с уровня основания печи, с помощью шахтного подъемника, бадья которого снабжена крышкой и задвижкой в днище. Бадья наполняется известняком и углем, подается вверх, и, продвигаясь над печью, отводит колошниковую задвижку,

место которой занимает днище бадьи, причем задвижка последней также отводится. По выпуске содержимого бадьи в печь колошниковая задвижка закрывается автоматическим переключением подъемного механизма. За исключением наполнения бадьи, подачи ее в шахту подъемника, а также управления подъемным механизмом (на все это требуется лишь один рабочий), остальные операции — подъем ковша с известняком и коксом, открытие колошника, опорожнение бадьи, закрытие колошника, обратный спуск бадьи и постановка ее на тележку — происходят вполне автоматически. Аппарат для выгрузки кусковой извести состоит из толстоственного чугунного конуса с ребрами соответствующей формы (рис. 92).

Вместе с коробкой, в которую аппарат помещен, эти ребра образуют ряд ячеек, в которых собирается спускающаяся из печи известь. В трех местах коробки имеются отверстия, размеры которых устанавливаются в соответствии с требуемой выгрузкой. Через эти отверстия материал спускается в кольцевой сборник, из которого он трясковым или каким-либо транспортером подается на склад или прямо в вагон железной дороги.

Следует указать еще на один тип шахтной печи — на этажную печь Дитша, в настоящее время уже не строящуюся. Вначале эта печь предназначалась для обжига портланд-цемента, но впоследствии в течение целого ряда лет она находила широкое применение также и в известковой промышленности. В этажной печи благодаря горизонтальной площадке в шахте зона подогрева отделена от зон обжига и охлаждения; обе шахты соединены между собой слегка наклонным, перекрытым очагом, по которому

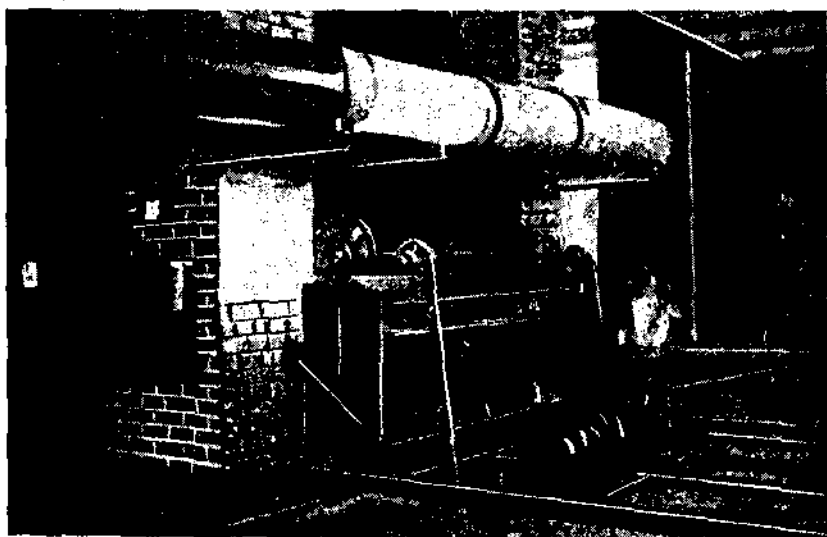


Рис. 90. Выгрузка системы Грюбера.

разогретый известняк опускается в шахту для обжига. Положительным свойством этого типа печей является то обстоятельство, что известняк в зоне подогрева не давит своей тяжестью на материал, находящийся в зоне обжига. Основной же недостаток этой печи — чрезвычайно тяжелые условия обслуживания.

— в) Шахтные печи с выносными топками. Наряду с шахтными печами по пересыпному способу с давних пор стали строиться также печи с выносными топками. Старейшая и наиболее распространенная печь этой системы — так называемая рюдерсдорфская печь (рис. 93) впервые нашла применение более 100 лет назад на государственных рюдерсдорфских известковых заводах Германии. По внешнему виду рюдерсдорфская печь сходна с бельгийской шахтной печью с той лишь разницей, что у нее над зоной охлаждения, т. е. в наиболее широкой части шахты вокруг печи, в ее наружной кладке, сооружается несколько колосниковых топок, чаще всего четыре. Оригинальная рюдерсдорфская печь снабжена горизонтальной колосниковой топкой для сжигания богатого содержанием летучих

каменного или бурого угля, для того чтобы пламя проникало, по возможности, до самого центра печи; поэтому внутренний диаметр шахты особенно

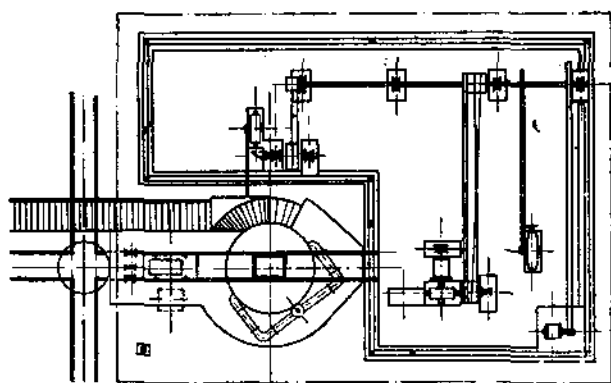
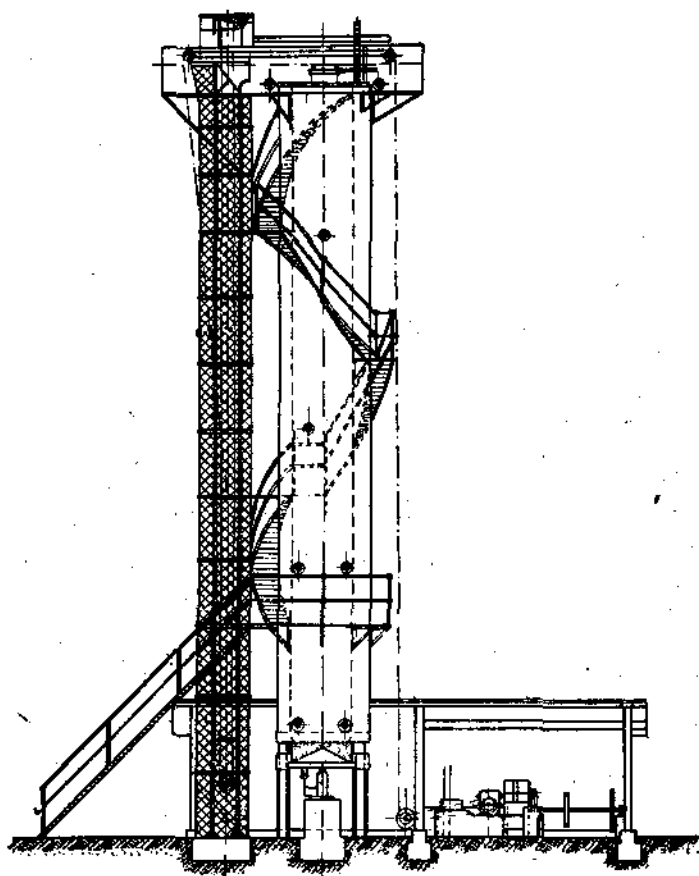


Рис. 91. Шахтная печь системы Эбергарда.

большим быть не может. С другой же стороны, в целях получения большого объема шахты печи эти нередко строились овального поперечного сечения

вместо круглого. При такой форме шахты печь снабжается с обеих длинных сторон несколькими топками, а с коротких по одной с каждой стороны. Площадь колосниковой решетки в печи с выносными толками должна быть рассчитана с запасом, так как ее размеры зависят и от условий тяги, и от рода сжигаемого топлива. По данным Шматова для сжигания в 1 час 1 кг топлива при наличии хорошей тяги, потребуется в среднем следующая площадь колосниковой решетки:

при каменном угле 1,5 дм²

„ буром „ 1,25 дм².

Колосники решетки могут быть прямыми, зигзагообразными и полигональными. Дверцы для выгрузки извести должны открываться лишь при выпуске ее, все же остальное время их необходимо держать

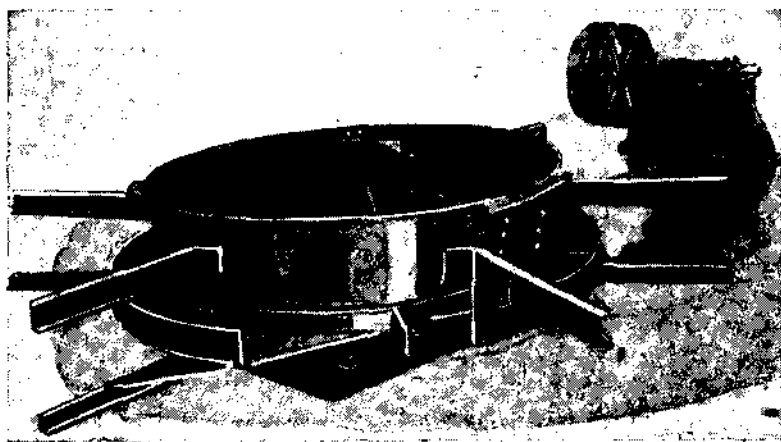


Рис. 92. Разгрузочный аппарат системы Эбергардта.

плотно закрытыми. Так как при засыпке угля на колосниковую решетку топочная дверца остается значительное время открытой, то неизбежно проникновение в печь холодного воздуха. Поэтому вместо горизонтальных колосниковых решеток применяют также наклонные или ступенчатые, над которыми устраивается воронка для угля; этим предотвращается проникновение наружного воздуха; воздух же, необходимый для горения, подводится через колосниковую решетку снизу. При надлежаще выбранном угле наклона решетки уголь из загрузочной воронки, спускаясь сам собой, постепенно заполняет решетку. Воронка может быть снабжена задвижкой для отрегулирования толщины слоя угля на колосниковой решетке. Если топливо держать толстым слоем, то топка работает как полугазовая, что в одинаковой мере относится также и к горизонтальной решетке. В верхнем слое тогда происходит газообразование, причем газы воспламеняются лишь внутри печи, встречаясь там с раскаленной известью. При полугазовых топках засос холодного воздуха через выгрузные дверцы не только не вреден, но становится даже необходимым для обеспечения потребного для сжигания газов воздуха. Для этой цели выгрузные дверцы снабжаются регулируемыми задвижками.

Те же соображения, которые привели к овальной форме шахты рудерс-

дорфской печи, руководили также и Фанегельмом при создании им своей печи (рис. 94 и 95) путем сооружения в центральной части печи так называемого керна из шамотного кирпича, несколько входящего в зону горения. Этим керном создается кольцевая форма для зон обжига и охлаждения, чем, как это нетрудно понять, создаются надлежащие условия для полного прожига всего материала.

Печь Фанегельма также может снабжаться различными топками — обычной колосниковой, горизонтальной, наклонной или ступенчатой или же наконец полугазовой.

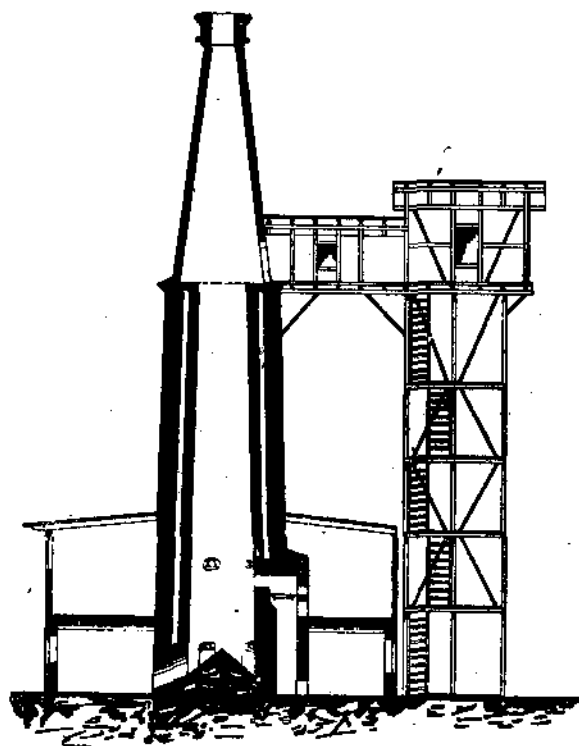


Рис. 93. Рюдeрсдорфская печь.

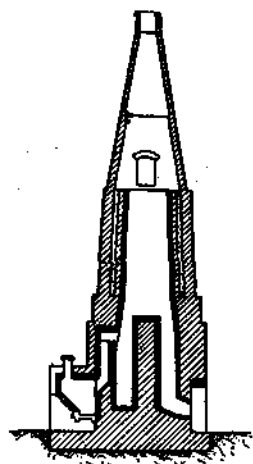


Рис. 94. Печь системы Фанегельма.

В последнее время были также сделаны попытки приспособить для шахтных печей пылеугольные топки. Довольно удовлетворительно разрешил эту задачу Мюллер (рис. 96). Однако имеющиеся по настоящее время данные по исследованию этой печи не позволяют еще иметь окончательного суждения о работе печи с такой топкой.

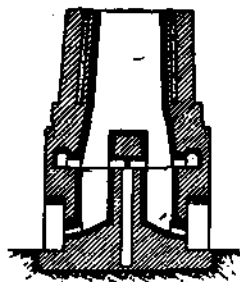


Рис. 95. Печь системы Фанегельма.

При наличии дешевого жидкого топлива применение его для обжига извести также возможно. В СССР для этой цели мог бы служить мазут. Топливо вдувается форсунками в печь, где оно вследствие развивающихся чрезвычайно высоких температур сгорает полностью. Известь, обожженная на жидком топливе, отличается высоким качеством. В Германии применение для указанной цели нефти неприемлемо ввиду высокой ее стоимости.

Шахтная печь с полугазовой топкой является переходной к печи с чисто газовой топкой, мысль о которой появилась еще в 1812 г. у Оберто, предложившего использовать доменные газы для обжига

известн. В Германии Сименс, разработавший конструкцию газовой топки для плавильных печей, построил в 1862 г. вместе с инж. Штейнманом одну газовую известе-обжигательную печь около Таранда и другую в 1864—1865 г. — на

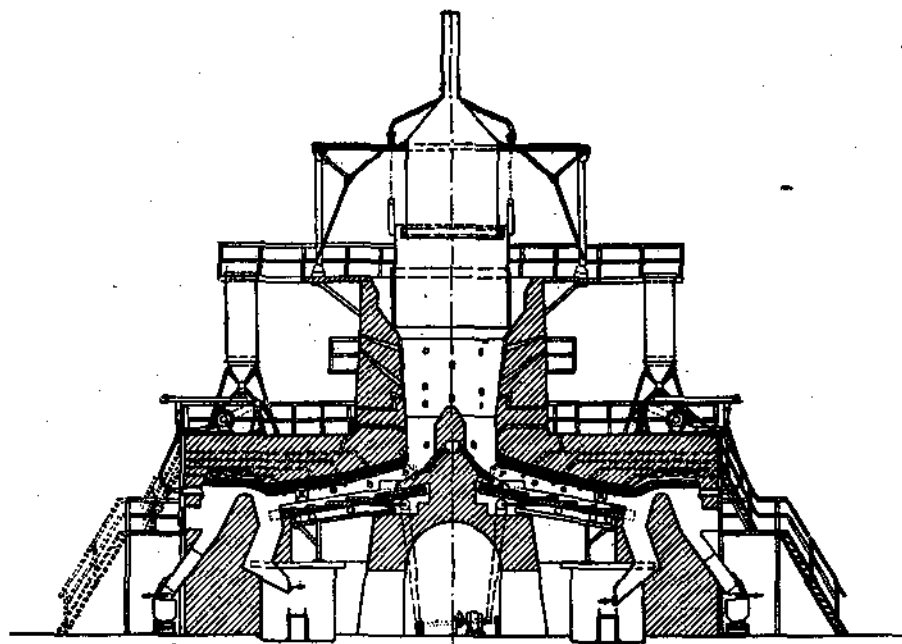


Рис. 96. Шахтная печь с пылеугольной топкой.

сахарном заводе Гребциг около Кетена. В газовой топке топливо полностью превращается в газ, оставляя в ней лишь негорючие: шлак и золу. Газо-

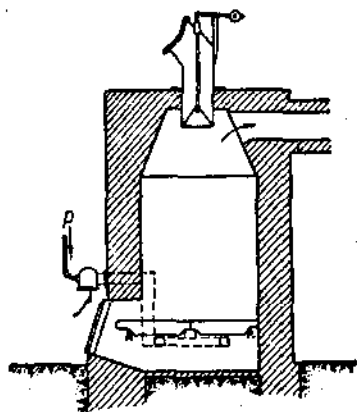


Рис. 97. Генератор с горизонтальной колосниковой решеткой.

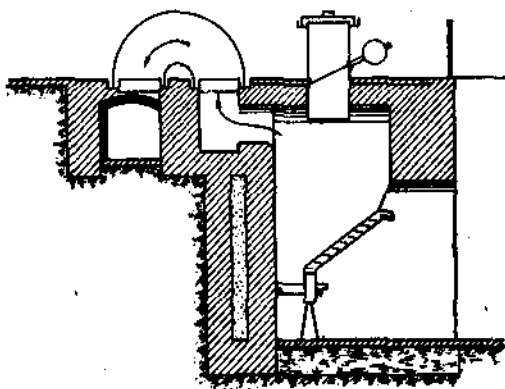


Рис. 98. Генератор со ступенчатой колосниковой решеткой.

образование происходит в генераторе, состоящем в основном из шахты с внутренней огнеупорной футеровкой. Генераторы можно подразделить на генераторы с решеткой и на генераторы без решетки.

Первые (рис. 97) строятся как с горизонтальной колосниковой решеткой (рис. 97), так и со ступенчатой (рис. 98). Более усовершенствованную конструкцию представляет собой генератор с вращающейся решеткой для автоматического удаления шлака (рис. 99), работающий так же, как и генераторы без колосников, на дутье. Принцип работы генератора заключается в том, что из расположенного на сильно раскаленном слое горючего мощного покрова топлива отгоняются в первую очередь лишь летучие, которые при этом не воспламеняются; выделяющаяся же из нижнего горящего слоя углекислота, проникая сквозь толщу вышележащих слоев, превращается в окись углерода. По мере удаления из шахты негорючих

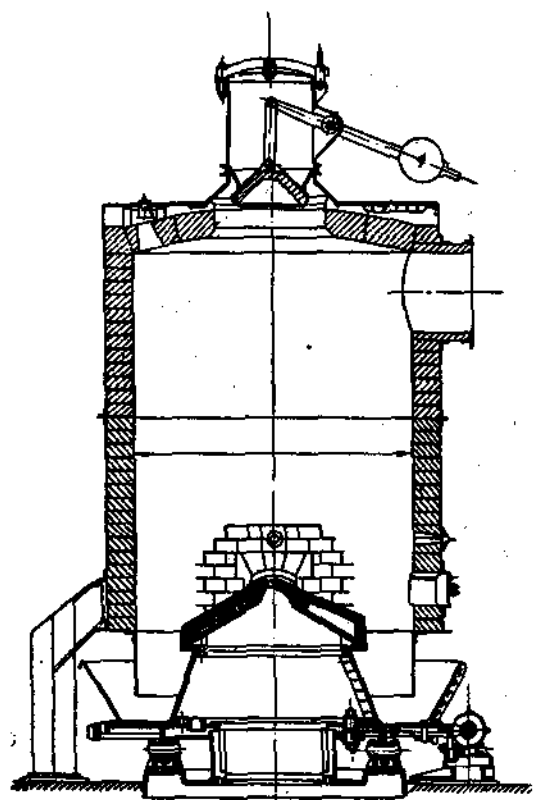


Рис. 99. Генератор с вращающейся решеткой.

остатков топлива, верхние слои горючего, из которых выделены летучие, постепенно опускаются на раскаленный слой топлива, где происходит сгорание твердого углерода. Сверху соответственно загружается новое количество топлива. Выбор конструкции генератора зависит от типа подлежащего газификации топлива; универсального генератора, пригодного для всех видов топлива, не существует.

Генераторы часто присоединяются непосредственно к обслуживаемым ими печам. В печи Сименс—Штейнмана, в ее кладке, сооружался кольцевой распределительный канал, из которого газ поступал в печь через целый ряд сопел. Необходимый для горения воздух всасывался через выгрузные двери. В современных газовых известково-обжигательных печах большей частью сохранился тот же способ подвода газа; однако подача воздуха производится обычно по расположенным в кладке вертикальным каналам,

идущим от зоны охлаждения до ввода газа в печь, чем достигается предварительный подогрев воздуха. Так как газ в печи стремится выбрать путь наименьшего сопротивления, то он направляется вверх около самых стенок печи, благодаря чему материал в центре печи не прожигается. По этой причине сечению шахты придают в газовых печах или овальную или прямоугольную форму, или же газ подают в печь под давлением. По той же причине в газовой печи был применен керн Фанегельма, через который подводился газ в центр печи, но сколько-нибудь положительных результатов это мероприятие однако не дало. В печах, присоединенных непосредственно к генераторам, выбор горючего строго ограничен, так как для них применимы только сравнительно сухие сорта топлива. Нередко однак

желательно использовать и влажное топливо, например бурый уголь с содержанием влаги в 50—55%. Однако получаемый из такого топлива газ настолько насыщен водяными парами, что его теплотворная способность может оказаться недостаточной для прожига известняка. Поэтому такой газ приходится охлаждать для выделения из него водяных паров несколько ниже точки росы, что вызывает необходимость установки добавочного холодильного устройства, а также некоторое удаление генератора от печи. Но даже и при применении столь влажного топлива все же приходится подчас вдвух в генератор еще некоторое добавочное количество пара, что однако вреда не приносит, так как пар этот разлагается в зоне горения на кислород и водород, из которых последний значительно повышает теплотворную способность газа. Кроме того вдувание пара (чаще всего вместе с воздухом) для генераторов с вращающимися решетками или безрешоточных, необходимо для регулирования процесса горения, так как такие генераторы внизу снабжаются герметическим затвором. Вдувание пара кроме того имеет еще своим назначением предотвращать образование больших глыб шлака.

После того как в течение целого ряда лет применение газовых печей для обжига известно почти не имело места, около 1900 г. постройкой их занялся Шматолла, запатентовавший ряд конструкций как с боковым, так и с центральным подводом газа. Построенные Шматоллой в Германии газовые печи оказались однако непригодными — частью их пришлось законсервировать, частью же перестроить. Имеется еще ряд других конструкций газо-шахтных печей, из которых назовем печи Мейзера, Мюллера и Лохнера. Мейзер (рис. 100) смешивает газ еще до подачи его в шахту с горячим воздухом, просасываемым из зоны охлаждения по каналам, благодаря чему получается некоторое более раннее сгорание газа и образование длинного пламени. Аналогично поступает Мюллер, предусматривая обособленные один от другого каналы, по которым подводится воздух и газ, которые перед вводом в печь смешиваются. Лохнер свою печь строит с прямоугольным сечением и питает ее газом из генераторов. У Ленгертсдорфа газ вводится в печь под давлением, а Эккардт и Готоп (рис. 101) применяют в печи Фанегельма газовое отопление с боковым подводом газа; по имеющимся сведениям, они достигли хороших результатов. Все четыре генератора, снабженные ступенчатыми решетками, соединены непосредственно с печью, причем необходимый для горения воздух вводится в печь там, где находятся газовые горелки, и регулируется с помощью заслонок. Во время обжига выгрузные дверцы печи должны быть плотно промазаны, иначе пламя будет выбивать наружу; на все время выгрузки извести газовая топка должна быть приостановлена. Как показали наблюдения автора, топки печей этой системы являются собственно не газовыми, а полугазовыми. Той же фирмой строится также газовая печь и без так называемого керна (рис. 102). Печь эта имеет прямоугольное сечение и снабжается железной

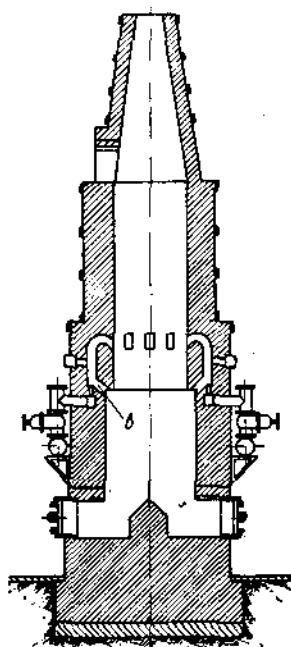


Рис. 100. Газовая печь Мейзера.

У Ленгертсдорфа газ вводится в печь под давлением, а Эккардт и Готоп (рис. 101) применяют в печи Фанегельма газовое отопление с боковым подводом газа; по имеющимся сведениям, они достигли хороших результатов. Все четыре генератора, снабженные ступенчатыми решетками, соединены непосредственно с печью, причем необходимый для горения воздух вводится в печь там, где находятся газовые горелки, и регулируется с помощью заслонок. Во время обжига выгрузные дверцы печи должны быть плотно промазаны, иначе пламя будет выбивать наружу; на все время выгрузки извести газовая топка должна быть приостановлена. Как показали наблюдения автора, топки печей этой системы являются собственно не газовыми, а полугазовыми. Той же фирмой строится также газовая печь и без так называемого керна (рис. 102). Печь эта имеет прямоугольное сечение и снабжается железной

трубой, установленной на площадке колошника и гарантирующей якобы хороший отсос из центральной части печи и следовательно надлежащий прожиг материала. Загрузка производится сбоку дымовой трубой через имеющееся в площадке отверстие с шарнирным затвором.

На рейнских известковых заводах Вюльфрат работает ряд шахтных печей с газовыми топками, построенных фирмой Дуисбург-Мейдериш, по конструкции Мюллера. Как указывается названной фирмой, в изданном ею в октябре 1926 г. проспекте, ей будто бы удалось в своих печах устранить присущий всем шахтным печам с газовыми топками недостаток, заключающийся в том, что в зоне горения огнеупорная футеровка обычно разрушается настолько быстро, что экономичность таких печей вообще становится сомнительной.

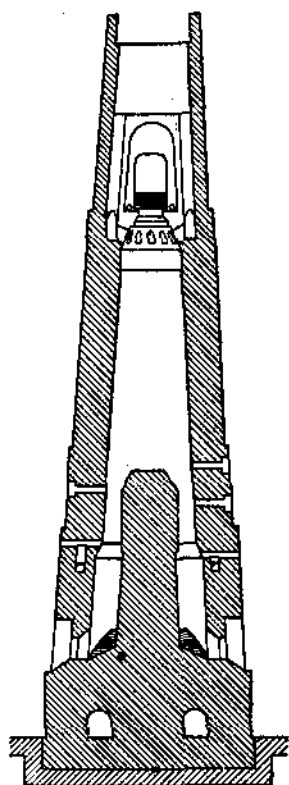


Рис. 101. Газовая печь системы Эккардта и Готопа.

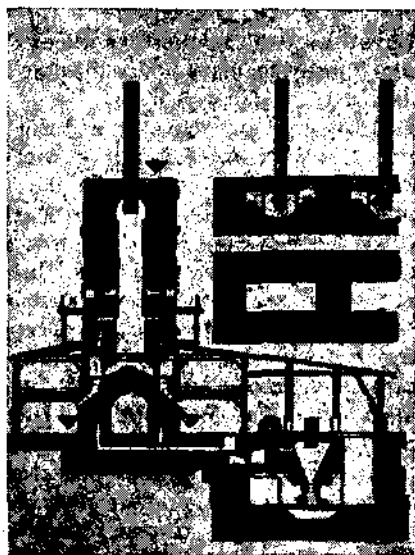


Рис. 102. Шахтная печь с боковой загрузкой.

Преимущества газовой шахтной печи заключаются в том, что, во-первых, она дает абсолютно чистую незагрязненную известь, во-вторых, подвод воздуха горения регулируется настолько точно, что фактический расход его весьма незначительно отличается от теоретически необходимого и таким образом избегается необходимость в подогреве избыточного воздуха. Далее следует отметить, что для газификации применимы также и низкосортные виды дешевого топлива, как например древесные отбросы, торф, бурый уголь и т. п., негодные для непосредственного сжигания в известковых печах. Но все же и эти топлива должны удовлетворять определенным условиям. Так, если, уголь содержит более 55% воды и более 30% рухляка, то для газификации в генераторе он уже не пригоден. Применение чрезмерно влажного топлива уже тем нецелесообразно, что, как упомянуто было выше, для выделения воды или водяного пара из газа необходимо

его охлаждение, а это сопряжено также с конденсацией смолистых веществ содержащихся в газе и влекущих за собой засорение и закупорку трубопроводов. Поэтому в таких случаях генератор снабжается смолоотделителем, что потребует устройства между генератором и печью дополнительной аппаратуры, значительно удорожающей стоимость всей установки. Правда, смола при надлежащем ее составе легко и выгодно может быть реализована. Вообще же говоря, для генераторов выгоднее применение более высококалорийных видов топлива.

Нам остается еще вкратце остановиться на одном типе газовой печи, представляющей интерес в том отношении, что она построена для работы на необычном топливе. Печь эта установлена в Мессингене (Вюртемберг) и представляет собой обычную шахтную печь круглого сечения, вместимостью примерно 30 м³, с выдвижной выгрузной решеткой. С обеих сторон печи установлены два генератора, имеющие форму шахтной печи и снабженные теми же решетками, но закрытые сверху затвором. Генераторы эти работают на битуминозном слоистом глинистом мергеле верхнего лиасса Швабской юры. Через небольшой патрубок, соединяющий генераторы с печью, газы поступают в устроенный в кожухе печи кольцевой канал, а отсюда через ряд щелей в печь. Необходимый для горения воздух вводится через решетку. В печи за сутки обжигается 12 м³ мергеля или 15 т предельной извести среднего лиасса (лиасс γ), причем расход битуминозного глинистого мергеля составляет 18 м³ или 41,4 т. Попытки обжигать в указанной печи также жирную (белую) известь из известняка нижней белой юры не дали благоприятных результатов вследствие большого количества недопала¹.

Можно считать бесспорным, что в данное время самой экономичной из всех печей является автоматическая шахтная печь, работающая по пересыпному способу; автор тем не менее убежден, что будущее принадлежит автоматической шахтной печи с газовой топкой. Однако для того чтобы печь эта действительно могла в полной мере удовлетворять предъявляемым к ней требованиям, а к этому практика должна всячески стремиться, необходимо устранить в ней целый ряд весьма существенных недостатков. Во всех случаях необходимо, чтобы обслуживанию генератора и регулировке газа и воздуха, их смещению уделялись максимальное внимание и изучение, так как вопрос о газовой печи является прежде всего делом инициативы, знания и опыта.

г) Кольцевая печь. Следующее виднейшее место в известковой промышленности занимает кольцевая печь. Современной кольцевой печи предшествовал целый ряд других печей, объединенных одной и той же, более или менее ярко выраженной основной идеей, заключающейся в том, что обжиг происходит последовательно в нескольких присоединяемых к одной общей дымовой трубе камерах, причем охлаждающее тепло обжигаемой камеры используется для подогрева следующей подготавливаемой к обжигу камеры. Так, в Англии печи, строившиеся до появления кольцевой печи, представляли собой четыре отдельных круглых печи, расположенных в круг общей дымовой трубы и соединенных каналами с этой последней и между

¹ В журнале „Т. I.“ 1924 г. № 90 имеется сообщение о работе шведских известковых заводов, применяющих горючий сланец. Однако речь здесь идет о простых напольных печах. 3 груза известняка и сланца производится поочередно слоями; печь прогорает в 10—14 суток. При выгрузке извести сплавленную сланцевую золу приходится взрывать и отсыпывать вручную. Шведский сланец обладает теплотворной способностью 1600—1800 кал, а вюртембергский в среднем — 1400 кал.

собой. Во Франции печи располагались стена к стене, сплошным кольцом вокруг общей дымовой трубы; каждая печь, вернее каждая обжигательная камера, в плане имела таким образом форму кольцевого сегмента. В Германии кольцевой печи предшествовала камерная печь с обратным пламенем;

соединяя вместе несколько таких камер и присоединяя их к одной общей дымовой трубе, мы имеем возможность использовать отходящие газы одной камеры, находящейся под огнем, в соседней камере для подогрева загруженного в нее материала. Такого рода камерные печи кое-где применяются в известковой промышленности еще и сейчас.

В своем первоначальном виде кольцевая печь является изобретением инженера-строителя Фридриха Гофмана, который в 1858 г. вместе с Лихом выбрал прусский и австрийский патенты на непрерывно действующую кольцевую обжигательную печь. Указанная печь вначале строилась круглого

Рис. 103. Кольцевая печь звездчатой формы.

сечения, а впоследствии по большей части вытянутого овального; она однако может строиться и других сечений, например звездчатого (многоствольные) (рис. 103 и 106). В основном печь состоит из сводчатого замкнутого тоннеля, разделенного на ряд (от 12 до 30, смотря по размерам печи) как бы отдельных камер, не разделяемых между собой никакими перегородками, а разграниченных лишь небольшими арками. Каждая камера снабжается дверцей для загрузки известняка и выгрузки извести и по меньшей мере — одним каналом для отвода газов под полом камеры, соединенным с одним общим боровом, проложенным посредине печи по ее продольной оси. Боров соединен с дымовой трубой, которая обычно ставится в центре печи, иногда же в стороне на некотором расстоянии от нее. В своде камер устраиваются круглые топочные отверстия, расположенные рядами на одинаковом расстоянии одно от другого и снабженные крышками, опускаемыми в коробки с песком в целях достижения герметичности затвора.

Газоотводящие каналы отдельных камер снабжаются в местах примыка-

ния к центральному сборному борovu (рис. 107) подъемными конусными затворами, погружаемыми бортами при посадке в песок в целях достижения герметичности между каналами камер и общим боровом; когда клапан находится в приподнятом положении, канал сообщается с боровом, а тем

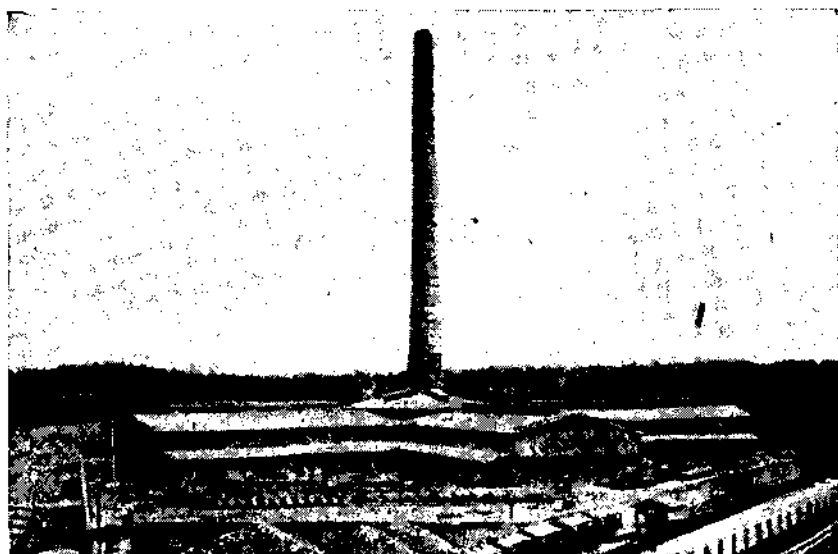


Рис. 106. Кольцевая печь звездчатой формы.

самыми с дымовой трубой. Управлять этими затворами обжигальщик может при помощи тяг, с верхней площадки печи.

При сооружении всякой кольцевой печи следует прежде всего принять меры для надлежащей ее изоляции от грунтовой сырости. При высоком уровне грунтовых вод, кольцевая печь сооружается на водонепроницаемой

бетонной подушке. Наружная стенка возводится наклонно с контрфорсами, на некотором расстоянии от нее сооружается вторая стенка, и промежуток между ними заполняется шлаком или песком. Таким же изолирующим слоем покрываются и своды сборного борова и каналов камер; образуемая таким образом площадка над печью должна быть выравнена и вымощена. Отверстия для забрасывания топлива в сводах камер по большей части располагаются в продольном направлении тремя-пятью параллельными рядами; на каждую камеру от каждого такого ряда приходится 4—5 отверстий, всего таким образом каждая камера снабжается отверстиями от 12 до 25 для забрасывания топлива. В попе-

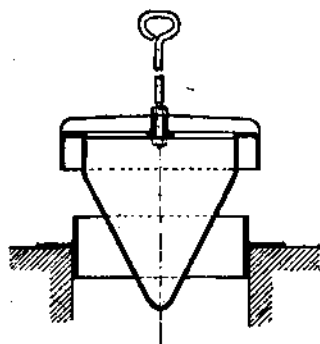


Рис. 107. Зпорный колокол для кольцевой печи.

речном направлении эти отверстия располагаются либо также параллельными рядами либо, что более целесообразно, в шахматном порядке; каналы, соединяющие камеры со сборным боровом, лучше всего прокладывать попе-

ременно то с наружной, то с внутренней стороны, так как топочные газы всегда стремятся идти по внутренней более горячей и более короткой стенке. У поворотов и закруглений дымовые каналы должны, как правило, прокладываться с наружной стороны и подводиться к общему борову под подом камеры.

Належаще установленные соотношения между отдельными элементами печи имеют особо важное значение. По Шоху следует руководствоваться следующими данными:

Высота дымовой трубы	— $\frac{1}{3}$ длины камер
Верхний диаметр дымовой трубы в свету	— $\frac{1}{40}$ ее высоты
Площадь верхнего внутреннего поперечного сечения дымовой трубы	— $\frac{1}{5}$ сечения камеры
Сечение общего боров	— $\frac{1}{4}$
каналов камер	— $\frac{1}{20}$

Вопрос о том, целесообразно ли устройство в камерах арок, является спорным. В то время как в прежнее время арки всегда предусматривались в кольцевых печах для обжига извести, в дальнейшем стали от них отказываться из-за частых ремонтов, которые они вызывали. Следует однако заметить, что при надлежащем уходе за ними и осмотре и некотором исправлении их после каждого оборота печи для предотвращения более серьезных повреждений, вопрос этот представится в ином освещении. Арки несомненно представляют выгоду и пользу и являются существенной частью известковых кольцевых печей. Так как известняк при обжиге „садится“ (в среднем на 12—14%), то и все содержимое печи „садится“ настолько, что между ним и сводом образуется значительное незаполненное пространство, через которое устремляется необходимый для горения воздух, вместо того чтобы насквозь пронизывать всю насадку камеры.

Пуск в ход кольцевой печи производится следующим образом. У одной из камер позади двери выкладывается поперечная кирпичная стена, в нижней части которой на высоте около 40 см от пода устраиваются три горизонтальных решетки. Укладку известняка впереди стены производят так, чтобы под каждым рядом расположенных по длине печи в своде камер топочных отверстий получались из известняка каналы вышиною примерно 50—70 см, шириною 25 см и кроме того под каждым топочным отверстием вертикальные шахты от пода до топочного отверстия. Чтобы шахтам придать правильное вертикальное положение, в камеру сверху, через топочное отверстие, опускают деревянный шест, доходящий до пода; соорудив вокруг этого шеста шахту, его вынимают и опускают для той же цели в следующее топочное отверстие. Для кладки каналов и шахт вокруг топочных отверстий применяют крупные куски известняка по возможности с ровной постелью; все пространство между подовыми каналами и вертикальными шахтами заполняется кусковым известняком средней величины, а более мелкий материал насыпается сверху; в каждой камере, начиная с третьей, позади каждой арки ставится на глине по всему поперечному сечению камеры бумажный щит, отделяющий одну камеру от другой, благодаря чему потребный для горения воздух всасывается лишь по направлению хода огня. После укладки и загрузки известняка загрузочные отверстия камер плотно закладываются кирпичом; для лучшей изоляции целесообразнее делать две кирпичные стенки и промежутки между ними заполнять песком или золой. Снаружи стенки промазываются не слишком жирным слоем глины. Если в процессе работы в наружной стенке появятся тре-

шины, их тотчас же необходимо хорошо замазать. Предварительно проверив плотность запорных конусов дымоотводных каналов камер, разводят слабый огонь на колосниковой решетке сперва дровами, а затем углем. В то же время приподнимают сперва немного, а затем все больше и больше, до полного открытия запорный конус, находящийся перед первым бумажным щитом. В тот момент, когда материал в первой камере накопился докрасна, начинают подавать уголь через топочные отверстия: сперва через первый поперечный ряд, затем постепенно через следующие до полного обжига содержимого камеры. В то же самое время материал второй камеры успел нагреться настолько, что и здесь можно приступить к обжигу подачей топлива через топочные отверстия; процесс ведется так же, как и в первой камере, после чего наступает очередь третьей камеры. Тогда конус дымового канала третьей камеры, находящийся впереди бумажной ширмы, закрывают, клапан же позади той же ширмы немедленно открывают, благодаря чему ширма обычно сама собой без воздействия извне сгорает; если этого почему-либо не случится, необходимо через ближайший передний поперечный ряд топочных отверстий зажечь ее пучком горячей соломы. Работа продолжается таким же порядком дальше, и когда шестая камера находится уже под огнем, сложенная в первой камере кирпичная стена с устроенными на ней решетками разбирается. После этого разбирают также кладку в отверстиях этой камеры для охлаждения ее содержимого и последующей его выгрузки. При нормальном ходе обжига в 14-камерной кольцевой печи под огнем находятся всегда две камеры, следующие же за ними четыре камеры пока только в стадии подогрева, причем в последней из этих четырех камер бумажная ширма еще сохраняется. Следующая, пятая камера только что загружена известняком и снабжена бумажной ширмой, соседняя же с ней камера находится в периоде загрузки, а дальнейшая пока еще пустует. Первая камера, по другую сторону позади, находится в сильно раскаленном состоянии, следующая за ней камера — в более слабом, а третья — в периоде охлаждения. За этой последней идет камера, полностью уже остывшая, а из соседней с нею производится выгрузка уже остывшей извести. Необходимый для горения воздух поступает через загрузочные отверстия открытых камер, охлаждает содержащийся в них материал и, пройдя через раскаленные камеры, сильно нагревается и направляется в находящиеся под огнем камеры. В печах с соответствующим числом камер можно работать и на двух огнях, причем вышеописанный процесс обжига производится одновременно на противоположных сторонах печи.

Для кирпичеобжигательных кольцевых печей оправдали себя автоматические питатели угля так называемые шюраппараты, назначение которых состоит в том, чтобы через определенные отрезки времени подавать в загрузочные отверстия печи потребное количество угля. Вполне естественно напрашивается мысль о применении таких же питателей и для известковообжигательных печей. Этому однако препятствуют условия обжига извести, совершенно отличные от таковых для кирпича. В известковых печах при 12-часовой работе сжигается примерно в 8 раз больше угля, нежели в кирпичеобжигательных печах; для такого количества топлива потребовались бы чрезвычайно громоздкие питательные аппараты, уже непригодные для управления. Кроме того еще следует отметить, что в известковых кольцевых печах условия тяги в разных местах сечения печи весьма отличны друг от друга, вследствие чего небольшие количества подаваемого топлива, не дойдя до пода печи, сгорают по пути в верхних слоях садки, оставляя без огня другую часть садки. Для обеспечения равномерного обжига чрезвы-

чайно важно, чтобы обжиг производился всегда при одинаковой тяге. Этого можно достичь, если предварительно при помощи анемометра (рис. 108) установить потребный для хорошего обжига расход воздуха, а затем проверять все время по тягомеру, соответствует ли наличная сила тяги этому расходу. Саморегистрирующий тягомер Обеля, снабженный самопишущим приспособлением (рис. 109), состоящим из вращаемого часовым механизмом бумажного кружка, отмечает все, даже самые незначительные колебания тяги, а также время засыпки горючего; он является таким образом превосходным контролем над работой обжигалы, малейшее упущение коего может быть безошибочно установлено. Тягомер ставится на одно из топочных отверстий, на расстоянии 8—9 рядов впереди огня. Через каждые 12 час. контрольный кружок заменяется новым, а краска на пишущем штифте возобновляется; часовой механизм заводится через каждые 24 часа.

Составленный Кеппелером тепловой баланс на основе точных наблюдений и измерений над работой 12-камерной кольцевой

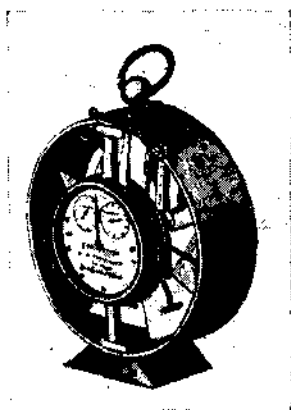


Рис. 108. Анемометр.

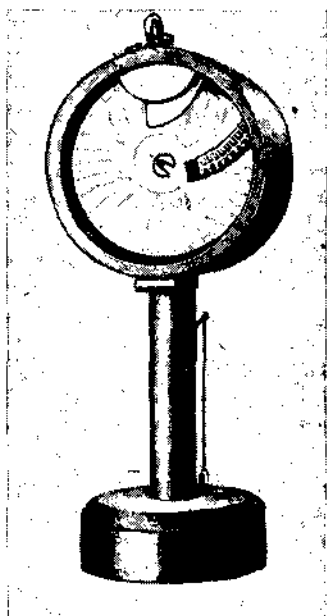


Рис. 109. Тягомер Обеля.

печи с расположенными в наружной стене дымовыми каналами представляет значительный интерес, и мы считаем необходимым остановиться на нем.

Обжиг производился на каменном угле с теплотворной способностью 6010 кал в течение 144 час.; за это время было обожжено 345 т известняка, давшего при выходе 90,5% вполне обожженного продукта 200 т кипелки. Как отмечено выше, для разложения 100 т известняка требуется 42500 кал, поэтому на обжиг потребовалось: $0,905 \cdot 345 \cdot 425\,000 = 132\,695\,625$ кал.

Составление так называемого теплового баланса имеет целью установить, какое количество калорий из числа отданных горючим полезно тратится на самый обжиг извести, и как велики потери: 1) в отходящих газах 2) из-за неполноты горения, 3) из-за содержащегося в выгружаемой кипелке тепла, 4) из-за бесполезного нагрева каменной кладки печи. Для установления потерь используется анализ отходящих газов,

из содержания углекислоты и кислорода которых мы, руководствуясь сообщениями, на которых здесь мы не имеем возможности подробнее остановиться, устанавливаем: 1) степень полноты горения, 2) избыток воздуха, 3) степень использования тепла, 4) количество газов, уходящих в дымовую трубу.

Для анализа отходящих газов применяются различные аппараты. Кроме всем известного аппарата Орса, который применен был в несколько измененном фирмой Юлиус Пинтш виде, позволяющем определить также количество содержащихся в продуктах горения горючих газов (окись углерода, метан, водород), были использованы еще два других аппарата. Первый из них — аппарат Сименс и Гальске, служащий для определения углекислоты в той или иной смеси газов. Устройство и принцип действия этого аппарата основаны на различной теплопроводности углекислоты и воздуха и изменений электропроводности, измеряемой прибором. Второй прибор — газоанализатор „Панарекс“ ВКЭ с двумя воздушными лопастями; принцип его работы основан на развитии различных по силе моментов вращения этих лопастей, в зависимости от того, в какой среде они находятся, — в воздухе или в газовой смеси той или иной плотности. Приборы, градуированные в отношении углекислоты, автоматически регистрируют то или иное содержание последней в продуктах горения. В качестве вспомогательного аппарата для контроля работы печи использован был также упомянутый нами выше тягомер в исполнении фирмы „Товарищество по производству гидроаппаратуры“, отличающийся особой чувствительностью, благодаря которой им отмечаются все, даже самые незначительные изменения в тяге. Температура в печи измерялась с помощью термоэлементов, а для определения потерь через стены был использован прибор д-ра Шмидта (Мюнхенский теплотехнический научно-исследовательский институт). Прибор этот состоит из ленты установленной теплопроводности; лента снабжена с каждой стороны двумя термоэлементами, с помощью которых можно, прикладывая ленту к какой-нибудь нагретой поверхности, в нашем случае к стене печи, установить то количество тепла, которое переходит с одной стороны ленты на другую. По разности температур измеряется количество тепла, проходящее в том или ином месте через определенную поверхность кладки печи. Для дальнейшего измерения этих потерь, в том числе и потерь тепла через фундамент печи, применялись также термоэлементы.

Результаты исследования сведены в нижеследующем тепловом балансе:

I. Расход угля: 50,25 т (25,21%).

Анализ угля:

4,62% влажности.

16,27% золы,

79,11% горючих веществ, в том числе

59,34%	углерода,
4,75%	водорода,
15,02%	кислорода +
	+ азота + серы.

Теплотворная способность: 6010 кал на 1 кг.

I. Обжиг извести.

Из 345 т известкового камня было обожжено 90,5%; таким образом разложению подверглось всего 312 т углекислой извести, по 6,21 кг углекислой извести на 1 кг угля.

Потребное для этого количество тепла: $6,21 \cdot 425 = 2640$ кал.

Следовательно коэффициент полезного использования:

$$\frac{2640 \cdot 100}{6010} = 43,9\%$$

III. Потери тепла.

1) Тепло в отходящих газах.

Средняя температура отходящих газов у основания дымовой трубы 160°C .

Средний состав отходящих газов: $\left\{ \begin{array}{l} 9,4\% \text{ углекислоты,} \\ 14,6\% \text{ кислорода,} \\ 77,0\% \text{ азота.} \end{array} \right.$

Из $9,4\%$ углекислоты приходится:

$4,3\%$ на продукты горения,

$5,1\%$ на углекислоту из известняка.

Количество сухих газов на 1 кг угля (при содержании углерода в угле — $59,34$ и содержании углерода в 1 м^3 углекислоты — $0,536$) составляет:

$$\frac{59,34}{0,536 \cdot 4,3} = 25,75 \text{ м}^3.$$

В 1 м^3 этого газа (с $9,4\%$ углекислоты) при 160°C содержится 47 кал тепла.

Отсюда общее содержание тепла в сухих газах:

$$25,75 \cdot 47 = 1084 \text{ кал.}$$

Сверх того в газах заключается:

$$\frac{0,0462 + 0,475 \cdot 9}{0,804} = 0,59 \text{ м}^3 \text{ воды.}$$

Содержание тепла (не считая теплоты парообразования):

$$0,59 \cdot 60 = 35 \text{ кал.}$$

В отходящих газах содержится всего $1084 + 35 = 1119 \text{ кал}$ или:

$$\frac{1119 \cdot 100}{6010} = 18,6\% \text{ от израсходованного тепла.}$$

2) Несгоревших летучих в отходящих газах при исследовании кольцевой печи не было обнаружено.

3) Несгоревшее горючее в золе: количество золы было определено взвешиванием в $2,5 \text{ т}$.

На 1 кг угля приходится 50 г золы с 65% горючих веществ; остались неиспользованными: $0,65 \cdot 0,05 \cdot 8000 = 260 \text{ кал}$, или $\frac{260 \cdot 100}{6010} = 4,3\%$ от затраченного тепла.

4) Содержание тепла в выгруженной извести:

температура 300°C ,

количество: $200,0 \text{ т}$ кусковой извести,

$7,5 \text{ т}$ мелочи

Всего $207,5 \text{ т}$ обожженной извести.

На 1 кг затраченного угля приходится $4,07 \text{ кг}$ обожженного продукта;

последний содержит тепла: $4,07 \cdot 0,21 \cdot 300 = 252$ кал, т. е. $\frac{252 \cdot 100}{6010} = 4,2\%$ от затраченного тепла.

5) Потери через кладку и прочие неустановленные мелкие потери (определяемые как разность) — 1739 кал, что составляет: $\frac{1739 \cdot 100}{6010} = 29\%$.

Приход и распределение тепла в обследованной кольцевой печи, на основании вышеприведенных данных, сведены в нижеследующей таблице.

Тепловой баланс кольцевой печи, отнесенный к 1 кг затраченного угля:

Т а б л и ц а 18

Общая затрата тепла	кал	%	Статьи расхода тепла	кал	%
1 кг каменного угля .	6010	100	Полезный расход		
			Обжиг 6,21 кг известняка с 90,5% хорошо обожженного продукта . .	2640	43,9
			Потери:		
			Тепло в отходящих газах	1119	18,6
			Неполнота горения	—	—
			Несгоревшее горючее в золе . .	260	4,3
			Содержание тепла в готовой извести	252	4,2
			Потери через кладку и пр. : . .	1739	29,0
	6010	100		6010	100

Полученный нами коэффициент использования в 43%, разумеется, относится лишь к данной печи. Чтобы иметь возможность сопоставления работы кольцевой печи с работой печей других систем, нужно было бы иметь средние данные из возможно большего количества проведенных таким образом исследований. Однако все же следует признать, что выведенные выше цифры имеют для производства чрезвычайно большое значение, так как они содержат ряд ценных указаний для установления тех или иных недочетов в процессе обжига. Так, значительные тепловые потери в отходящих газах кольцевой печи указывают на наличие неплотных колпачков топочных отверстий, бумажных шпир или конусных затворов или же на наличие свежих трещин в стенках загрузочных отверстий камер, что служит причиной засоса воздуха в чрезмерно большом количестве. Наоборот наличие в золе несгоревших частей свидетельствует о недостатке необходимого для горения воздуха, которого может нехватать в определенных местах, например в нижней части топочных шахт, в то время как печь в целом работает даже с избытком его. Чрезмерно большие потери из-за несгоревшего горючего в золе мы наблюдаем в шахтных печах с выносными топками вследствие того, что при шуровке через решетку проваливается большое количество неуспешно сгоревшего топлива. Значительные потери в шахтных печах через стенки могут быть вызваны только неплотной кладкой, вот почему на тщательность выполнения кладки должно быть обращено особое внимание; иногда всю печь не без пользы обшивают еще железным кожухом. В кольцевой печи потери через стены и под всегда значительны, что объясняется периодичностью процесса

обжига; поэтому каждая камера после полного оборота печи сначала должна быть доведена до требуемой температуры обжига. Само собой разумеется, что эти потери могут значительно возрасти из-за неплотности самой кладки или плохой изоляции пода.

Для контроля работы печи производить такого рода испытания во время эксплуатации, разумеется, невозможно; все же следовало бы по крайней мере регулярно проверять содержание углекислоты в отходящих газах; при шахтных печах — у колошника, при кольцевых печах — у входа борова в дымовую трубу. Измерять следовало бы также и температуру отходящих газов, которая при наличии естественной тяги, осуществляемой дымовой трубой, всегда должна быть довольно значительной. Что тяга должна постоянно проверяться — понятно само собой, и в кольцевой печи такой контроль фактически почти всюду практикуется.

Основное достоинство кольцевой печи заключается в возможности получения в ней крупной кусковой извести; это последнее обстоятельство во

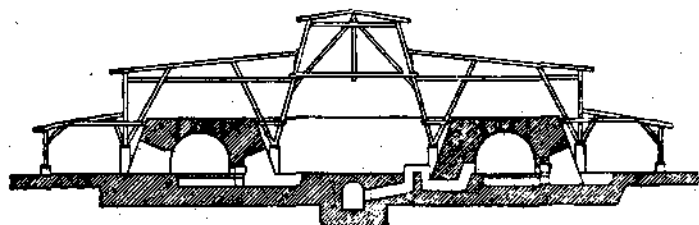


Рис. 110. Кольцевая печь со световым двором.

многих случаях имеет решающее значение как критерий для оценки качества извести, так как известь-мелочь иногда с трудом находит себе сбыт. Недостатком кольцевой печи надо признать тяжелые условия ее обслуживания и потребность значительного количества рабочей силы. Садку сырого камня в печь следует производить умело и аккуратно, так как для правильной работы печи равномерное распределение по всему сечению необходимого для горения воздуха имеет чрезвычайно важное значение. Выгрузка из печи готовой извести вследствие все еще довольно высоких температур в выгружаемой камере производится в весьма тяжелых условиях и влечет за собою поэтому высокую заработную плату. В теплотехническом отношении отрицательным моментом является то обстоятельство, что процесс обжига приходится вести всегда со значительным избытком воздуха, так как о каком-либо регулировании воздуха через открытые входы камер не может быть речи. Как уже указывалось, периодичность обжига вызывает всегда необходимость разогрева камер после каждого оборота печи до температуры обжига. Прочие тепловые потери уже подверглись более подробной оценке выше. Так как в кольцевых печах с засыпкой горючего через отверстия в сводах камер известь около этих отверстий приходит в непосредственное соприкосновение с топливом и таким образом загрязняется золой и шлаком, то в целях устранения этого недостатка кольцевые печи стали строить с колосниковыми решетками. Оборудование кольцевых печей топками или с наружной стороны их или со стороны пода на практике, себя не оправдало из-за невозможности прожечь известняк. Ввиду чрезвычайно толстых наружных стенок в кольцевых печах устройство в них достаточно

близко расположенных к камерам решеток осложнилось бы тем обстоятельством, что длина этих решеток стала бы непомерно большой и невозможной для обслуживания. По этой причине фирма Эккардт и Готоп первоначально строила печи кольцевой формы, со световым двором посредине (рис. 110). Такая конструкция позволила решетки устраивать и обслуживать с обеих сторон. Однако названная фирма ныне вернулась опять к старой форме печи, но уже подачу горючего на колосниковые решетки производит, как в обычной кольцевой печи, сверху, через ряд загрузочных отверстий (рис. 111). Каждая решетка снабжается небольшой дверкой с регулируемым задвижкой прорезом, через который можно вводить кочергу для разравнивания угля по поверхности решетки. Толки с колосниковыми решетками дают возможность сжигать также низкосортные сорта угля, которые не могли бы быть применены в кольцевых печах с непосредственной засыпкой через своды топлива.

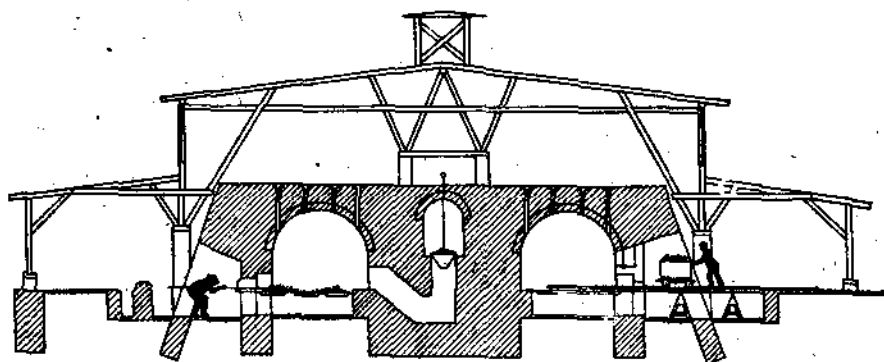


Рис. 111. Кольцевая печь с колосниковыми решетками.

Уже много лет назад были сделаны попытки применить в кольцевой печи газовое отопление. Успехом они увенчались в так называемой кольцевой камерной печи, — печи, разделенной перегородками на ряд камер, соединенных между собой так же, как и обычные кольцевые печи. Первая такая печь конструкции Мендгейма 1871 г. нашла применение в керамической промышленности и была впоследствии приспособлена также для обжига извести. В вопросе дальнейшего изучения и применения газового отопления к кольцевым печам заслуги принадлежат Эшериху, Майзеру, Мендгейму младшему и Бейеру — конструктору фирмы Эккардт и Готоп. Во всех этих печах газ поступал в кольцевой канал, сооруженный вокруг печи, а оттуда — в ответвления с запорными клапанами; в камеры газ подводился либо сверху либо снизу — из-под печного пода. Для распределения газов по всему сечению печи применялись переносные продырявленные шамотные трубки, которые вводились через топочные шахты и переносились соответственно продвижению огня. Некоторые неудобства, связанные с применением таких трубок, были затем устранены Бейером, заменившим переносные трубки неподвижными шамотными горелками. В Германии кольцевые газовые печи дальнейшего распространения однако не получили ввиду высокой стоимости их сооружения и эксплуатации. Газовое отопление к тому же мало пригодно для кольцевых печей вследствие невозможности регулировки количества необходимого для горения воздуха и ввиду того, что всякая кольцевая печь всегда работает со значительным избытком воздуха.

Необходимо еще отметить, что иногда в кольцевых печах применяется также и жидкое топливо. Автор имел возможность во время войны видеть кольцевую печь для обжига шамотного кирпича, работавшую на жидком топливе. Нефть каплями подавалась в топочные отверстия чрезвычайно несложным аппаратом. Топка эта работала очень хорошо, однако применяется ли она также в Германии и в известкобжигательных кольцевых печах, — автору неизвестно.

Следует упомянуть еще о попытках применения пылеугольных топок для кольцевых печей; удовлетворительного разрешения этот вопрос все же до сих пор еще не получил.

д) Прочие системы известкобжигательных печей. Из прочих систем известковых печей следует отметить еще разработанную Бокком тоннельную печь, которая после ряда конструктивных усовершенствований нашла довольно широкое применение в керамической промышленности, а в последнее время ее пытались также использовать и для обжига извести. В Германии применение тоннельной печи для указанной цели дальше опытов пока еще не пошло, тогда как в Америке, по имеющимся сведениям, внедрение этой печи в известковую промышленность является уже как бы вопросом ближайшего времени. Тоннельная печь представляет собою прямой, перекрытый сводом канал длиной в 60—100 м, по которому обжигаемый материал продвигается на специальных, выложенных шамотными плитами вагонетках. С обеих сторон печи, примерно в середине, расположены топки, которые могут быть колосниковыми, полугазовыми или чисто газовыми. Продукты горения движутся навстречу обжигаемому материалу, причем необходимый для горения воздух, поступающий в печь со стороны выхода готового товара, сильно подогревается горячим обожженным материалом. В теплотехническом отношении печь эта отличается весьма высокими качествами. К дальнейшим достоинствам ее следует отнести возможность широкой регулировки процесса обжига, а также продолжительность службы кладки, благодаря отсутствию непосредственного соприкосновения ее с раскаленным материалом и кроме того благодаря возможности обжига крупной кусковой извести. К недостаткам необходимо отнести высокую стоимость ее сооружения; кроме того применяемые ныне вагонетки еще мало отвечают по своей конструкции особенностям производства извести.

В отношении обжига извести во вращающихся печах см. гл. VIII. Вращающаяся печь применима для обжига известковой мелочи или лугового известняка. Хотя вращающаяся печь неоднократно применялась и притом не безуспешно для обжига извести, однако ввиду ее явной неэкономичности, связанной со значительными капитальными затратами и высокими издержками производства, от нее каждый раз приходилось отказываться.

Безуспешными оказались также попытки обжигать известь электричеством. Фирма Бергман провела ряд таких испытаний с вращающейся печью в Эшенлоэ около Гармиша; по ее отзыву, обжиг извести электричеством в настоящих условиях экономически нецелесообразен. Решение этой проблемы имело бы громадное значение для таких бедных углем, но богатых гидроэнергией стран, как Италия.

Производственный процесс на всяком известковом заводе начинается собственно с карьерных разработок, подробно описанных нами в главе II. Для внутризаводской транспортировки известняка и угля применяются при установке кольцевых печей подвесные рельсовые пути. При установке шахтных печей и невозможности непосредственной доставки сырья из карьера на уро-

вень колошника, подача известняка и угля производится наклонными или шахтными подъемниками, элеваторами и т. п. При автоматических шахтных печах сооружаются над колошником бункера для угля и известняка. При выработке жирной (белой) извести производственный процесс в подавляющем большинстве случаев заканчивается обжигом ввиду преобладающего спроса на кусковую известь.

Для передачи готового продукта на склад или погрузки непосредственно в железнодорожные вагоны применяются самые разнообразные подъемно-транспортные устройства в зависимости от места и расположения завода. При автоматической шахтной печи известь передается из-под выгрузочного аппарата при помощи сотрясательных, ленточных и тому подобных транспортеров.

Ввиду того что в известковом производстве главнейшую статью себестоимости составляет топливо, знание важнейших свойств рыночных сортов угля имеет для производителя большое значение. При покупке угля следовало бы исходить только из теплотворной способности его и приобретать только такой, который по калорийности окажется более дешевым франко-завод при условии конечно, что уголь этот пригоден для данной системы печей.

В нижеследующей таблице сведены данные о содержании воды, золы и теплотворной способности различных видов и сортов угля в Германии.

Таблица 19

	Вода в %	Зола в %	Теплотворная способность в кал
Саксонский бурый уголь	42—56	2—10	2000—3200
Лаузицкий	46—58	2—7	1800—2500
Саксонский брикетированный бурый уголь	11—18	7—11	4500—5300
Лаузицкий брикетирован. бурый уголь	11—17	4—8	4300—5000
Богемский лигнит	35—45	3—10	3200—3800
бурый уголь II	18—36	2—8	4000—5600
I	5—18	3—10	5500—7200
Саксонский уголь	6—15	2—8	5900—7400
Силезский	2—6	2—8	6600—7600
Вестфальский уголь	1—4	2—8	7300—8800
Саарский	1—4	3—10	6500—7600
Английский	1—9	2—10	6800—8200

Капитальные затраты по постройке и оборудованию известкового завода складываются из следующих статей: покупной цены карьера, стоимости за-

водских зданий, стоимости печных сооружений, стоимости производственных зданий, стоимости железнодорожного подъездного пути.

Себестоимость складывается из амортизации карьера, заработной платы по добыче камня, стоимости энергии, стоимости взрывчатых материалов, транспортных расходов, стоимости текущего ремонта, стоимости топлива, заработной платы по заводу, текущего ремонта печей и пр., стоимости смазочных и обтирочных материалов, амортизации заводских зданий и оборудования, жалования служащим, торговых расходов, налогов, расходов по социальному страхованию и пр.

Установить какие-либо цифровые выражения по этим статьям совершенно невозможно, так как они зависят от совокупности самых разнообразных местных условий. При составлении калькуляции не следует упускать из виду, что получаемая при обжиге известь состоит не только из крупных кусков, но и из мелочи, неизбежной даже при самом умелом ведении обжига и являющейся значительной потерей, так как она на рынке расценивается чрезвычайно низко. В шахтных печах по пересыпному способу, а равно и в кольцевых печах эта мелочь еще к тому же смешана с золой угля. Выход известковой мелочи зависит от системы печей. В среднем можно принять следующие цифры (в процентах):

для шахтной печи по пересыпному способу	18
для рюдерсдорфской печи	10
для шахтной печи с газовым отоплением	8
для кольцевой печи	9

Получаемая при обжиге чистого известкового камня жирная (белая) известь представляет собою более или менее белый твердый материал, удельный вес которого, в зависимости от температуры и продолжительности обжига, колеблется между 3,08 и 3,5. Продукт обладает исключительно высокой огнестойкостью и плавится лишь в вольтовой дуге, т. е. при температуре свыше 3000°С. Объемный вес обожженной известки зависит также от температуры обжига, кроме того еще от состава и свойств известкового камня, и колеблется в довольно широких пределах. Бухгартцем установлены следующие объемные веса для измельченной до величины грецкого ореха:

силезской известки	85,8—123,0 кг/га
вестфальской известки	74,8—107,0 "
гарцской	82,5—119,0 "
рейнской	71,3—95,3 "
ганноверской	73,3—94,6 "

Отсюда получаются средние цифры 77—107 кг/га.

Для некоторых назначений, например для нужд сельского хозяйства, требуется также молодая известь. Описанные в соответствующих главах настоящей книги машины для перемола гипса и портланд-цемента применяются также в известковой промышленности. В первую очередь нужно указать на дезинтеграторы, крестобойные мельницы, мельницы „Орион“, бесситные шаровые мельницы с воздушными сепараторами и трубчатые мельницы различных конструкций, кольцевые мельницы „Максекон“ с воздушными же сепараторами. В известковой промышленности Америки нашла также применение мельница „Реймонд“ (рис. 113), представляющая собой усовершенствованный тип мельницы Гриффин, одно время широко применявшейся в цементной промышленности. Все эти машины при размоле такого мягкого материала, как известь, обладают конечно значительно

большой производительностью, чем при размоле твердого цементного клинкера (см. гл. VIII).

в) Гашение извести

Обожженная известь (кипелка) перед применением в кладку подвергается гашению, т. е. переводится с помощью воды в гидрат окиси кальция: в $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Образование гидрата окиси кальция, т. е. гашеной извести, сопровождается выделением значительного количества тепла; весь процесс

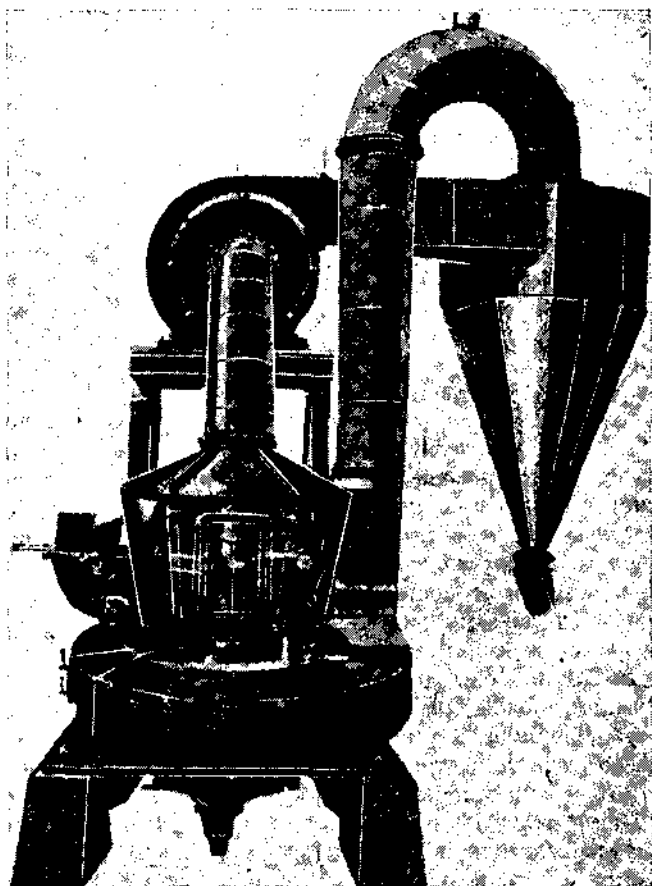


Рис. 113. Мельница „Реймонд“.

может быть выражен следующей термо химической формулой: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + 15176 \text{ кал.}$ В то время как Косман полагал, что кроме моногидрата, означенного в формуле, происходит еще образование полу-гидратов, Наккен доказал, что здесь имеет место лишь образование моно-гидрата, содержащего кругло 32% химически связанной воды.

Существуют два способа гашения извести — сухой и мокрый. В первом случае к извести прибавляют ровно столько воды, сколько необходимо для образования гидрата окиси. Продукт получается в виде тонкого, более или

менее белого цвета неосязаемого порошка с удельным весом 2,1. При гашении по мокрому способу прибавляется избыточное количество воды, вследствие чего получается жидкая тестообразная масса, а при еще большем количестве воды — известковое молоко, представляющее собою массу находящихся в воде во взвешенном состоянии частиц (мицеллей). С гашением окиси кальция по мокрому способу связано значительное увеличение объема, доходящего иногда до трехкратного размера. Явления, сопровождающие переход окиси кальция в гидрат окиси кальция, недостаточно полно выражены химической формулой, так как она не отображает происходящих в структуре известки изменений. Наиболее существенное из этих изменений заключается главным образом в том, что образовавшееся тело обладает большей дисперсностью, чем окись кальция. Эта повышенная дисперсность проявляется прежде всего в специфически коллоидально-химическом явлении набухания частиц гидрата окиси.

На практике жирная (белая) известь гасится главным образом по мокрому способу, но и сухогашеная известь находит применение как для штукатурных работ, так и в некоторых других отраслях промышленности. Процесс гашения протекает тем быстрее и тем совершеннее:

- 1) чем известь чище, т. е. чем выше содержание в ней окиси кальция,
- 2) чем свежее и чем меньше хранилась известь,
- 3) чем быстрее обжигалась и чем меньше при этом превышалась необходимая для надлежащего обжига температура,
- 4) чем чище была для гашения вода, т. е. чем меньше она содержала растворимых солей,
- 5) чем выше была температура применявшейся для гашения воды,
- 6) чем выше было давление, при котором происходило гашение.

При гашении по сухому способу вручную воду надо брать в количестве, несколько превышающем теоретически необходимое, имея в виду некоторую потерю ее вследствие испарения; необходимо следить за тем, чтобы тепло, выделяемое при реакции и составляющее 277 кал на 1 кг чистой окиси кальция, не терялось, так как оно способствует гашению.

Порошок, получаемый при гашении вручную, содержит также твердые частицы пережженной, ошлакованной и недожженной извести вместе с угольным шлаком, золой, шамотом. Эти примеси делают известь для некоторых целей, например для штукатурных работ, совершенно непригодной, так как пережженные частицы извести гасятся лишь значительно позже и вызывают этим самым непостоянство объема. Поэтому гашеная известь перед применением должна просеиваться для выделения из нее крупных частиц и избежания явлений непостоянства объема.

В остальном следует руководствоваться нижеследующей выдержкой из инструкции Союза германских известковых заводов.

На заводах, вырабатывающих пушонку из мелкой кусковой извести для штукатурных работ, кипелка по выходе из печи грузится лопатами в вагоны на $\frac{2}{3}$ их емкости и подвозится к расположенным вблизи, в земле, бетонным силосам. Здесь в кузова тележек доверху наливается вода, и все содержимое их кузовов быстро вручную перелопачивается, затем материалу дают осесть в течение нескольких секунд. После этого находящаяся поверх извести вода сливается в устроенные рядом баки, а известь выгружается в бетонные силоса. Операции эти продолжают в том же порядке до тех пор, пока силоса не будут заполнены известью. Для гашения применяется вода слитая в баки, пополняемые время от времени свежей водой. По истечении 24 час. совершенно сухая пушонка шнеком из-под силосов

и элеватором подается на шаровую мельницу с воздушным сепаратором для перемола. Получаемый продукт обладает полным постоянством объема.

Вместо мало рационального сухого способа гашения вручную на более крупных известковых заводах применяется механическое гашение аппаратами самой разнообразной конструкции, из которых наиболее простым является гасильный шнек. Он представляет собой длинный, закрытый со всех сторон лоток, внутри которого вращается шнек. Предварительно измельченная известь поступает с одного конца лотка через имеющуюся здесь воронку, а вода в точно отмеренном количестве вводится либо сбоку в нескольких местах либо через полый вал шнека. Шнек направляет известь в силос, где она оставляется на некоторое время для догашения. Из силоса материал соответствующими транспортерами направляется в аппаратуру для окончательной переработки.

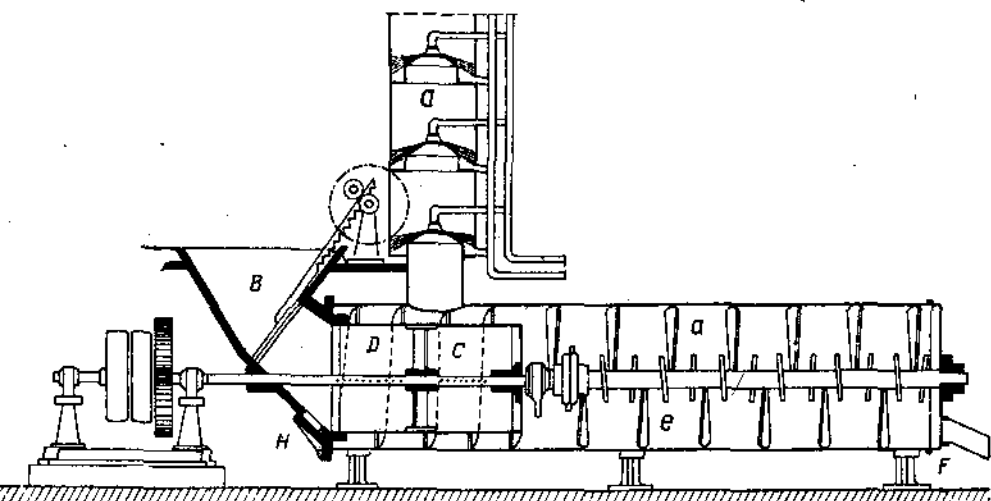


Рис. 114. Известково-гасильный аппарат Шульцгесса.

Подобные гасильные шнеки снабжаются или мешальными или транспортирующими материал крыльями. В американском гасильном аппарате „Clyde“ лоток заменен плоским цилиндрическим сосудом, внутри которого вращается колесо с лопастями. Вода подается на загруженную в сосуд известь в установленном количестве через перфорированную трубу. Аппарат включен в кожух во избежание потерь тепла, выделяемого при гашении извести. Выгрузка пушонки производится в центре аппарата, откуда она направляется на сито. Аппарат „Clyde“ диаметром в 3 м принимает 4 т извести, продолжительность гашения, как указывают, составляет 16 мин.

Далее приводим еще описание одного американского гасильного аппарата конструкции Тепфера. Он состоит из двух наклонно рядом расположенных барабанов, вращающихся в одном общем закрытом корытообразном сосуде. Дробленая известь подается отвешенными порциями через загрузочную воронку в барабаны, которые затем закрываются крышками; вода подводится в каждый барабан по трубам из особого мерника. Готовая пушонка устроенным в днище корыта шнеком подается на сито для отсева тонкого продукта, крупка же отводится с другого конца корыта. Над аппаратом сооружается пылевая камера с фильтрами,

а водяной пар, образующийся при гашении, отсасывается дымовой трубой.

Большим применением пользуется гасильный аппарат Шультеггеса (рис. 114). Он состоит из длинного железного цилиндра, внутри которого вращается вал с насаженными на него лопастями для перемешивания и передвижения материала; на конце вала со стороны подачи материала установлено цилиндрическое сито. Известь в дробленном виде поступает через загрузочную воронку на цилиндрическое сито, где она увлажняется водой в потребном количестве. Образовавшаяся пушонка проваливается сквозь сито и затем поступает в цилиндр, заполненный паром от гашения извести, тщательно перемешивается там лопастями и медленно направляется к выпуску, где она пропускается еще сквозь одно мелкое сито. Цилиндр снабжается рубашкой для подогрева его паром, чем обеспечивается получение совершенно сухой пушонки. Подаваемая через вытяжную трубу вода падает каскадом

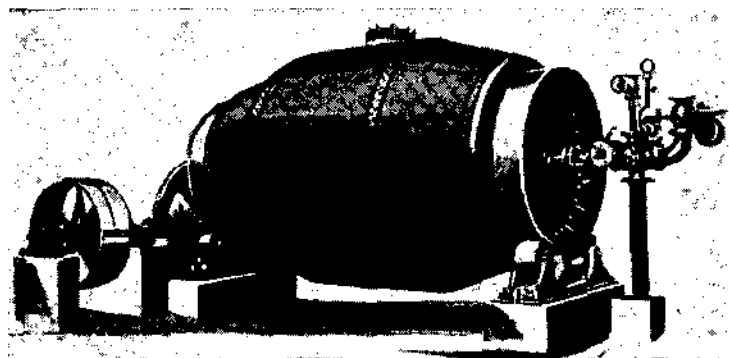


Рис. 115. Гасильный барабан.

и, увлекая с собой известковую пыль, образует теплое известковое молоко используемое для гашения. Уносимые трубой водяные пары охлаждаются в конденсаторе в воду, которая и служит для осаждения известковой пыли в трубе. При чистой, не чрезмерно сильно обожженной (белой) извести аппарат Шультеггеса при непрерывном производстве дает известь, отличающуюся полным постоянством объема и вполне пригодную также для различных промышленных целей, — для производства хлорной извести, соды, мыла, масел и красок.

При производстве силикатного кирпича видное место занимают гасильные барабаны, работающие по принципу вышеописанного аппарата Тепфера; первый патент на такой барабан был взят Ольшевским еще в 1900 г. Гасильные барабаны (рис. 115) представляют собой вращающиеся барабаны с герметически закрываемыми люками. Ввиду того что при гашении извести давление может доходить до 8 ат, такие барабаны необходимо подвергать предварительно гидравлическому испытанию давлением в 15 ат и кроме того снабжать предохранительным клапаном и манометром (рис. 116). На заводах силикатного кирпича вместе с известью в гасильный барабан загружается также некоторое заранее установленное количество песка, причем остальное количество, необходимое для получения пригодной к прессованию массы, добавляется по окончании процесса гашения. Таким образом барабан является одновременно также и аппаратом для перемешивания пред-

редукционный клапан. Перед каждой загрузкой гасильного барабана все предохранительные приборы должны тщательно продуваться паром или промываться водой.

Ввиду того что по вышеприведенной инструкции для барабанов II группы рабочее давление в 10 ат необязательно, для них сохраняются прежние 8 ат при условии однако, чтобы вместе с получением разрешения на установку было дано обязательство в том, что данный барабан предназначается исключительно для гасильно-смесительного процесса.

Для приготовления известково-песчаной массы для силикатного кирпича фирма Брюк, Кречель и Ко в Оснабрюке строит неподвижный аппарат с винтообразными крыльями, снабженный паровой рубашкой и двумя люками для загрузки и выгрузки материала. Известь загружается вместе с потребным для смеси количеством песка, причем кроме воды в аппарат подается еще и свежий пар. Гашение производится либо под давлением либо спуская образующийся в процессе гашения пар.

Кроме барабанного способа при производстве силикатного кирпича применяется еще так называемый силосный способ. Песок и молотая известь автоматическим дозирующим аппаратом подаются в мешально-гасильный шнек, которым вся масса направляется в силоса, где происходит окончательное гашение. С помощью соответствующих транспортеров масса передается на бегуны, которыми она с добавкой того или иного количества воды перерабатывается в пригодное для прессовки состояние.

Запатентованная Нато установка для гашения извести работает по следующему принципу. Обожженная известь гасится либо вручную по способу, описанному ранее, либо в гасильном шнеке и направляется затем на воздушный сепаратор. Отсюда отвеянная мука транспортируется в силос для готового продукта, а крупка — в особый гасильный бункер, где она еще раз увлажняется; из бункера крупка направляется в гасильный барабан, где она, подвергаясь действию горячих топочных газов, просасываемых из сооруженной впереди барабана топки особым вентилятором, распадается и превращается в порошок. Из барабана материал с помощью шнека и элеватора опять подается на сепаратор, которым отвеивается тонкая мука и отделяется крупка, причем мука направляется в тот же силос для готового продукта. Установка снабжена электрическим фильтром для обеспыливания. Производительность ее по имеющимся сведениям составляет до 200 т извести при полном постоянстве ее объема. Расход энергии по тем же сведениям на 70% меньше, чем при установке мельницы для перемола гашеной извести.

При крупных масштабах производства пушонки для строительных надобностей наиболее целесообразными оказались установки, оборудованные последними новейшими мельницами с сепараторами. Достаточно при таких установках подвергнуть кипелку предварительному гашению в гасильном шнеке или мешалке и последующему более или менее продолжительному вылеживанию в силосе в целях окончательного гашения перед перемолом на мельницах.

Трудно сказать, является ли способ Нато более выгодным, чем вышеописанная установка фирмы Брюк и Ко, так как практических данных о работе по способу Нато пока еще не имеется (рис. 117). Безусловно рекомендовал себя целый ряд установок, отличающихся одна от другой лишь аппаратурой для предварительного гашения и размол и работающих по нижеследующей схеме, заимствованной нами из проспекта фирмы Грюбера (Берлин) и применимой также для производства молотой негашеной извести.

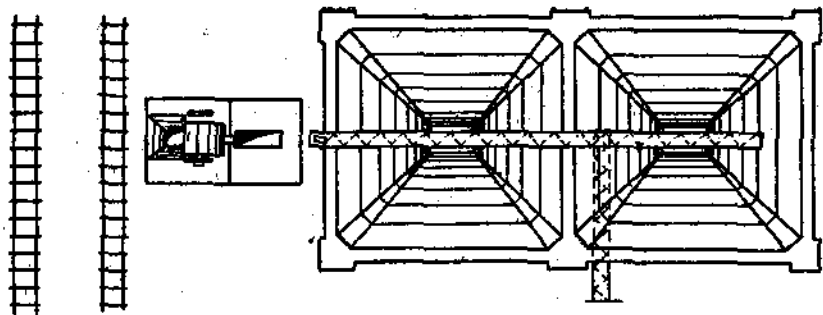
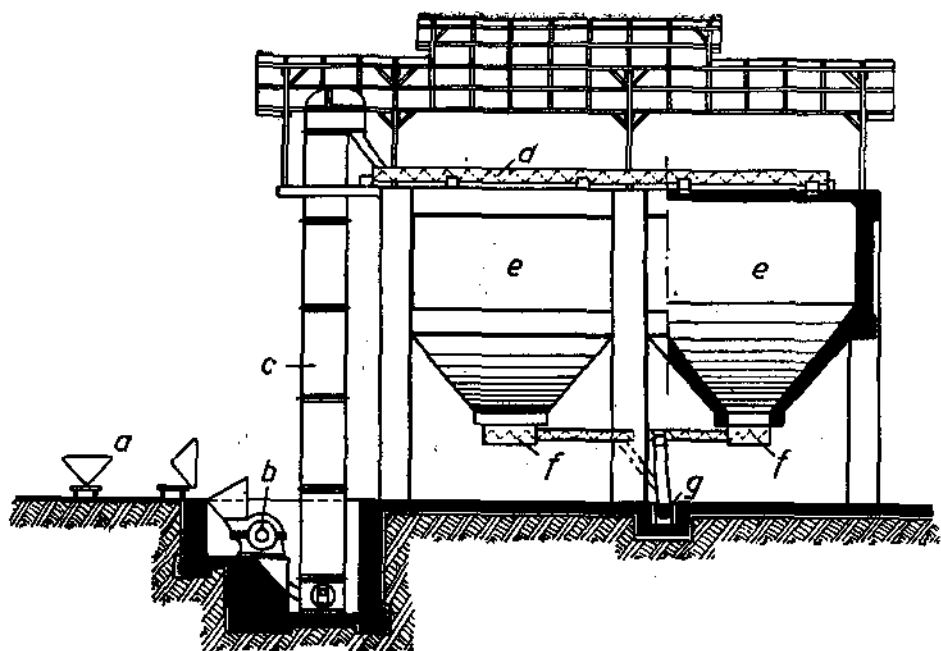


Рис. 117. Установка для гашения извести: *a*—подача извести, *b*—молотковая дробилка, *c*—элеватор, *d*—шнecк с увлажнителем, *e*—гасильные силоса, *f*—разгрузочные шнеки, *g*—шнecк для подачи материала в мельницу.

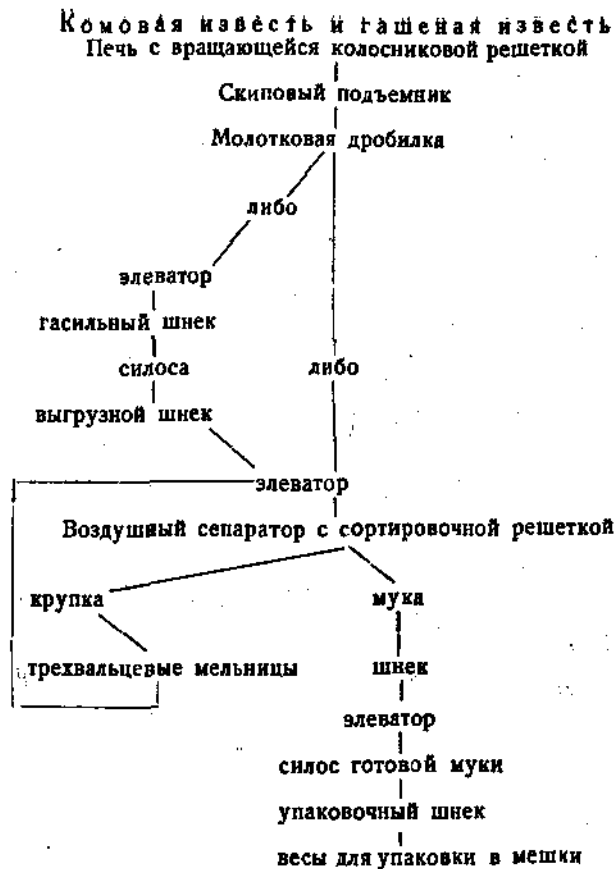


Рис. 118 представляет общую компановку известкового завода в Рюдерсдорфе, вырабатывающего как жирную (белую), так и гидравлическую доломитовую известь по следующей схеме. Известь, автоматически выгружаемая из шахты печей, подается скиповым транспортером на качающуюся решетку *e*, отсев которой в виде кусков размером свыше 100 мм направляется дальше в силос *f*, из которого кусковая известь отгружается для продажи. Более мелкая известь, прошедшая через решетку, подается на молотковую дробилку и затем в уже измельченном виде элеватором — в бетонные силоса *h*, где она подвергается гашению путем увлажнения при помощи особого разбрызгивателя. По надлежном вылеживании гашеная известь с помощью шнеков и элеватора передается в мельничное отделение *i* на воздушный сепаратор. Из сепаратора порошок шнеком *k* и элеватором транспортируется в силоса *m*, крупка же направляется прямо в трехвалцовую мельницу и затем в размолотом виде подается на тот же сепаратор. Этот цикл продолжается до тех пор, пока весь материал не будет измолот в порошок и тем же шнеком не будет полностью передан на силоса. По охлаждении продукт поступает на автоматические весы, упаковывается в мешки и с площадки грузится в железнодорожные вагоны. Все соответствующие цеха завода оборудованы обеспыливающим устройством, благодаря чему завод работает вполне беспыльно. На всем заводе, выпускающем в сутки 100 т пушонки, число рабочих, включая также обслуживание

бункеров и печей, составляет 5—7 человек. Первоначально вырабатывалась пушонка с остатком в 40% на сите в 4900 отверстий на 1 см², а впослед-

Разрез по А-В

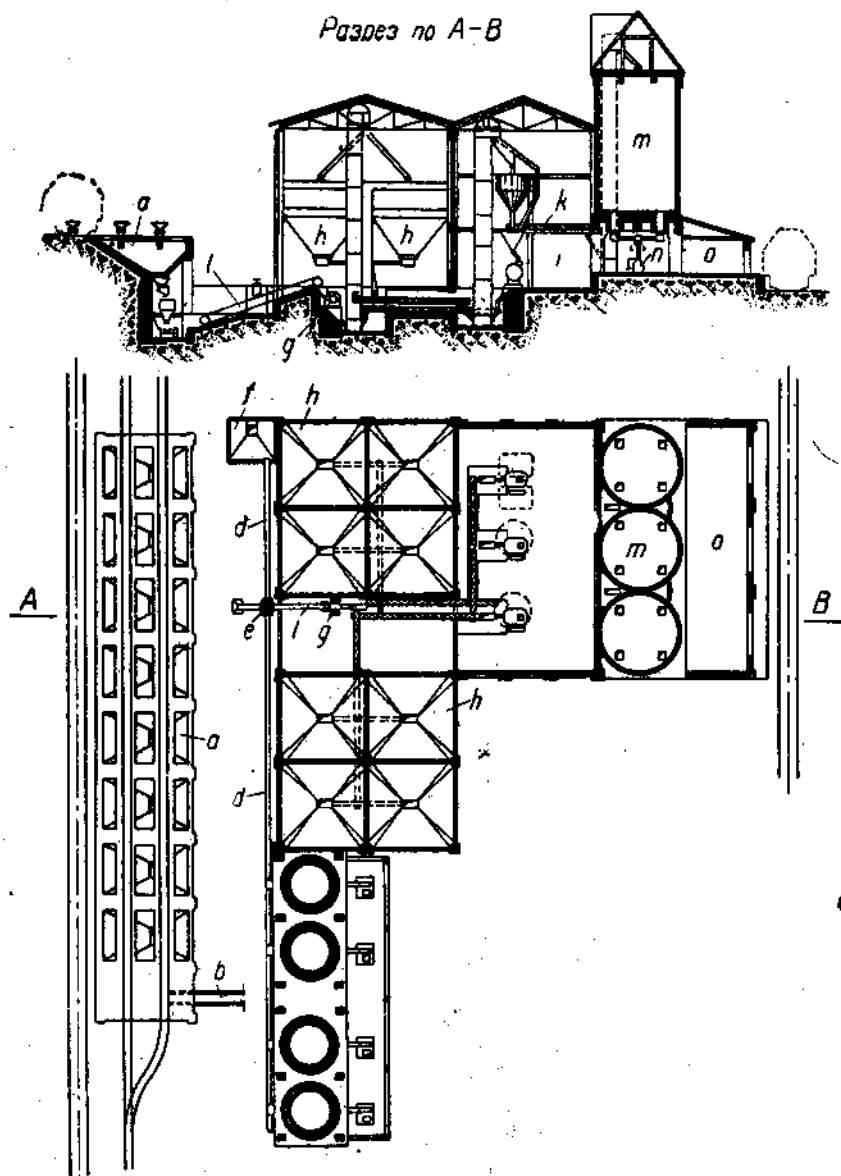


Рис. 118. Общий вид известкового завода: *a* — бункера для известкового камня и топлива, *b* — элеватор, *c* — печное отделение, *d* — скиповый транспортер, *e* — сортировочная решетка, *f* — силос для кусковой извести, *g* — молотковая дробилка, *h* — гасильные силоса, *i* — мельничное отделение, *k* — шнек для муки, *l* — скиповый транспортер, *m* — запасные силоса, *n* — укупорка, *o* — погрузочная платформа, *AB* — разрез.

ствии — с некоторым большим остатком, так как и при последнем непостоянства объема не наблюдалось. Потребность в энергии для всего завода

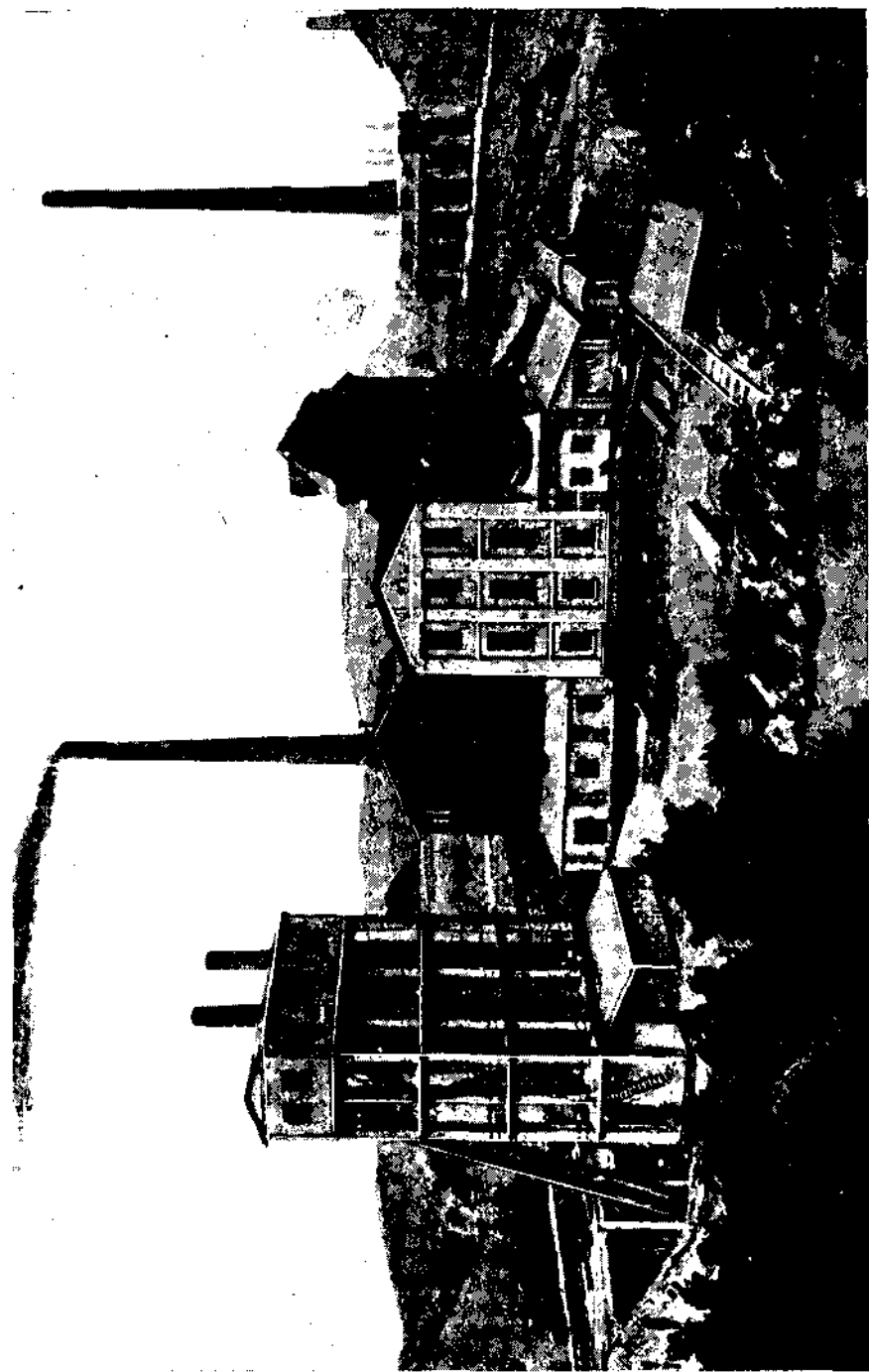


Рис. 119. Известковый завод в Рюдерсдорфе.

колеблется между 50 и 70 л. с. На данном заводе гашение извести производится в силосах; в последнее время, как показывает приведенная выше схема производства, перед силосами ставят еще шнек предварительного гашения; во всем же остальном оборудование остается без изменений.

Аналогично работает известковый завод, оборудованный фирмой Манштедт в Тройсдорфе около Кельна (рис. 120). Обжиг известкового камня производится в автоматических печах системы „Манштедт“ с использованием получающейся в карьере мелочи. Обожженная известь из-под печей подается элеватором в запасный бункер, из которого дозирующим питателем направляется в гасильный шнек, а оттуда в силос; соответствующим выгрузным устройством гашеная известь транспортируется из-под силоса в мель-

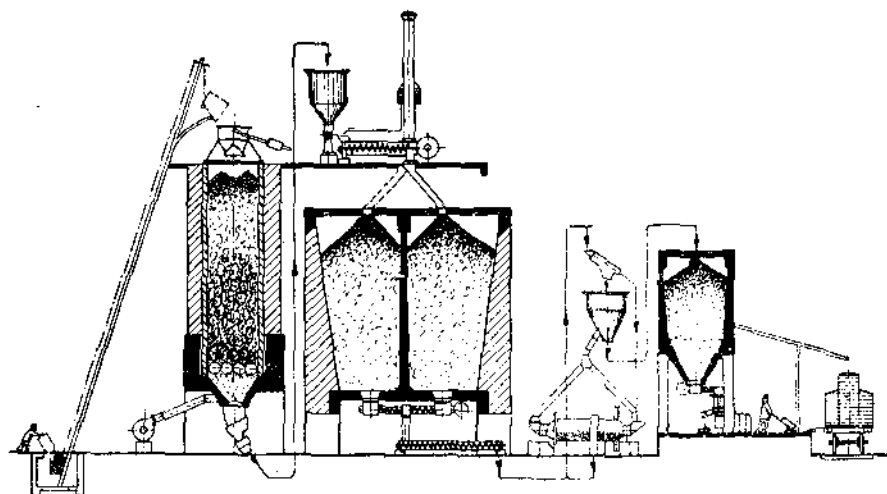


Рис. 120. Известковый завод фирмы Манштедт.

ничное отделение, где она предварительно пропускается через сортировочную решетку, с которой крупные куски прямо поступают в мельницу; мелочь же, прошедшая через решетку, идет сперва на сепаратор для отведения тонкого порошка. Манштедтская мельница, применяемая здесь, представляет собой двухкамерную трубчатую мельницу, одна камера которой предназначена для предварительного грубого помола, а другая — для окончательного тонкого. В первой из них крупные куски перемалываются в крупку, направляемую вместе с выходящим из камеры для тонкого помола материалом в сепаратор; последним крупка направляется обратно в мельницу, т. е. в камеру тонкого помола, а готовый порошок — в запасный силос для дальнейших операций — упаковки и погрузки в вагоны.

Фирма Пфейфер в Кайзерслаутерне, одна из первых занявшаяся оборудованием известковых заводов и имевшая большие заслуги в деле внедрения и усовершенствования воздушного сепаратора, применяет для гашения извести закрытое корыто, снабженное крыльями для перемешивания материала, а для размолва — тихоходную бесситную мельницу своей системы с сепаратором. В остальном установка фирмы Пфейфера ничем не отличается от описанных выше.

Вышесказанное в одинаковой степени относится также к установкам фирмы Крупп-Грузонверк, оборудованными передвижными гасильными аппара-

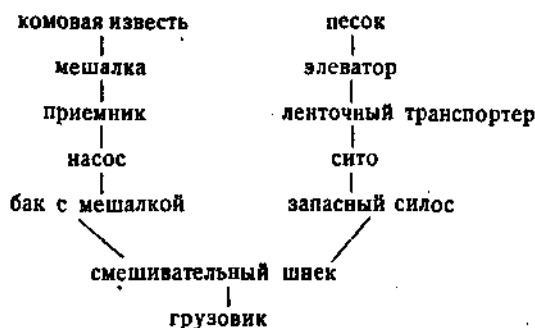
тами. Каждый такой аппарат обслуживает четыре силоса и состоит из железного корыта с мешалкой. Особым расположением сепаратора и трубчатой мельницы можно отвеянную сепаратором муку, а также порошок из крупки либо транспортировать в отдельные силоса, либо перемешивать их в одном общем силосе.

Сухогашеная воздушная известь применяется между прочим для особо тонких штукатурных и отделочных работ. Для последних применяются смеси из пушонки, некоторого небольшого количества портланд-цемента, минеральных красок и кварцевого песка различного гранулометрического состава. Вместо минеральных красок применяют также муку из ярко окрашенных каменных пород и вместо кварцевого песка — песок, получаемый из твердых пород путем измельчения. Заводское производство такого вяжущего материала сводится поэтому главным образом к перемешиванию его компонентов.

Большей частью однако жирная (белая) известь гасится по мокрому способу, а именно:

Творильный ящик изготавливается обычно из фугованных досок толщиной 2,5 см, длиной в 3—4 м, шириной 2—3 м и высотой 30—40 см. По середине одной из узких сторон творильного ящика имеется отверстие шириною 30—35 см, которое снабжается деревянной задвижкой; перед этим отверстием устанавливается сито, и весь ящик узкой стороной ставится у самого края творильной ямы с небольшим наклоном в сторону последней. Глубина творильной ямы делается обычно 1,5—2 м, а площадь основания примерно 10—15 м². При твердом устойчивом грунте и при непродолжительности пользования творильной ямой можно не обшивать дно и стенки ее досками и не класть их из кирпича; но во избежание несчастных случаев необходимо предусматривать ограду около ямы. Для поливки служит лейка; однако целесообразнее пользоваться соединенным с водопроводом рукавом. Во время гашения известь перемешивается длинным веслом с широкой планкой на его конце. Во всем прочем поступают, как указано раньше. Для спуска известкового молока открывают задвижку, наблюдая за тем, чтобы молоко свободно стекало в яму, не касаясь при этом стенок ямы, так как при отсутствии обшивки или каменной кладки это привело бы к загрязнению раствора. Поэтому рекомендуется забрать досками хотя одну эту стенку творильной ямы. Если по тем или иным соображениям необходимо сохранить загашенное известковое тесто на продолжительное время в яме, то его во избежание образования углекислой извести покрывают слоем песка толщиной 20—30 см. Качество гашеной жирной извести, как правило, тем выше, чем дольше она выдерживается в яме. Древние римляне брали для своих строительных работ известь по истечении 3 лет после ее гашения; в средние века часто применяли в дело известь, загашенную предшествовавшим поколением.

Заводы по изготовлению известкового раствора, сооружаемые в крупных городах, снабжаются механическими мешалками для гашения; известковое тесто особыми каналами отводится в каменные приемники, количество которых устанавливается так, чтобы всегда можно было иметь достаточно выдержанное известковое тесто в нужном для строительства размере. Образовывающуюся в приемниках поверх теста воду надо спускать. Сгущенное известковое тесто с помощью шнеков или насосов подается в мешальный шнек, где оно смешивается с потребным количеством песка. Рабочая схема установки для приготовления раствора принимает следующий вид:



При гашении по мокрому способу жирная (белая) известь в зависимости от того или иного сырья дает чрезвычайно разнообразный выход. По данным Бухгарта, исследовавшего германские извести, 5 кг кусковой извести дают:

силезская известь	9,3—13,95 л известк. теста		
вестфальская известь	11,4—14,4 .	:	:
гарцская известь	14,1—14,4 .	:	:
рейнская известь	14,0—16,2 .	:	:
ганноверская известь	12,8—14,0 .	:	:

Что касается песка, то обычно для растворов применяют кварцевый песок, по возможности чистый, не слишком крупнозернистый и не чересчур мелкозернистый. Для обычных растворов на кладку лучше всего применять песок средней крупности зерен. Согласно исследованиям Шарлоттенбургской городской технической лаборатории хорошего качества песок для известковых растворов должен удовлетворять следующим требованиям: по меньшей мере 75% его количества должно состоять из зерен величиною 0,2—2 мм, в том числе не менее 25% величиною 0,6—2 мм; из остального количества допустимо не более 10% зерен величиною 2—7 мм, содержание отмучиваемых примесей не должно превышать 2%. Если поэтому песок содержит большее количество органических или глинистых примесей, то его до применения необходимо подвергнуть промывке. Для промывки глинистого песка существуют различные аппараты, из которых более подробно мы опишем здесь пескомойку „Эксельсиор“ фирмы „Эксельсиор“ в Штутгарте.

Пескомойка (рис. 121 и 122) состоит из двух отделений. Первое, имеющее форму корыта (резервуар для воды), снабжается вращающимся валом с закрепленными на нем крестовинами, которыми глинистый песок перемешивается, а глинистые примеси вследствие этого отмучиваются. Второе отделение машины (ступенчатая мойка) также представляет собой корыто, внутри которого вращается вал с некоторым числом насаженных на него колес с черпаками. Все корыто разделено по длине перегородками на четыре камеры, каждая из которых снабжена одним колесом с черпаками. Перегородки между камерами делаютя со стороны ввода постепенно выше с целью каскадного перепада воды в мойке, чем предотвращается обратный поток грязной воды. Песок и вода идут в аппарате навстречу друг другу по принципу противотока.

Расход воды в зависимости от степени загрязнения песка составляет 1—2 м³ на 1 м³ песка. Вода подводится открытым желобом, грязная же вода, если это необходимо, отводится в отстойники и по осаждении примесей вновь употребляется в дело. В действие эти пескомойки приводятся

или электромотором или же каким-либо иным двигателем. Потребная сила для привода самой малой пескомойки с часовой производительностью 1 м^3 составляет $\frac{1}{2} \text{ л. с.}$, а для самой большой, производительностью $12-15 \text{ м}^3$,

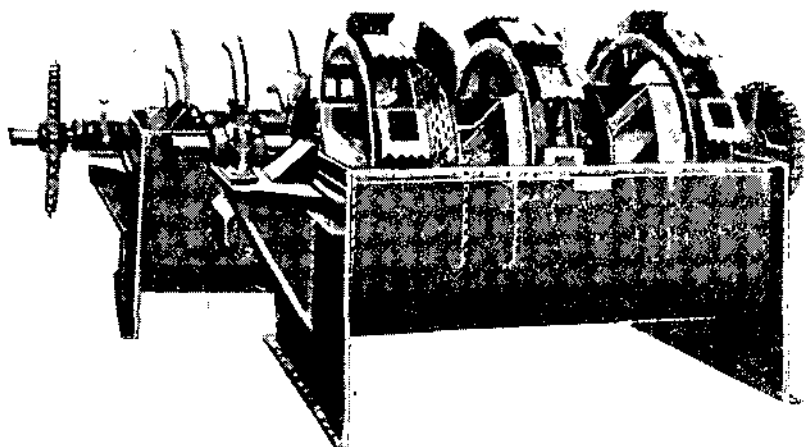


Рис. 121. Пескомойка.

12 л. с. Для автоматических пескомоек, в которых кроме загрузки песка в загрузочную воронку весь процесс вплоть до погрузки в вагонетки ме-

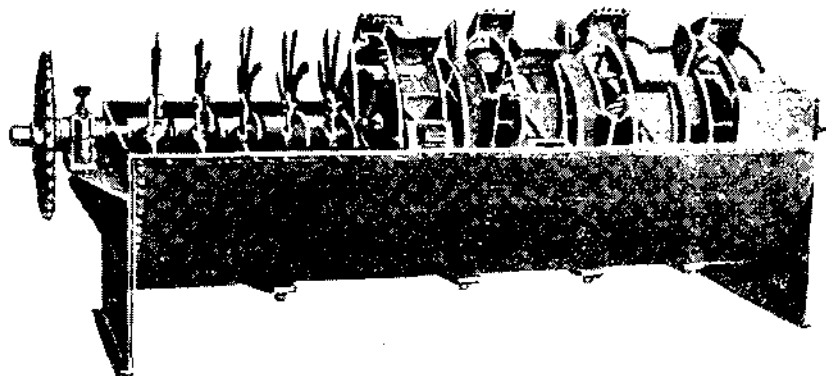


Рис. 122. Пескомойка „Эксцельсиор“.

ханизирован, потребная для привода сила примерно на 50% выше. Для нормальной работы таких установок кроме операций по подаче и отвозке материала никакого другого рабочего персонала не требуется, так как смазка может быть поручена тому же персоналу по подаче и отгрузке

материала. Если песок еще нужно сортировать, то устанавливается сортировочный барабан — сейчас же после мойки.

Там, где кварцевого песка нет, применяются пески различных других горных пород, например превратившийся от выветривания в песок — гранит или доломит. Нередко песок изготавливается искусственно, путем измельчения различных пород, как например в Мюнхене из дилов альпского щебня Швабо-Баварского плоскогорья, вальцовыми дробилками. Также могут быть применены и искусственные материалы, например гранулированный шлак доменных печей. Последний особенно пригоден для этой цели, так как он вследствие его гидравлических свойств вступает в реакцию с известью и образует очень твердое камневидное тело.

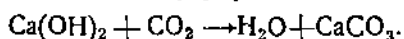
Объемный вес кварцевого песка колеблется в зависимости от крупности зерен по Бурхарцу в следующих пределах:

вес 1 л нормального германского песка	1,47 кг
" 1 " песка средней крупности зерна	1,67 "
" 1 " мелкозернистого песка	1,51 "

Количество пустот в песке равно в среднем 40%. Для того чтобы получить раствор хорошего качества, пустоты эти должны быть целиком заполнены известью, что достигается при содержании в растворе CaO в количестве около 10%; это соответствует составу смеси из 1 ч. известкового теста и $2\frac{1}{4}$ ч. песку или 428 л известкового теста и 963 л песку. Часто применяемая смесь 1:3 дает слишком тощий раствор. В общем для приготовления 1 м³ хорошего строительного раствора следует брать 160 кг комовой извести и 1 м³ песку, что дает расход известкового раствора на 1 м³ кладки при 400 нормальных германских кирпичах 280—300 л или при $\frac{5}{4}$ м³ буттового штабелюжного камня 320—360 л.

Для приготовления штукатурного раствора соотношение между известковым тестом и песком должно лежать в пределах $1\frac{1}{2}$ — $1\frac{3}{4}$ и ни в коем случае не превышать 1:2. На 1 м³ такого раствора надо считать таким образом около 200 кг комовой извести и 0,84 м³ песку.

Твердение известкового раствора происходит согласно общепринятому толкованию вследствие выделения воды из извести и поглощения ею углекислоты из атмосферы, иначе говоря, вследствие обратного превращения извести в углекислый кальций по формуле:



Однако процесс твердения далеко не так прост, как он представлен указанной формулой ввиду того, что образование углекислой извести хоть и необходимо, но не является, повидимому, главнейшей причиной твердения раствора. Он скорее состоит в сращивании зерен известкового раствора путем образования на их поверхности кристаллической углекислой окиси кальция, благодаря чему не происходит усадки и не нарушается сцепление между отдельными частицами. Удаление воды вследствие высыхания происходит лишь из промежутков и разбухших частиц гидрата окиси кальция. Правда, превращение гидрата окиси кальция в углекислый кальций может иметь место также и в глубине, но это не является обязательным условием. Как известно, в очень старых растворах устанавливали наличие гидрата окиси кальция.

Доломитная (серая) известь

Производство доломитной извести с содержанием силикатообразующих соединений в количестве не более 60% в сырье или 100% в обожженном

продукте ничем не отличается от производства жирной (белой) извести. Обжиг доломита состоит из двух фаз: сперва выделяется углекислота из одной составной части его — из MgCO_3 , затем при более высокой температуре — из другой, т. е. из CaCO_3 . Но в то время как при нагревании чистого магнезита уже при температуре 400° давление углекислоты равно 1 ат, а при 500° оно доходит до 9,5 ат, те же явления при нагревании доломита происходят при иных температурах — для углекислой магнезии MgCO_3 — лишь при 500° , а для углекислого кальция CaCO_3 — при 530°C . При тех условиях газообразования, которые имеют место в известковой печи, выделение углекислоты из MgCO_3 происходит примерно при $700\text{—}750^\circ\text{C}$, а из CaCO_3 — при $850\text{—}900^\circ\text{C}$. Вобщем можно считать, что при 1000° доломит полностью разлагается, поэтому при обжиге доломита расход угля значительно меньше, чем при обжиге извести.

Обожженный нормальный доломит или так называемая серая известь представляет собой воздушную известь и, вопреки неоднократно высказываемым мнениям, не обладает гидравлическими свойствами. Однако уже незначительного содержания силикатообразующих соединений (меньше 10%) достаточно, чтобы отвердевшее на воздухе после продолжительного выдерживания тесто сделать водоустойчивым. Ниже мы еще вернемся к продукту, получаемому путем обжига нормального доломита при вполне определенных и сравнительно невысоких температурах.

Следует еще отметить, что обозначение „серая известь“ не всегда правильно характеризует окраску извести: кроме серых встречаются также и извести с желтыми и коричневыми оттенками, некоторые же доломиты после обжига имеют даже белоснежный цвет. Доломитовую (серую) известь, как и белую, можно гасить по мокрому способу и надолго сохранять после этого в яме. По Кипенгейеру загашенная доломитовая (серая) известь после годичного срока лежания приобретает значительно большую способность к твердению и в затвердевшем виде превращается в весьма крепкое звонкое тело. Серую известь лучше гасить по сухому способу, так как при этом способе гашения она дает наибольший выход. Серая известь особенно пригодна для штукатурных растворов, для которых она чаще всего и применяется. Необходимо еще отметить, что раствор из доломитовой (серой) извести твердеет очень медленно, почему он для кладки стен малопригоден. В общем же доломитовая (серая) известь является превосходным материалом для растворов благодаря легкой освоенности ею песка, а также способности к отвердеванию и стойкости против атмосферных влияний.

Испытание воздушных известей

В отношении испытания известей мы отсылаем к гл. III и к инструкции по испытанию известей союза германских известковых заводов, приводимой в гл. VI, стр. 285 и далее. Здесь мы еще коснемся некоторых испытаний, которые в главе III и VI не приведены.

Изображенным на рис. 123 аппаратом Штипеля определяется способность извести к гашению — какое количество ее и в течение какого времени может быть превращено в известковое тесто. Принцип работы аппарата основан на повышении температуры определенного количества воды, взятого для гашения пробы извести. Аппарат состоит из наружного, снабженного ножками эбонитового цилиндра внутреннего диаметра в 20 см и высоты в 23 см, в котором находится другой, такой же эбонитовый цилиндр внутреннего диаметра в 6 см и высотой в 20 см, устанавливаемый на спиральную пружину, плотно прижимающую его к крышке аппарата. В этот

внутренний цилиндр вставляется стакан, в котором происходит гашение пробы. Весь аппарат плотно закрывается эбонитовой крышкой, имеющей посредине отверстие, в которое вставлен металлический стержень с припаянным к концу его маленьким проводочным ситом в качестве мешалки. С помощью винта стержень вместе с ситом может быть установлен на любой высоте. В той же крышке имеется еще одно отверстие, в которое вводится термометр; последний имеет шкалу в 100 делений, каждое из которых соответствует одному проценту окиси кальция. Шкала перемещается при помощи винта и перед каждым опытом устанавливается так,

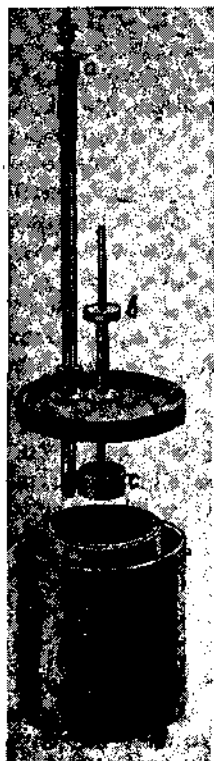


Рис. 123. Аппарат для определения способности известки к гашению.

чтобы нитка ртути находилась на нулевой черте. С помощью гирьки, имеющейся при аппарате, взвешивают измельченную до величины горошка навеску извести и высыплют ее на маленькое сито; стержень устанавливается в такое положение, чтобы сито после закрытия крышки было над водой. Вода в количестве 50 м^3 должна, как и весь аппарат, иметь температуру помещения, в котором происходит опыт. Затем освобождают установочный винт, опускают сито в воду и вращают стержень с мешалкой до тех пор, пока ртутная нить не примет своего наивысшего положения. По шкале можно прямо отсчитать процентное содержание в навеске извести, способной к гашению. При этом установленное время (для гашения хороших известей обычно составляющее 3 мин.) показывает, насколько быстро гасится испытуемая известь.

Для установления выхода, даваемого известью, служит волюеометр Михаэлиса (рис. 124). Прибор состоит из латунной банки вместимостью в 400 см^3 , в горлышко которой ввинчена градуированная трубка с делениями от 200 до 300 см^3 . Для испытания опускают в банку кусок извести весом в 50 г и наливают воды в количестве около 100 см^3 , затем банку прикрывают стеклышком и нагревают на водяной бане, причем повторным встряхиванием банки осаждают известковое тесто.

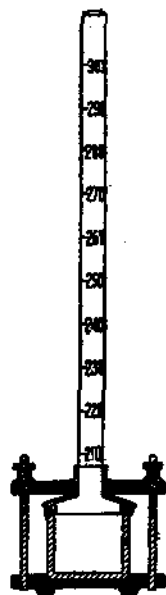


Рис. 124. Волюеометр.

Если взятого количества воды для полного гашения извести недостаточно или если, наоборот, воды налито было слишком много и оказался излишек ее над тестом, испытание производят заново, меняя количество воды до тех пор, пока не будет найдено правильное количество ее. Когда на известковом тесте появятся трещины, пробу охлаждают, навинчивают крышку и с помощью пипетки добавляют еще раз 300 см^3 воды. Встряхиванием банки удаляют пузырьки воздуха и, скинув 300 см^3 из указываемого шкалой объема, находят искомое количество известкового теста.

Прибор, изображенный на рис. 125, служит для определения нормальной консистенции известкового теста. Он состоит из массивного цилиндра

определенного веса (2 кг), подвешенного на двух перекинутых через блоки нитях и поднимающегося и опускающегося вдоль двух направляющих. Цилиндр должен погрузиться на глубину 25 мм в находящееся в стеклянном с суде испытуемое известковое тесто. Расстояние между основанием цилиндра и основанием сосуда отсчитывается по шкале, прикрепленной к направляющей цилиндра.

Чтобы установить, имеются ли еще в извести непогасившиеся крупинки, поступают следующим образом. Из творильной ямы берут некоторое количество теста, размешивают его примерно в тройном количестве воды и все затем пропускают через сито в 120 отверстий на 1 см². Остающиеся

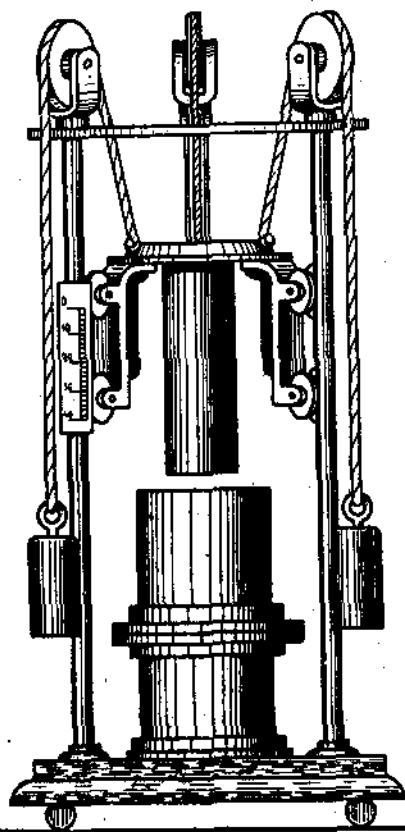


Рис. 125. Прибор для определения консистенции известкового теста.

для составления известковыми заводами своих правил гашения.

Правила гашения рекомендуется излагать кратко, так как в чрезмерно подробном изложении они, как показал опыт, обычно не читаются и не соблюдаются.

Для каждого сорта извести следует издать свою инструкцию; сорт извести следует указать в заголовке (например: „Правила для гашения кусковой жирной извести такого-то известкового завода“). В соответствии с этим приводимые ниже общие указания разбиты на разделы (жирная известь, доломитная известь, гидравлическая известь, гашение по мокрому

крупинки извести осторожно высушивают, причем если они являются непогасившимися, крупинки эти распадаются в порошок. Если такого распада не последовало, их увлажняют горячей водой, после чего снова сушат и т. д. Непогасившиеся крупинки после этого неминуемо распадутся в порошок, в то время как с недожогом, золой и шлаком этого не происходит.

Содержащаяся в растворе окись кальция определяется титрованием по Фрюлингу или Голмбладу; первый из этих способов подробно описан в „Тониндустри“ за 1884 г., стр. 393; второй также в „Тониндустри“ в 1889 г., стр. 143.

г) Общее руководство для издания инструкций по гашению извести

Составлено в 1924—1925 гг. Германской подкомиссией по разработке инструкций по гашению извести.)

Предварительное замечание. Изложенные ниже инструкции по гашению различных сортов извести имеют характер общего руководства

способу, гашение по сухому способу), для которых и подбираются даваемые в нижеследующем руководящие указания, подвергающиеся детальной разработке и дополнениям сообразно свойствам того или иного сорта извести.

Приводимая в руководстве по гашению извести номенклатура известей соответствует единым германским нормам по приемке и испытанию извести.

1. Жирная (белая) известь

а) Гашение по мокрому способу. Куски извести разравниваются по дну плоского ящика, после чего они понемногу поливаются водой до тех пор, пока материал не начнет парить. Когда куски начинают вспучиваться, их еще несколько тщательней разравнивают по всей поверхности ящика с помощью кочерги так, чтобы известь одинаково омывалась водой во избежание перегрева ее. По распадении кусков и образовании вместе с водой густого теста последнее тщательно перемешивают кочергой, после чего прибавляют еще столько воды, сколько ее необходимо для получения совершенно жидкой молочной массы. Полученное известковое молоко еще раз хорошо перемешивается, затем спускается в яму. Нерастворившиеся комочки и куски остаются в ящике, в яму таким образом сливается только одно известковое молоко. Ни в коем случае не следует подавать воду в ящик до загрузки в него извести.

Если известь предназначается для штукатурных работ, то следует перед выпускным отверстием поставить мелкое сито для удержания в ящике нераспавшейся извести и других примесей.

Когда известковое молоко в яме начнет густеть, слив молока в яму прекращают, так как иначе непогашенные частицы уже не в состоянии будут погружаться на дно ямы. Для штукатурных растворов нижний слой из творильной ямы толщиной 10 см брать не следует, так как он содержит непогасившиеся частицы извести, могущие послужить причиной порчи и отвала штукатурки.

При некоторых сортах извести гашение первое время протекает более замедленным темпом; зимою и вообще в холодную погоду известь гасится обычно медленнее. В таких случаях рекомендуется известковое молоко от первой загрузки в ящик не спускать полностью в яму, оставив некоторую часть его в ящике: не успевшее еще остыть известковое молоко способствует ускорению гашения следующей порции извести.

б) Гашение по сухому способу. Смотри доломитную (серую) известь, пункты б и в.

Доломитная (серая) известь

а) Гашение по мокрому способу. Гашение доломитной (серой) извести в тесто по мокрому способу производится таким же образом, как и гашение по мокрому способу жирной (белой) извести с той только разницей, что в первом случае количество добавляемой воды меньше, чем во втором.

(В инструкциях следует указывать отдельно примерное количество воды для каждого сорта.)

б) Гашение по сухому способу путем опрыскивания. Куски дробленой до величины кулака извести укладывают слоями толщиной не более 20 см.

Разровненный слой по всей своей поверхности равномерно опрыскивается водой, на парящую известь укладывают новый слой, который таким же образом увлажняют. Операция эта повторяется до тех пор, пока

штабель не достигнет высоты 1—1,2 м. В целях сохранения выделяемого при этом тепла, крайне необходимого для гашения извести, штабель покрывают слоем песка толщиной не менее 10 см и оставляют на некоторое время в таком виде. По истечении двух дней проверяют, превратилась ли известь в тонкий порошок; если этого еще не случилось, оставляют штабель в таком виде до полного его охлаждения.

Если известь предназначена для штукатурных работ, то ее после тщательно проведенного гашения надо выдержать еще по крайней мере в продолжение восьми дней. До применения такой извести ее необходимо пропустить еще через мелкое сито с отверстиями не менее 400 на 1 см² (нормальное сито № 20) в целях выделения недогасившихся крупинок и прочих камневидных примесей.

Количество воды, потребной для гашения того или иного сорта извести, устанавливается самим заводом. Берут корзину, загружают ее точно отвешенным количеством извести, размельченной до величины кулака, погружают в воду и удерживают до тех пор в воде, пока не прекратится выделение пузырьков. Разность между чистым весом извести без корзины до и после погружения ее в воду дает количество поглощенной ею воды ($1 \text{ кг} = 1 \text{ л воды}$).

в) Гашение по сухому способу путем погружения. До гашения известь должна быть размельчена до величины кулака, так как иначе вода не проникает внутрь кусков более значительных размеров.

После этого известь загружают в корзины, которые держат в воде до тех пор, пока на поверхности извести почти совершенно не прекратится выделение пузырьков. Для работы нужны две корзины, из которых одна загружается, а другая в это время погружается в воду.

Извлеченную из воды известь выгружают по возможности в один штабель, причем необходимо дать стечь излишней воде с корзины с тем, чтобы она не попадала в штабель.

Сохранение выделяемого тепла способствует более интенсивному и более полному гашению, поэтому известь покрывают равномерно слоем песка толщиной в 10 см.

Если известь предназначена для штукатурных работ, то штабель после гашения вылеживается в течение восьми дней. До применения извести ее необходимо просеять через сито не менее как с 400 отверстий на 1 см² (нормальное сито № 20), чтобы выделить из нее недогасившиеся крупинки и другие примеси.

Гидравлическая известь

Гидравлическая известь гасится по сухому способу так же, как серая известь, с той лишь разницей, что до ее применения она должна подвергнуться большему, чем последняя, сроку вылеживания.

Глава VI

ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ИЗВЕСТЬ

1. Исторические данные

При сооружении водопроводной магистрали длиной в 77 км от Эйфеля до Колонии Агриппины (древнее название г. Кельн) в I в. н. э., римляне применяли между прочим зетенихскую гидравлическую известь. Обычно для приготовления растворов, назначенных для гидротехнических сооружений, римляне употребляли смесь воздушной извести с естественными пуццоланами; поэтому можно думать, что в только что упомянутом случае гидравлическая известь была применена в силу случайных обстоятельств. Во всяком случае только в XVIII столетии Смитон, строитель Эддистонского маяка, впервые заявил, что известь, полученная обжигом содержащих глину известняков, особенно пригодна для гидротехнических сооружений. Несколько позже, в 1796 г., Паркером был уже заявлен патент на производство извести, твердеющей под водою, путем обжига и последующего размола мергелистых конкреций, находимых в лондонской глине. Паркер вырабатывал этот продукт заводским путем и назвал его роман-цементом. Около того же времени, независимо от работ, произведенных в этом направлении в Англии, во Франции Вика предпринял обширные исследования в области гидравлических вяжущих веществ; результаты этих исследований были им опубликованы в 1818 г. Вика также пришел к заключению, что содержание глины является существенным фактором, сообщающим извести гидравлические свойства; кроме того он разработал весьма детальные указания о способах производства такого рода вяжущих веществ. Его данные послужили основой для широко развившейся в настоящее время французской известковой и цементной промышленности. В Германии почти одновременно такие же исследования производил берлинский врач Ион, предложивший способ производства водоустойчивой извести путем обжига искусственной смеси известняка и глины.

2. Классификация и состав разновидностей гидравлической извести

Классификацию гидравлических известей — вяжущих веществ, при обжиге не доводимых до спекания, — можно построить, исходя из самых разнообразных точек зрения. Можно например, исходя из рода применяемого сырья, с одной стороны, сгруппировать гидравлические извести, получаемые из мергелей и после обжига подвергаемые дальнейшей переработке без всяких добавок, а с другой — собрать извести, получаемые в результате добавки к продукту обжига пуццолан. Для подразделения материалов первой группы

можно воспользоваться отношением продукта обжига к обработке его водой; можно например выделить извести, совершенно при этом распадающиеся, затем, извести, только частично гасящиеся, и наконец извести, совершенно не гасящиеся.

Далее за отличительный признак гидравлических известей, погашенных или размолотых, может быть принят характер их твердения после затворения с водой.

С внешней стороны различие между гидравлическими известями и цементоподобными вяжущими веществами заключается как будто только в сроках твердения; в действительности однако дело обстоит иначе: медленное и незаметное схватывание известей, переходящее наконец в твердение, носит не такой характер, как ярко выраженный процесс твердения цементоподобных вяжущих веществ. Причина такого различия зависит от наличия в гидравлической извести значительного количества свободного гидрата окиси кальция, вследствие чего твердение в данном случае не является исключительно внутренним процессом (образование гидросиликатов и т. д.), а требует еще кроме того доступа углекислоты извне.

Наконец и механическая прочность растворов из различных видов гидравлической извести также могла бы послужить в качестве различительного признака.

В противовес вышеуказанным признакам, главным образом имеющим практический характер, в основу классификации может быть положен признак более научный, сущность которого заключается в учете химического состава вяжущих веществ, способных твердеть под водой. Так, гидравлические извести первой группы можно делить на извести, не содержащие магнезии, и извести доломитные. Далее, имея в виду, что все гидравлические извести (кроме одного вида, о котором речь будет ниже) характеризуются наличием в их составе веществ, образующих силикаты, можно количество этих последних или соответственно отношение их содержания к содержанию окиси кальция, или к сумме окиси кальция и окиси магния, принять за признак для классификации.

Значение этого отношения силикатообразующих веществ к извести, а именно:

$$\frac{\text{CaO}}{\text{раств. SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} \quad \text{или} \quad \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{раств. SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

впервые было установлено Михаэлисом в его трудах по химии портланд-цемента и названо им „гидравлическим модулем“.

Впоследствии Ледюк также применил понятие о гидромодуле для подразделения гидравлических вяжущих веществ. В соответствии с подразделением, принятым союзом германских известковых заводов, получается следующая классификация:

$$\text{Извести с гидравлическим модулем} \quad \left\{ \begin{array}{l} 9 - 2,7 - \text{гидравлические извести} \\ 2,7 - 1,7 - \text{цементные} \\ 1,7 - 1,3 - \text{роман-цементы} \end{array} \right.$$

Гидравлический модуль таким образом, идя от гидравлической извести к роман-цементу, убывает в соответствии с возрастающим содержанием силикатообразующих веществ. Параллельно с увеличением содержания силикатных составляющих до известных пределов увеличивается также эффективность твердения, соответственно чему гидравлические извести дают

наименьшую механическую прочность, а романский цемент — наибольшую.

Производя исследования обожженных до спекания вяжущих веществ, Кюль ввел понятие о силикатном модуле, выражающем отношение

$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$, а затем также о глиноземном модуле $\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$. Возможно

однако, что только что указанные соотношения играют немаловажную роль также в области гидравлических вяжущих веществ, обожженных ниже температуры спекания. Во всяком случае согласно Лешателье в способных гаситься гидравлических известях образующиеся в процессе обжига алюминаты и ферриты кальция подвергаются при гашении разложению в противоположность не разлагающимся при этом силикатам, которые собственно и являются активной составной частью этих вяжущих веществ. Однако Кюль вполне правильно отмечает, что богатые глиноземом гидравлические извести ведут себя существенно иначе по сравнению с богатыми кремнеземом, отличаясь от этих последних главным образом более коротким сроком схватывания; без сомнения это указывает на то, что в процессе твердения гидравлической извести алюминаты кальция также играют известную роль.

Свойства гидравлической извести помимо химического состава в значительной степени зависят также от температуры обжига. Это особенно ярко выражается при обжиге известковых мергелей, содержащих от 76 до 78% углекислой извести и соответственное количество силикатных составляющих. Если такой мергель подвергнуть обжигу только до удаления углекислоты, затем погасить и размолоть, то получится типичная „цементная“ известь. Если же обжиг довести до спекания, т. е. до предельного вызываемого обжигом изменения агрегатного состояния материала, то продукт, который получится после размола, представит собою портланд-цемент. Но при обжиге даже в пределах температур, еще не вызывающих спекания, в свойствах продукта также наблюдаются значительные различия, зависящие от высоты температуры.

Известно, что некоторые мергели, будучи обожжены при таких низких температурах около 800—900°, когда из CaCO_3 удаляется лишь часть углекислоты, дают гидравлическую известь, обладающую значительно более высокой механической прочностью, чем те же мергели, обожженные при обычных для гидравлической извести температурах, колеблющихся, вообще говоря, в пределах 950—1100°. Это наблюдение в последнее время подтверждено опытами Гирша; в дальнейшем мы не раз будем возвращаться к этим опытам. В тех случаях, когда дело идет о мергелях с незначительным содержанием силикатных составляющих, приходится считать вместе с Шохом, что именно благодаря более слабому обжигу и наличию вследствие этого остатка неразложившейся углекислой извести, не вошедшей в реакцию с присутствующей кремнекислотой в прореагировавшей части продукта, гидравлический модуль получается более низким; так например, из мергеля, который при нормальном обжиге дал бы гидравлическую известь, при более слабом обжиге получится продукт, представляющий собою по качествам „цементную“ известь, лишь как бы равномерно разбавленную остатком неразложившейся углекислой извести.

Этим объясняется тот факт, что при определенных условиях обжиг при более высоких температурах, вызывающих полное выделение углекислоты при том же по данным химического анализа гидравлическом модуле, все же даст продукт, уступающий по своим качествам полученному обжигом данного сырья при более низких температурах.

Для полного выяснения такого рода явлений необходимо еще произвести многие систематически поставленные исследования по следующему примерно плану:

1. Данные о месторождении мергеля, его положение в геологической системе (по возможности с приложением геологического разреза залежей).

2. Внешние отличительные признаки породы (цвет, строение), твердость, удельный вес.

3. Микроскопическое исследование шлифа (микроструктура).

4. Химический анализ породы и особенно анализы части, растворимой в кислоте, и части нерастворимой.

5. Микроскопическое исследование нерастворимого при обработке кислотой зернистого остатка и затем отделенного отмучиванием от глинистых веществ.

6. Обжиг породы в газовой или электрической печи во избежание воздействия золы, что отразилось бы на химизме процесса, при конусах Зегера 012а, 010а, 1а и при надобности еще при 6а.

7. Цвет, строение, удельный вес продукта, полученного обжигом при различных температурах.

8. Химический анализ обожженной извести и особенно анализы растворимых и нерастворимых составных частей.

9. Микроскопическое исследование извести, измельченной в порошок, в сухом виде, а также после обработки водою, согласно Гиршу.

10. Микроскопическое исследование извести после схватывания и затвердения с применением в случае надобности различных вспомогательных средств.

11. Установление технических свойств полученных продуктов: объемный вес, тонкость помола, сроки схватывания, постоянство объема, прочность на разрыв и на сжатие.

Содержание в гидравлической извести растворимых силикатных составляющих можно повысить также искусственным путем, добавляя к ним естественные или искусственные пуцоланы. Получаемый продукт по терминологии союза германских известковых заводов именуется „искусственной цементной известью“.

При обжиге мергелей с небольшим или средним содержанием силикатных составляющих связывается не вся известь; некоторая более или менее значительная часть ее остается в виде свободной окиси кальция; поэтому гидравлическая известь и „цементная“ известь молноостью или частично гасятся.

В роман-цементе, наоборот, известь вся связана, поэтому он не гасится, а должен подвергаться размолу. Ледюк¹ считает, что возможно отделить свободный гидрат окиси кальция от силикатов и тому подобных соединений путем обработки гидравлической извести раствором сахара; при этом свободный гидрат окиси кальция извлекается вследствие образования извести. Нельзя однако быть уверенным в том, что при такой обработке не будет происходить частичного разложения силикатов и алюминатов и что освобождающаяся из них известь также не войдет в состав сахарата.

Способ Ледюка состоит в том, что известь в количестве 500 г, прошедшая через сито в 2000 отверстий, в течение получаса обрабатывается

¹ Leduc. Chaux. et ciments. Paris. 1925.

250 см³ 10%-ным раствором сахара, после чего количество перешедшей в раствор извести определяется титрованием.

Шох приводит установленные вышеописанным способом для различных гидравлических известей количества перешедшей в раствор извести (включая также известь, связанную с CO₂) (в процентах):

Лучшие гидравлические извести	18—20
Извести, очень богатые силикатами	11—12
Цемент-, граппье*	6
Роман-цемент	2

Количество извести, связанной с силикатами, и алюмината получается как разность между общим содержанием извести и количеством извести, связанной как с сахаром, так и с серной кислотой. Можно согласиться с Кюлем и Кноте¹, поскольку до сих пор возражений по этому вопросу не имеется, что при обжиге мергелей ниже температуры спекания образуются преимущественно соединения с формулами 2CaO·SiO₂ и 2CaO·Al₂O₃. Образует ли и окись магния при обжиге доломитных мергелей такого рода соединения, — сказать с уверенностью нельзя. При обработке мергелей кислотами, глина остается в качестве нерастворимого остатка, тогда как соединения указанного вида легко поддаются разложению кислотой, а кремнезем, глинозем и железо в более или менее полной мере переходят в раствор. Они являются носителями гидравлических свойств, так как они образуют твердеющие под водой гидросиликаты и, повидимому, также гидроалюминаты и ферриты.

Возвращаясь к классификации и номенклатуре гидравлических известей, принятой союзом германских известковых заводов, мы должны отметить, что считаем ее весьма целесообразной и очень удобной для практики. Необходимо, чтобы производители эту номенклатуру приняли для выпускаемой ими продукции; к сожалению до сих пор мы еще этого не видим, и на рынке встречаются разнообразные наименования, не вошедшие в номенклатуру, вроде „черной извести“, „водостойкой извести“ и т. п. С другой стороны, под наименованием гидравлической и цементной извести выпускаются материалы весьма разнообразного состава и свойств. Между тем потребители в праве ожидать, чтобы под определенными наименованиями выпускались материалы, обладающие соответствующими качествами. Пока только понятие о роман-цементе является достаточно общепринятым, причем в различных странах для него существуют подробные стандарты, разработанные по образцу стандарта для портланд-цемента.

3. Обжиг гидравлических известей

Обжиг гидравлических известей требует очень большого внимания: всякого рода отступления в ту или другую сторону — недожог или пережог — коренным образом влияют на качества и свойства получаемого продукта. Мергели одного и того же состава дают в зависимости от температуры обжига разнообразные продукты, обладающие различной способностью твердеть; вот почему, прежде чем приступить к производству гидравлической извести, важно и необходимо в точности установить ту температуру, при которой из данного сырья будет обеспечен выход продукта самого высшего качества. Температуры, приводящие к ошлакованию обжигаемого

¹ Kühl und Knothe.

материала, безусловно недопустимы, так как ошлакованный продукт имеет никуда негодные качества. Затем, если мергель, содержащий 90—78% CaCO_3 , обжечь до спекания, то он вовсе не гасится или гасится несполна, а в молотом виде дает вязущее вещество, не обладающее постоянством объема. Выбор правильной температуры обжига имеет особенно важное значение в производстве магнезиальной извести, где требуется выделить из доломита лишь ту углекислоту, которая связана с магнием.

Для обжига гидравлической извести применяются те же печи, что и для производства воздушной извести. Романский цемент, магнезиальная известь, цементная известь и наконец гидравлическая известь, если завод ее выпускает в виде гашеного или перемолотого порошка, могут обжигаться также в автоматических шахтных печах, применяемых в портландцементном производстве, так как во всех этих случаях нет надобности получать крупные куски; напротив, выход материала из печи в измельченном виде даже желателен.

Для обжига мергелей, главным образом мелочи, применяется вращающаяся печь Мейера, работающая по принципу параллельного тока, заключающегося в том, что топочные газы и обжигаемый материал движутся в печи в одном и том же направлении. Так как разложение углекислой извести представляет собой эндотермический процесс, связанный с поглощением тепла, то путем регулировки подачи сырья можно, во избежание перегрева, установить в печи надлежащую температуру.

4. Гашение гидравлической и цементной извести

Следующая операция, которой подвергаются гидравлические и цементные извести, — это гашение. Если гидравлическая известь отпускается с завода в виде кусков, она подвергается гашению на месте применения самим потребителем; в этом случае завод прилагает инструкцию, содержащую указания о способе и порядке гашения данного сорта извести (см. например правила гашения стр. 254). Если же завод выпускает известь в готовом виде, то это производится заводским способом по одному из описанных выше методов (стр. 237 и след.).

В нижнемеловых отложениях Южной Франции расположены залежи кремнистых известняков, представляющих собою превосходное сырье для гидравлических известей. Применяемая там схема производства такова, что в зависимости от отношения обожженного материала к гашению получается несколько разновидностей продукта одновременно ¹.

Производство гидравлической извести построено там следующим образом. Дробленый кремнистый известняк обжигают в шахтных или конических печах; ввиду того, что в различных местах печи температура различна, и особенно ввиду того, что камень по составу не совсем однороден, в результате, наряду с правильно и хорошо обожженным материалом, получают также спекшиеся куски и распыленная известь.

Обожженная известь выгружается из печи в железные вагонетки, поливается водой и высыпается затем в силоса, где она выдерживается примерно в течение 14 дней. Вместо силосного способа гашения некоторые заводы применяют гасительные барабаны, в частности барабаны системы Шульцгесса (стр. 239). Погашенный материал подается в воздушный сепаратор, отделяющий распавшийся в порошок продукт от непога-

¹ M. Fiebelkorn, Hydraulischer Kalk und Zement in Südfrankreich. Berlin, 1911.

сившейся части. Выходящий из сепаратора порошок дает так называемую легкую известь. Отделенные сепаратором куски и зерна представляют собою смесь как не вполне погашенных, так и совсем не гасящихся частей. Этот материал подвергается вторичному, а в особых случаях даже трехкратному гашению. Получаемая при этом и отделенная в виде порошка известь называется „тяжелой известью“. Остающиеся богатые силикатами и спекшиеся зерна, носящие название „граппье“¹, размалываются и после продолжительного вылеживания поступают в продажу в качестве „граппье-цемента“. Шох приводит следующие анализы названных материалов, полученных из известняков одного и того же месторождения („TIZ“, 1926, стр. 2125):

Таблица 20

Граппье-цемент

Составные части	I Легкая известь в %	II Тяжелая известь в %	III Граппье- цемент в %
Потеря при прокаливании	13,20	11,45	7,25
Нерастворимое: песок, зола и пр.	0,15	0,60	1,10
Растворимая: кремниевая кислота	13,45	15,10	19,40
Глинозем	2,35	2,80	4,31
Окись железа	1,50	1,80	2,30
Известь	67,40	66,40	64,00
Магния	0,90	0,87	0,86
Серная кислота (SO ₃)	1,00	0,96	0,75
Гидравлический модуль	99,95 3,90	99,98 3,37	99,97 2,46

Таким образом известь I и II по принятым нами признакам следует отнести к гидравлическим известям; продукт III представляет собою цементоподобное вяжущее вещество.

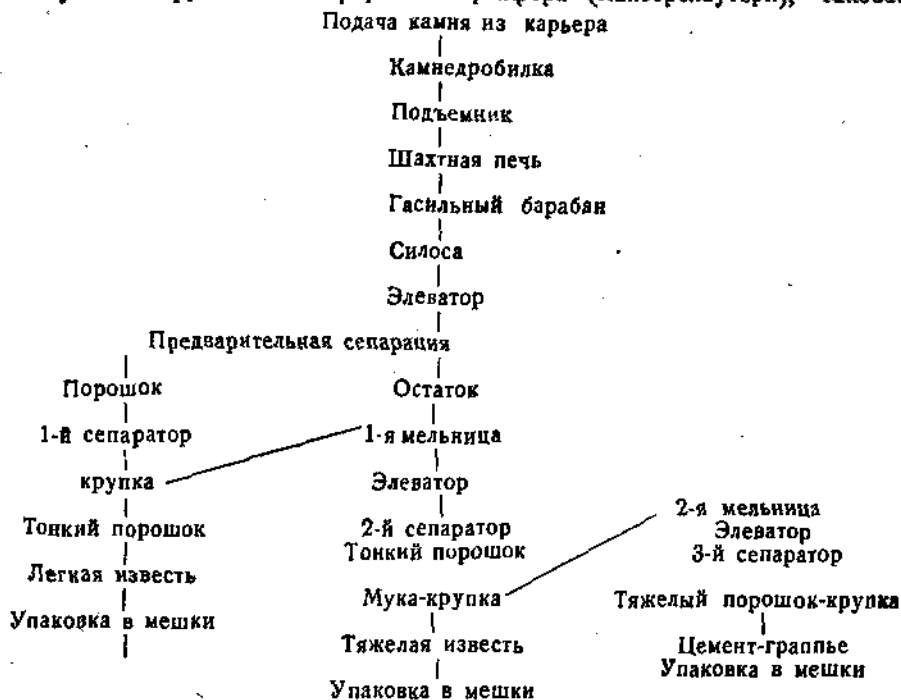
Согласно Шоху состав граппье-цемента колеблется в следующих границах (в процентах):

Кремнезем	27—32
Глинозем	3—5
Окись железа	1—2
Известь	58—63

Описанный выше метод производства дает возможность одновременно получать и легкую и тяжелую известь, а примешиванием к ним перемолотых граппье получать разнообразных видов гидравлическую известь.

¹ Непогасившиеся, спекшиеся зерна по-французски называются „grappiers“ и по-немецки „Klebe“, т. е. „гроздь“ или „ракушки“; на русском языке собственного термина нет, так как вообще в СССР производство гидравлической извести еще не привилось и не развилось. Мы сохраняем термин „граппье“ как уже нашедший применение в русской специальной литературе. Д. Ю.

Схема производства на одной установке, работающей по описанному выше способу и оборудованной фирмой Пфейфера (Кайзерслаутерн), такова:



5. Гидравлическая известь

Гидравлическая известь большей частью имеет желтоватый или коричневатый цвет. Вес 1 л (в уплотненном виде) колеблется между 620 и 1000 г. В безводном и свободном от углекислоты продукте растворимых в кислоте силикатных соединений содержится 10—25%. Кроме извести и магнезии гидравлическая известь в большинстве случаев содержит также незначительное количество серной кислоты, которая может попасть или из содержащегося иногда в сырье серного колчедана, или из угля, применяемого для обжига; гидравлическая известь содержит также большее или меньшее количество нерастворимого остатка, присутствие которого зависит или от частицы не вошедшей в реакцию глины, или также песка, или же от примеси золы угля и образовавшихся при обжиге шлаков.

Гидравлические извести после затворения с водой схватываются чрезвычайно медленно. Растворы на гидравлической извести до переноса их в воду предварительно должны быть подвергнуты твердению на воздухе в течение в среднем семи дней.

Нижеследующие анализы, приведенные на табл. 21 характеризуют состав четырех типичных сортов гидравлической извести в прокаленном виде.

I. Гидравлическая известь Вильтальского завода (Бильштейн, Рейнская обл.).

II. То же.

III. Гидравлическая известь из Зетениха (Эйфель).

IV. Так называемая „черная“ гидравлическая известь из Браунсдорфа (Саксония).

Таблица 21

	I в %	II в %	III в %	IV в %
Окись кальция	84,88	75,06	78,67	52,38
Магнезия	0,36	3,17	1,89	26,60
Кремнезем	11,32	21,77	10,66	14,47
Глинозем	1,95		3,89	2,45
Окись железа	0,91		1,76	3,55
Ангидрид серной кислоты	0,09	—	1,60	следы
Щелочи	0,25	—	1,11	—
Нерастворимый остаток	0,24	—	0,41	—
	100,00	100,00	99,99	99,45

Из девяти полученных Гиршем¹ от разных заводов проб, обозначенных как „гидравлическая известь“, две по своему химическому составу оказались роман-цементом. В остальных семи известках содержание силикатных составляющих колебалось в пределах 11,3—24%, содержание извести и магнезии в сумме 70,64—87,87%, одной магнезии от 0 до 19,84%, серного ангидрида от 0 до 3,31%, нерастворимого остатка от 0 до 10,2%; все цифры анализа относятся к прокаленному веществу. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что все пробы за исключением только одной в непрокаленном состоянии показали высокое содержание углекислоты, колебавшееся между 4,1 и 11,4%. Гирш причину этого явления видит в том, что известки продолжительное время магазинировались, так как пробы для анализов были присланы в период прекращения сбыта.

Так как всякая гидравлическая известь в погашенном виде сравнительно быстро поглощает углекислоту, то прочность растворов из долго хранившейся гидравлической извести оказывается пониженной.

Поэтому гидравлические известки плохо выдерживают длительное магазинирование и не должны задерживаться на складах.

Помощью оптических исследований Гиршу удалось отличить углекислую известь, вновь образовавшуюся вследствие поглощения углекислоты, от той, которая ранее имела в материале; вновь образовавшийся углекислый кальций наблюдается в препаратах в форме светлых точек. Из семи образцов гидравлической извести только три удовлетворяли требованиям, установленным союзом германских известковых заводов для испытания гидравлических известей. Эти три пробы имели в прокаленном виде следующий состав (в процентах) и показали приводимую ниже механическую прочность:

	I	II	III
Известь	65,56	70,05	86,84
Магнезия	6,10	0,59	1,03
Силикатные составляющие	23,93	17,51	12,42
Серный ангидрид	0,97	3,31	—
Нерастворимый остаток	2,93	6,62	—
	99,49	98,08	100,29

¹ Hirsch, Zementkalke. Mitteilungen des V. D. K. 1924.

	Растяже- ние кг/см ²	Сжатие	Вес 1 л в кг	Остаток на сите	Начало твердения через час. мин.
I. 28 дн.	6,6	18	рыхл. 0,620	120 отв. 7,0	4—15
56 "	9,4		уплотн. 0,120	900 " 19,1	
				5000 " 26,8	
II. 28 дн.	5,5	37	рыхл. 0,660	120 " 0,5	
56 "	9,3	31	уплотн. 1,090	900 " 7,8	
				5000 " 18,0	3—10
III. 28 дн.	5,1	36	рыхл. 0,400	60 " 0,7	
56 "	11,0	36	уплотн. 0,615	120 " 0,8	6 —
				900 " 1,0	

Весьма интересны результаты, полученные Гиршем при обжиге мергелей различного состава; работа эта производилась в строго определенных и точно установленных условиях, поэтому оказалось возможным вполне ясно выявить влияние температуры обжига на свойства продукта. Приводим цифровые данные для двух мергелей, по составу своему оказавшихся пригодными для производства гидравлической извести.

Таблица 22

% CaCO ₃ в сырье	Состав обожженной извести					Температура обжига		Растяжение (дней)		Сжатие (дней)	
	CaO	CaCO ₃	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	гидро- модуль	°C	28	56	28	56
I. 86,1	79,2	—	0,7	13,9	5,3	4,12	1000	3,2	2,9	7	11
II. 89,0	20,37	68,63	—	8,1	2,3	1,95	855	6,5	6,9	29	36
III. 89,0	84,3	—	—	11,30	3,30	5,77	1150	3,9	6,0	15	27

Как видно из таблицы, механические качества продукта, полученного обжигом сырья I при 1000°, оказались везде ниже требуемых нормами, несмотря на то, что по составу материал является типичным видом гидравлической извести. Продукт из сырья II, обожженного при 1150°, по составу также подходит к гидравлической извести и обладает прочностью, все же удовлетворяющей минимальной границе. То же сырье, обожженное лишь при 850°, дает механическую прочность, позволяющую отнести его к цементной извести, чему соответствует также и гидравлический модуль. Продукт этот согласно воззрению Шюха можно рассматривать как цементную известь, разбавленную углекислой извостью.

Гидравлические извести поступают в продажу либо в кусках либо в порошке, укупоренном в мешки и получаемом гашением с последующим просевом через сита или также после перемола остатка. Бёкумские заводы гидравлической извести дают нижеследующую инструкцию для гашения материала на месте применения: „Известь разбивают на куски величиною с кулак, насыпают в проволочный или из трубок ящик и держат под водою до тех пор, пока вся известь ею не пропитается, что легко заметить по прекращению выделения пузырьков воздуха; обычно это достигается очень скоро, не более как через полминуты. Ящик тотчас извлекают, дают стечь воде, после чего известь, впитавшую достаточное для гашения количество воды, складывают в кучи под навес или в сарай; сложенную таким обра-

зом массу покрывают слоем песку и дают ей гаситься в течение 24 час. Продукт после этой операции полностью распадается в порошок погасившейся гидравлической извести, что сопровождается увеличением ее первоначального объема примерно вдвое. Известь после этого сейчас же может поступить в работу“.

„Этот способ по сравнению с гашением поливкой имеет то преимущество, что в известь задается ровно столько воды, сколько ее нужно для гашения; способ этот исключает возможность, во-первых, образования комьев, из-за добавки излишка воды, во-вторых, неполного гашения из-за ее недостатка“.

Заводский способ производства гашеной гидравлической извести, поступающей в отправку упакованной в мешки, описан выше на стр. 255. Гидравлическая известь применяется для наружных штукатурных работ, а также для кладки подземных частей сооружений. Для надземной кладки она менее пригодна.

6. Цементная известь

а) Цементная известь из естественного сырья. Цементные извести получают из естественного сырья и искусственной смеси. Естественные цементные извести получают обжигом мергелей, последующим гашением и перемолом. Цвет цементной извести — желтовато-бурый. Вес 1 л в уплотненном виде колеблется между 1200 и 1400 г. Начало схватывания иногда через несколько минут, в большинстве же случаев лишь через несколько часов. Содержание силикатных составляющих в прокаленном веществе, т. е. не содержащем воды и углекислоты, равно 25—35%. Наряду с известью и магнезией в большинстве случаев имеется небольшое количество серного ангидрида, а также в большем или меньшем размере нерастворимый остаток.

При вылеживании продукт довольно быстро поглощает углекислоту. Приведем анализы двух образцов германской цементной извести, издавна известных в продаже под этим наименованием (в процентах):

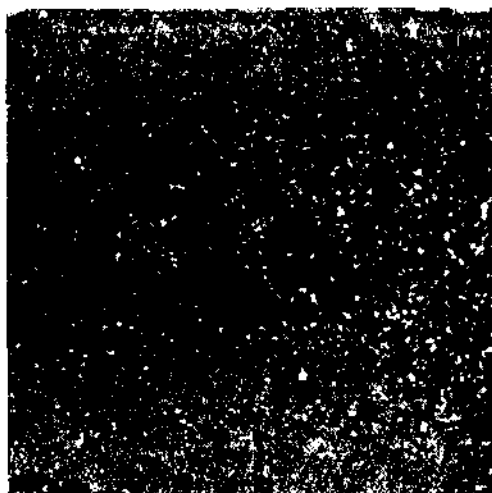


Рис. 126. Цементная известь, поглотившая кремнекислоту (CaCO_3 —59%). Сухой препарат, скрещ. николи. Увелич. 80. Вновь образовавшаяся известь—светлые точки.

	I	II
Извести	59,79	67,32
Магнезии	13,88	0,71
Кремнезема	14,69	24,60
Глинозема	7,96	5,22
Окиси железа	7,96	2,01
Неопредел. остатка	3,68	0,28

101,00 100,14

I. Цементная известь Шенка и Фогеля из Фердерштедта.

II. Брауншвейгская цементная известь из Зальдера.

Следует отметить, что по гидравлическому модулю образец I, полученный из доломитизированного сырья, возможно отнести к классу гидравлических известей; образец II из Зальдера также в этом отношении является типичной цементной известью.

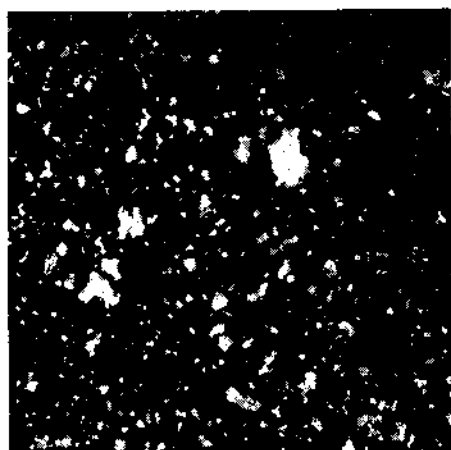


Рис. 127. Слабо обожженная цементная известь (855°). Сухой препарат, увелич. 80, скрещ. николи.

Из числа присланных Гиршу для испытаний целым рядом заводов 11 образцов 8 получены были путем обжига мергелей без всяких добавок. Один образец представлял собою несомненный роман-цемент, другой оказался неудовлетворительным по своим механическим качествам, и еще два хотя и превышали минимальные требования норм в отношении прочности, но по составу оказались гидравлической известью. Анализ четырех типичных цементных известей дал следующие результаты (в прокаленном виде).

Таблица 23

	CaO %	MgO %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Нераствори- мый остаток %	SO ₃	Гидравличе- ский модуль
I	66,02	0,11	23,81	6,65	0,56	1,46	2,16
II	61,37	—	23,83	8,45	6,28	—	1,90
III	61,23	0,60	20,20	8,74	9,11	0,36	2,13
IV	55,07	0,12	19,80	9,90	13,16	1,32	1,85

	Растяжение		Сжатие		Вес 1 л	Остаток на сите		Начало схва- тывания час. мин.
	28 дн.	56 дн.	28 дн.	56 дн.				
I	16	22,4	108	115	Рыхл. 0,880 Уплотн. 1,290	120 отв. 900 "	Следы 0,3	350
II	10,0	13,2	50	70	Рыхл. 0,910 Уплотн. 1,370	5000 "	3,8	
						120 "	0,1	
III	11,3	18,2	55	80	Рыхл. 0,700 Уплотн. 1,100	900 "	5,9	7
						5000 "	22,0	
IV	8,7	15,7	35	44	Рыхл. 0,890 Уплотн. 1,310	120 "	0,1	
						900 "	2,6	11
						5000 "	15,0	
						120 "	0,1	115
						900 "	3,2	
						5000 "	19,2	

Эти пробы показали кроме того высокое содержание углекислоты — в пределах от 5,1 до 14,3% — при незначительном — от 2,9 до 6,3% — содержании влаги, а также значительное количество нерастворимого остатка.

Показательные данные, полученные Гиршем в результате проведенного им обжига мергелей различного состава:

Таблица 24

	CaCO ₃ в сырье	Анализ продукта обжига %					Гидро модуль	Температура обжига	Растяжение (дней)		Сжатие (дней)	
		CaO	CaCO ₃	MgO	SiO ₂	R ₂ O ₃			28	56	28	56
I	81,4	39,13	37,27	—	15,0	8,6	1,65	900°	11,9	15,9	51	57
Ia	81,4	71,80	—	—	17,9	10,3	2,45	1100°	6,5	10,1	23	40
II	80,0	70,0	—	0,2	19,6	12,2	2,34	1100°	10,1	15,6	49	80
IIa	80,0	70,0	—	0,2	19,6	12,2	2,34	1200°	6,0	10,9	31	51

Интересно отметить, что из этих исследований в одном случае также обнаруживается благоприятное влияние обжига при более низкой температуре. Особенно показательным это обстоятельство является здесь потому, что оно наблюдается как раз у мергеля II, несмотря на то, что при обжиге его при более высокой температуре не получается разницы в химическом составе, а следовательно и в величине гидро модуля, с продуктом, обожженным при более низкой температуре. Таким образом можно думать, что влияние обжига при различных температурах в данном случае сказывается лишь на физических свойствах, а также в большей или меньшей степени и на плотности продукта.

Очень показательными оказались результаты оптических исследований цементных известей, поставленных по инициативе союза германских известковых заводов. Это дало возможность, пользуясь методом Гирша, отличать цементные известки от гидравлических. Так как обожженная известь не обладает достаточной прочностью, необходимой для изготовления микрошлифов, то препараты необходимой для микроскопического исследования прозрачности получают из смеси измельченной в порошок исследуемой извести с избытком воды. В препаратах через небольшой промежуток времени появляются кристаллические образования, сохраняющиеся в течение нескольких месяцев. У продуктов, относящихся к гидравлическим известкам, кристаллы имеют форму шестисторонних табличек; у цементных известей наблюдается образование более или менее длинных игольчатых кристаллов гидросиликатов кальция. В препаратах с цементной известью спустя некоторое время появляются массы геля и замечаются явления набухания.

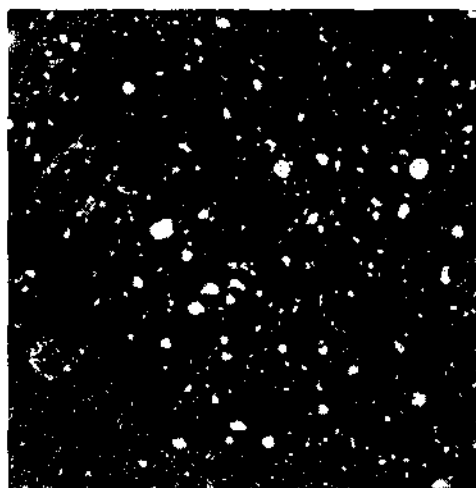


Рис. 128. Среднего обжига цементная известь (К. З. О5а). Сухой препарат, увелич. 80, скрещ. николи.

В сортах, имевших очень хорошие вяжущие свойства, иглы получались длинными; сорта менее высокого качества давали значительно более короткие кристаллы. При этих исследованиях не удалось установить ни наличия алюминатов кальция, ни силикатов алюминия; отсюда однако нельзя делать выводов о том, что вообще алюминатов кальция в гидравлических известях не содержится и что они не играют роли в процессе их твердения. Нельзя упускать из виду, что препараты изготовлялись с большим избытком воды, т. е. при условиях, в значительной мере отличающихся от практических условий изготовления растворов.



Рис. 129. Гидравлическая известь. Препарат трехмесячного возраста с водой. Увелич. 400, обыкн. свет. Типичные шестисторонние таблички.

В целях получения данных для возможности установления четкой классификации различных видов гидравлических известей крайне желательна постановка по возможности многочисленных исследовательских работ по плану, выше нами изложенному.

Производство цементной извести заключается в том, что обожженный материал гидратизируется и затем перемалывается способами, уже описанными выше. Производится ли где-либо в Германии фракционированная обработка продукта обжига, как это описано на стр. 262 и след., нам неизвестно. Значительного улучшения качества цементной извести можно достигнуть помощью двойного обжига. Этот способ заключается в том, что после первого обжига материал гидратизируют, а затем из полученного таким образом порошка прессуют кирпичи. Кирпичи вновь обжигают при очень невысокой температуре, около 400° , лишь с целью удаления гидратной воды и затем подвергают перемолу. Таким образом получается весьма хорошо твердеющий продукт, особенно пригодный также для производства искусственной цементной извести.

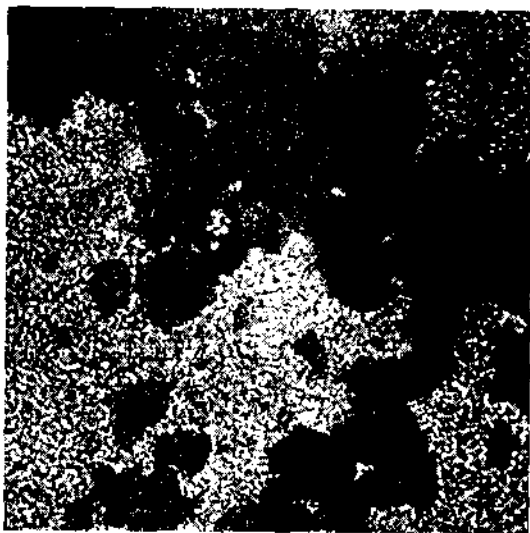


Рис. 130. Цементная известь. Увелич. 400, обыкн. свет. Водный препарат. Возраст 3 мес. Гель силикатов кальция.

б) Искусственные цементные извести. Качества гидравлических, а также некоторых цементных известей можно значительно улучшить,

добавляя к ним пуццоланы; в результате часто получается поразительное повышение механической прочности. При производстве такого рода материалов необходимо учитывать уже имеющиеся силикаты; поэтому извести, богатые силикатами, требуют меньшей добавки пуццолан по сравнению с известью, бедной силикатами. Но так как нет еще достаточно определенных данных о том, в каких именно стехиометрических соотношениях должны здесь находиться извести и силикатные составляющие (см. также стр. 272), приходится опытным путем устанавливать оптимальную величину добавки, которая даст раствору максимальную прочность. В качестве добавок могут быть применены все виды естественных и искусственных пуццолан, а именно: 1) трасс (т. е. молотый вулканический туф), 2) молотая пемза, 3) трепел, 4) молотые слабо обожженная глина или недожженный кирпич, 5) сиштоф, 6) молотые гранулированные доменные шлаки.



Рис. 131. Цементная известь. Водный препарат. Увелич. 400, обыкн. свет. Возраст 3 мес. Типичные собственно для цементной извести длинные иглы силиката кальция.

Практическое значение для производства искусственных цементных известей представляют главным образом два последних вида пуццолан. Иногда применяют смесь нескольких из вышеперечисленных материалов или при-



Рис. 132. Цементная известь второго сорта. Водный трехмесячный препарат. Увелич. 400, обыкн. свет. Характерные для второго сорта типичные короткие иглы.

мешивают к цементной извести портландцементный недогар или даже клинкер.

Люфтшиц¹ приготавливал смесь из двух сортов цементной извести с сиштофом и испытывал их механическую прочность; к сожалению он не приводит анализов цементных известей. Один из этих продуктов — „доломитовая цементная известь“ — в стандартном растворе через 28 дней хранения в воде показал сопротивление растяжению равным 1 кг/см^2 и сопротивление сжатию $5,4 \text{ кг/см}^2$; другой образец — „цементная известь“ — показал в среднем $4,2$ и соответственно $28,4 \text{ кг/см}^2$. По результатам испытания только второй образец соответствует следовательно обозначению

¹ Luftschütz. St-Stoff. T. I. 1927 № 15, 17 и 27.

нию „цементная известь“. В статье нет сведений о том, выдерживались ли образцы на воздухе до того, как их поместили в воду. Доломитная цементная известь после 28 дней хранения на воздухе дала сопротивление растяжению 8 кг и сопротивление сжатию — 92,8 кг; цементная известь соответственно 8,8 и 50,2 кг/см². Смесь с сиштофом в пропорции 1:1 у доломитной цементной извести показала повышение сопротивления сжатию с 6,4 до 206,6 кг при водном хранении и с 92,8 до 171,4 кг — при воздушном; у цементной извести при составе смеси 1:2 прочность возросла с 28,4 до 99,2 кг/см² при водном хранении и с 50,2 до 94,4 кг/см² при хранении на воздухе.

Более обстоятельные работы были проведены Нато¹, который на основании опытов полагает, что максимальные сопротивления могут быть достигнуты, если прибавлять к известям такое количество способной к химическому взаимодействию кремнекислоты, которое близко к необходимому для образования трехкальцевого силиката. Таким образом он считает, что на каждые 2,8 ч. СаО нужно взять 1 ч. SiO₂. Поражает конечно его мнение, что способностью к химическому взаимодействию кроме растворимой кремнекислоты обладает также и кварц, присутствующий в сиштофе; он объясняет это влиянием на кварц серной кислоты, применяемой при переработке каолина или боксита в препараты окиси алюминия.

Например для гидравлической извести, содержащей 76,1% СаО, 15,9% SiO₂ и 8% R₂O₃, количество сиштофа с 70% кремнезема, которое надо добавить, подсчитывается следующим образом: SiO₂, 15,9·2,8 = 44,5; 76,1 — 44,5 = 31,6 свободного СаО; 31,6 : 2,8 = 11,3, что соответствует количеству 16,1% сиштофа с содержанием 70% SiO₂.

Для доломитной гидравлической извести с 50,0% СаО, 40% MgO, 7% SiO₂ и 3% R₂O₃ будем иметь:

$$\begin{array}{rcl} 7,0 \cdot 2,8 = 19,6; & 50,0 & \text{СаО имеется} \\ & 56,0 & \text{СаО получается пересчетом} \\ & & 40\% \text{ MgO. } 1,4 \end{array}$$

$$106,0 \text{ СаО}$$

Вычтя отсюда 19,6 СаО, связанной с SiO₂, получаем:

$$\begin{array}{l} 86,4 \text{ свободн. СаО} \\ 86,4 : 2,8 = 30,9 \text{ SiO}_2, \text{ что соответствует } 44,1\% \text{ сиштофа.} \end{array}$$

Добавка сиштофа к гидравлическим известям действительно может дать поразительные результаты в смысле механической прочности; это может быть доказано на примере вяжущего материала, известного в Германии под маркой „Метеор-Экстра“ и приготовляемого именно таким способом. Согласно произведенным в лаборатории союза германских цементных заводов испытаниям, смесь 1 весовой части „Метеор-Экстра“ и 3 весовых частей нормального песка дала следующие результаты:

сопротивление растяжению		сопротивление сжатию	
28 дн.		28 дн.	
водное хранен.	комбин. хранен.	водное хранен.	комбин. хранен.
36,7	36,5	391	448

¹ Natho. Si-Stoff. T. I. 1927 № 28.

Значительно меньшие показатели получаются при составлении раствора не по весу, а по объему; такое явление замечается вообще у всех естественных и искусственных гидравлических известей вследствие незначительности их объемного веса.

Результаты получаются следующие:

растяжение		сжатие	
28 дн.		28 дн.	
водное хранен.	комбин. хранен.	водное хранен.	комбин. хранен.
18,2	25,3	135	180

Применяя снштоф, следует всегда иметь в виду, что он имеет изменчивый состав: это относится не только к снштофу, доставляемому из различных источников, но и к материалу, получаемому с одного и того же химического завода.

Отсюда — необходимость каждую партию в отдельности подвергать предварительно анализу и испытаниям.

Гранулированные доменные шлаки, представляющие собою наиболее часто применяемую добавку к гидравлической извести, наоборот, на одном и том же металлургическом заводе, как правило, имеют чрезвычайно однообразный состав. Следует применять по возможности более основные шлаки. При добавке шлаков также необходимо принимать во внимание уже содержащиеся в гидравлической извести силикатные составляющие; поэтому в большинстве случаев достаточно добавлять сравнительно небольшое их количество.

Если гидравлическая известь, напротив, отличается высоким содержанием извести, то для получения продукта, обладающего хорошей механической прочностью, приходится шлаки добавлять в таких же приблизительно количествах, в которых они входят в состав известково-шлакового цемента, рассматриваемого в разделе IX.

7. Роман-цемент

Если считать, что основной отличительный признак цементов вообще состоит в том, что при обжиге их доводят до спекания, то роман-цемент нельзя отнести к ним, так как он обжигается при температуре, ниже необходимой для спекания, и поэтому роман-цемент приходится отнести к разряду известей и именовать романской известью. Если же за критерий брать характер процесса твердения, то романскую известь следует отнести в разряду подлинных цементов.

Цвет роман-цемента желтовато-бурый до красновато-бурых оттенков. Удельный вес около 2,7. Все разновидности роман-цемента обладают быстрым схватыванием, совершающимся всего в течение 15—20 мин., причем при схватывании они несколько нагреваются.

Хорошего качества роман-цемент обладает постоянством объема как на воздухе, так и в воде.

Обычно он содержит от 35 до 45% силикатных составляющих, так что его гидравлический модуль лежит между 1,3 и 1,7. Кроме извести в состав роман-цемента может входить также в значительном количестве и магнезия, причем основные его свойства от этого не изменяются. Роман-цементы в большинстве случаев получают обжигом мергелей соответствующего состава; иногда пользуются искусственной смесью из нескольких видов сырья. Необходимая для правильного обжига температура составляет приблизительно 900°. Так как роман-цементы свободной извести не содержат, то после об-

жиги они не гасятся и должны быть подвергнуты размолу. Обжиг производится в обыкновенных или автоматических шахтных печах; для размола применяются машины и аппараты, уже описанные в гл. V.

Ниже приводятся типичные анализы роман-цементов различного происхождения.

Таблица 25

	I	II	III	IV
	%	%	%	%
Извести	51,64	45,63	51,73	53,59
Магнезии	1,43	4,53	3,84	2,01
Кремнезема	22,58	35,28		25,40
Двуокиси титана	—	0,14		—
Глинозема	10,85	5,84	42,66	10,00
Окиси железа	4,98	4,34		2,97
Заиси марганца	—	0,50	—	—
Окиси калия	—	0,81	—	—
Окиси натрия	—	0,80	—	0,52
Серного ангидрида	1,72	—	1,64	1,03
Нерастворимого остатка	4,27	—	—	3,55
Неопределено	—	—	0,13	—
	97,47	97,87	100,00	99,07

I. Роман-цемент из Порта - Вестфалика (анализ Кюля и Кноте).

II. Роман-цемент из Штаудаха, Верхняя Бавария.

III. Роман-цемент из Эхингена, Вюртемберг.

IV. Роман-цемент из Куфштейна, Тироль.

Кюль и Кноте дают нижеследующие анализы весьма богатых магнезией разновидностей американских роман-цементов (в процентах):

	I	II
Извести	37,60	33,70
Магнезии	16,65	20,94
Кремнезема	22,75	24,30
Глинозема	16,70	5,06
Окиси железа		7,22

Как показали исследования Гирша, температура обжига имеет весьма значительное влияние на качество готового продукта и здесь, при производстве роман-цемента из мергелей. Один романский мергель с содержанием 67,1% CaCO_3 и 2,3% MgO , будучи обожжен при 900°, показал в растворе сопротивление разрыву через 28 дней хранения в воде 18,4 кг и сопротивление сжатию 96 кг/см². При указанной температуре еще не вся углекислота была выделена из мергеля и удалена, и он содержал еще 5,22% CaCO_3 .

Обжиг при температуре 1000°С дал продукт с сопротивлением растяжению через 28 дней всего лишь 6,5 кг и сжатию — 10 кг; при 1100 и 1200°С прочность оказалась еще меньше.

¹ Вып. XII, стр. 303.

Искусственный роман-цемент согласно описанному в германском патенте № 440795 способом производится следующим образом: „обоженная и подвергнутая мокрому или сухому гашению известь тщательно смешивается с глиной или с другими заменяющими ее веществами; смесь обжигается; в качестве топлива пользуются по возможности горючим сланцем; затем смесь размалывается. К сырой смеси можно добавлять также сланцевую золу. Опыт показал целесообразность добавки в любой стадии производства тонко перемолотого известняка или известкового мергеля“.

Применение для сырой смеси обожженной и гашеной извести эффективно, вообще говоря, потому, что уже обжигом при более низких температурах получается вяжущее вещество, подобное роман-цементу, так как гашеная известь по удалении из нее при вторичном обжиге гидратной воды обладает значительной химической активностью. Остальные содержащиеся в описании данные в смысле научной обоснованности способа доверия вызвать не могут. Прежние патенты того же автора (№ 407534 и 427801) предусматривают совместный обжиг горючего сланца с известью или известковым мергелем в кусках или в виде сырьевого кирпича, сделанного из предварительно измолотой смеси; в качестве топлива применяется сланец, а затем обожженная известь измалывается вместе со сланцевой золой или обожженным сырьем, отформованным из смеси извести со сланцем. В данном случае успешные результаты, которые иногда получались, следует объяснить тем совершенно упущенным автором патента обстоятельством, что добавленный известняк снижал температуру в печи, и таким образом сланцевые шлаки как гидравлическая добавка сохраняли свою активность.

В Германии производство вяжущего вещества, подобного роман-цементу, с применением золы битуминозных сланцев, залегающих в верхних лиассовых отложениях, началось еще в 70-х годах прошлого столетия. Дорн, руководивший в то время производством на сланцеперегонном заводе в Рейтлингене (Бюртемберг), где реторты нагревались также сланцами в качестве топлива, пишет в своем вышедшем в 1877 г. труде¹: „Остатки от сжигания сланцев в молотом виде дают роман-цемент...“. Далее читаем: „Но во всяком случае вяжущие свойства цемента, получаемого перемолом золы лиассовых сланцев, довольно слабые; их можно значительно повысить, если к молотой золе добавлять небольшие количества (примерно $\frac{1}{15}$) портланд-цемента или роман-цемента“. В такой общей форме высказанное утверждение, что молотая зола лиассовых сланцев представляет роман-цемент, является неверным, хотя оно и после Дорна высказывалось неоднократно. Лиассовые сланцы представляют собою глинистый мергель с содержанием примерно 30—35% углекислой извести, 40—50% глины, 10—15% органических веществ и 6—8% сернистого железа. Одна проба золы таких сланцев, исследованная Шмидтом², имела следующий состав (в процентах):

Извести	23,40
Магнезии	0,31
Кремнезема	22,30
Глинозема	6,90
Окиси железа	3,25
Закиси железа	1,20
Серного ангидрида	4,66

¹ Dorn., Der Liasschiefer. Tübingen 1877.

² Schmidt. T. I. 1913, № 126.

Нерастворимых веществ	30,27
Углекислоты	6,49
Воды	1,64

Такого рода бедные известью вещества твердеют только когда они обжигаются при очень низкой температуре. Но теплотворная способность лиассовых сланцев лежит в зависимости от содержания битуминозных веществ между 1000 и 1870 ккал и содержание в них извести также колеблется. Поэтому получить вяжущее вещество, по свойствам своим более или менее близко подходящее к роман-цементу, можно лишь из золы малобитуминозных и сравнительно богатых известью сланцев.

Роман-цемент также не выдерживает долгого хранения, так как он быстро поглощает влажность и углекислоту; поэтому его следует употреблять по возможности в свежем виде. Роман-цемент применяется для подземной каменной кладки, а также для бетонных работ при небольших сооружениях, но главнейшее применение он находит для внешней оштукатурки зданий, а также карнизов.

В странах, потребляющих роман-цемент в более значительных количествах, чем это имеет место в Германии, изданы технические условия и нормы для испытания и приемки по образцу германского стандарта для портланд-цемента. Приводим австрийские нормы для роман-цемента.

АВСТРИЙСКИЕ НОРМЫ ДЛЯ РОМАН-ЦЕМЕНТА

а) Определение роман-цемента

Роман-цементы представляют собою продукт не доводимого до спекания обжига богатых глиной известковых мергелей, не-гасящийся при увлажнении и подлежащий поэтому превращению в порошок путем механического измельчения.

б) Упаковка и вес

Роман-цемент отпускается по весу, расценка устанавливается за каждые 100 кг брутто.

Желательно, чтобы бочки с роман-цементом имели нормальный вес, а именно — 250 кг брутто каждая бочка. Поставка роман-цемента в мешках допускается, причем мешки должны иметь нормальный вес 60 кг брутто.

Колебания в весе брутто отдельных мест допускаются до 2%, без предъявления претензий.

Вес тары при поставке в бочках не должен превышать 5% веса брутто, а при поставке в мешках — не более 1,5%.

Как на бочках, так и на мешках должны быть указаны фирма, наименование — роман-цемент и вес брутто. Мешки по требованию заказчика снабжаются пломбами, причем на одной стороне пломбы указывается фирма, а на другой — слово роман-цемент.

Пояснение к п. 1. Для упрощения приемки желательно установить стандартный вес тары для роман-цемента — бочек и мешков.

в) Сроки схватывания

Роман-цементы разделяются на быстро, средне-и медленно схватывающиеся.

Быстро схватывающимися называются такие роман-цементы, начало схватывания которых без примеси песка наступает на воздухе через 7 мин.

считая с момента добавления воды. Роман-цемент, начало схватывания которого наступает более чем через 15 мин., называется медленно схватывающимся.

Между быстро и медленно схватывающимися роман-цементами находятся схватывающиеся со средней скоростью.

Пояснение к п. П. Роман-цемент разделяется согласно нормам на сорта в зависимости от начала его схватывания; вот почему определение его свойств в этом отношении играет важную роль. Так как для быстро схватывающихся сортов роман-цемента время от момента затворения до начала схватывания весьма коротко, то особенно важно точно его знать и учитывать при строительных работах для этой именно разновидности во избежание ослабления прочности при излишнем промедлении в переработке растворов.

Для определения нормальной консистенции служит прибор, состоящий из станины, снабженной шкалой с делениями в миллиметрах. В направляющей движется металлический стержень, зажимаемый установочным винтом; на верхнем конце стержня насажен металлический диск, а на нижнем конце имеется латунный цилиндр (измеритель консистенции), диаметр которого равен 1 см. Общий вес стержня вместе с диском и цилиндром составляет 800 г.

Для определения начала и конца схватывания роман-цемента применяются нормальная игла и описанный измеритель консистенции.

Имея в виду, что на схватывание роман-цемента большое влияние имеет количество добавляемой воды, для испытания необходимо применять раствор определенной нормальной консистенции.

Кольцевая форма, в которую помещают испытываемый раствор, делается из эбонита и имеет диаметр 8 см и высоту 4 см. Кольцо кладется на толстую стеклянную пластинку, одновременно служащую для него дном. Когда латунный цилиндр опущен до самого дна, стрелка у стержня находится у нулевого деления; стрелка таким образом при любом положении стержня указывает на шкале расстояние торца цилиндра от нижней плоскости кольцевой формы.

Для испытания роман-цемента на схватывание затворяют 400 г роман-цемента с приблизительно необходимым количеством воды и перемешивают тесто ложкой в течение 3 мин. при медленно и среднесхватывающихся цементах, а при быстро схватывающихся — в течение 1 мин. Тесто без ударов и утряски переносят в кольцевую форму, снимают излишек и выравнивают поверхность в плоскости верхнего края кольца. Наполненное таким образом кольцо вместе со стеклянной пластинкой ставят затем под цилиндр для измерения консистенции и осторожно его доводят до соприкосновения с верхней поверхностью теста. Затем дают стержню под влиянием собственного веса погрузиться в цементное тесто, и, если цилиндр остановится на высоте 6 мм от нижнего края кольца, т. е. если стрелка остановится на делении 6, то тесто имеет нормальную консистенцию.

Если при первом опыте достигнуть этого не удалось, то количество воды следует изменять, пока не будет получено тесто требуемой консистенции. Когда количество воды для теста нормальной консистенции установлено, переходят к определению начала и срока схватывания.

Для этой цели в описанном выше приборе стержень заменяют нормальной иглой — стальной цилиндрической иглой диаметром в 1,13 мм (сечение 1 мм²). Игла эта имеет такую же длину, как цилиндр, вес ее вместе со стержнем и диском составляет 270 г, поэтому иглу необходимо догрузить до 300 г, положив на диск добавочную гирику в 30 г.

Кольца заполняют тестом нормальной консистенции, как было описано выше, затем опускают осторожно иглу до соприкосновения с поверхностью теста, повторяя эту и описываемую ниже процедуру через короткие промежутки времени и ставя иглу в различных местах поверхности теста.

Вначале освобожденная игла опустится вниз под влиянием собственного веса и дойдет до стеклянной пластинки, служащей дном кольцевой формы; в дальнейшем, по мере затвердевания теста, игла станет в нем все более и более задерживаться.

Момент, когда игла перестает проникать до самого низа, принимается за начало схватывания.

Тот момент, когда тесто затвердеет настолько, что игла уже не в состоянии оставить на поверхности его сколько-нибудь заметных следов, называется концом схватывания роман-цемента, а промежуток времени, протекающий от прилития воды до указанного момента, представляет срок схватывания.

На схватывание роман-цемента оказывает влияние температура воздуха и воды взятой для затворения, т. е. повышенная температура ускоряет процесс схватывания, а пониженная, наоборот, его замедляет; поэтому испытание роман-цемента для определения сроков схватывания следует производить при температуре воды и воздуха, лежащей между 15—18°.

В тех исключительных случаях, когда испытание приходится вести в иных условиях, в записях должна быть отмечена температура как воды, так и воздуха.

При быстро схватывающихся роман-цементах схватывание обычно сопровождается весьма значительным повышением температуры. Роман-цементы со средним и медленным схватыванием не должны показывать значительного нагрева. При продолжительном вылеживании в сухом месте роман-цемент получает более медленное схватывание, а кроме того, если он имел тенденцию к непостоянству объема, то она обычно исчезает; вследствие этого качества продукта улучшаются.

г) Постоянство объема

Роман-цемент должен обладать постоянством объема как на воздухе, так и под водой.

Пояснение к п. III. У некоторых роман-цементов после схватывания наблюдается увеличение объема, сопровождаемое постепенным ослаблением первоначальной прочности раствора, в результате чего получается растрескивание массы и часто ее совершенное распадение.

Явление это, именуемое „непостоянством объема“ цемента, наступает не тотчас после его схватывания, а спустя некоторое более или менее продолжительное время.

Вязущее вещество, обладающее таким свойством, таит в себе опасность разрушения выполненных на нем сооружений. Роман-цемент поэтому должен удовлетворять требованию постоянства объема.

Роман-цемент лишь в том случае может считаться обладающим постоянством объема, когда, будучи затворен с водой без добавления песка, он долгое время как на воздухе, так и под водой сохраняет без изменения форму, приданную изготовленному из него тесту.

Роман-цемент должен испытываться на постоянство объема непременно как на воздухе, так и в воде путем наблюдений над состоянием пробных лепешек, приготовленных из чистого цемента (проба лепешкой).

Для указанной цели роман-цемент затворяется с водой, и из полученного теста на стеклянных пластинках изготавлиются лепешки диаметром около 10 см и толщиной в середине около 1 см; от середины к краям толщина лепешек постепенно убывает.

Чтобы тесто для лепешек легче растекалось, воды берут примерно на 10% больше, чем установлено для теста нормальной консистенции.

Для предохранения изготовленных таким образом лепешек от растрескивания при быстром высыхании и появления усадочных трещин их необходимо держать в защищенном от сквозняков и солнечных лучей помещении, лучше всего в ящиках с влажным воздухом. По истечении 24 час. и в всяком случае не ранее окончания схватывания одна серия лепешек вместе со стеклянными пластинками берется для хранения на воздухе в помещении, защищенном от сквозняков и солнечных лучей; другая серия кладется в воду, где она должна оставаться по крайней мере 27 дней.

Если в течение этого времени поверхность лепешек окажется искривленной или появятся радиальные, уходящиеся от центра к краям трещины, то это с несомненностью укажет на непостоянство объема роман-цемента.

Если же лепешки никаких изменений не покажут, то данный роман-цемент может считаться обладающим постоянством объема.

д) Тонкость помола.

Роман-цемент должен быть перемолот насколько возможно в тонкий порошок. Тонкость помола проверяется с помощью двух сит — одного в 2500 отверстий на 1 см² при толщине проволоки 0,07 мм и другого в 900 отверстий на 1 см² при толщине проволоки 0,10 мм.

Остаток после просева на сите в 2500 отверстий не должен превышать 36%, а на сите 900 отверстий — 18%.

Пояснение к п. IV. Роман-цемент употребляется главным образом в растворах с песком и щебнем; механическая прочность раствора, равно как и его сцепляемость и водонепроницаемость, возрастает с увеличением тонкости помола цемента; более грубые зерна, содержащиеся в цементе, играют такую же роль, как и добавляемый к раствору песок; поэтому всеми мерами необходимо добиваться получения продукта максимальной тонкости; последняя проверяется однообразным для всех случаев способом с помощью сит с отверстиями определенной величины, установленной соответствующими нормами.

Для каждого просева берется проба роман-цемента весом в 100 г. Вместе с тем следует отметить, что было бы ошибкой единственным признаком хорошего качества роман-цемента считать одну лишь тонкость помола; более слабые мягкие цементы гораздо чаще оказываются перемолотыми в очень тонкий порошок, чем хорошие, сильно обожженные цементы; последние тем, не менее даже при менее тонком помоле обычно обладают значительно большей прочностью.

е) Прочность

Прочность роман-цемента определяется путем составления смеси его с песком с последующим испытанием механических свойств этой смеси.

Нормальной считается смесь, составленная из одной весовой части роман-цемента с тремя весовыми частями нормального песка.

Испытания на сжатие и растяжение должны производиться по

однообразному методу с применением образцов одинаковой формы и одинакового сечения с использованием для этой цели правильно сконструированных приборов.

Образцы для испытания на разрыв должны иметь в поперечном сечении 5 см^2 ($2,25 \times 2,22 \text{ см}$); образцы для испытания на сжатие должны иметь форму кубиков с площадью граней 50 см^2 (длина ребер $7,07 \text{ см}$).

В течение первых 24 час. после их изготовления все образцы должны выдерживаться во влажном пространстве, а остальное время до испытания они должны храниться в воде.

Испытание на растяжение через 7 и 28 дней служит для проверки однородности всей испытываемой партии. Решающим для оценки качества цемента испытанием считается однако испытание на сжатие через 28 дней.

Пояснение к п. V. Так как роман-цемент применяется почти исключительно в растворах с песком, то испытанию подвергается смесь из 3-х весовых частей песка на 1-ю весовую часть роман-цемента; такая пропорция удобна для выявления прочности раствора с достаточной для практики точностью.

Однако в отдельных случаях рекомендуется определять прочность чистого роман-цемента без добавок.

Практикой установлено, что химические и физические свойства песка, применяемого для раствора, имеют очень большое влияние на его прочность. Настоятельно необходимо поэтому в целях достижения однообразных и сравнимых результатов применять песок всегда одного и того же свойства, одной и той же крупности и в одном и том же весовом количестве.

Чтобы приготовить такой нормальный песок, надо взять природный, по возможности чистый кварцевый песок и, промыв его, подвергнуть после сушки просеву через сито в 64 отверстия на 1 см^2 (при толщине проволоки $0,40 \text{ мм}$) для отделения крупных зерен. Затем, просеяв его через сито в 144 отверстия на 1 см^2 (при толщине проволоки $0,30 \text{ мм}$), удаляют из песка более мелкие зерна.

Остаток на втором из этих сит и является нормальным песком.

Решающее значение испытанию на сжатие придается потому, что на практике растворы чаще всего подвержены действию сжимающих нагрузок; так как опытом установлено, что соотношение между сопротивлением растяжению и сжатию у различных цементов неодинаково, то нет возможности по величине сопротивления растяжению с достаточной для практики надежностью судить об ожидаемом сопротивлении сжатию. Испытание на сжатие должно производиться не ранее как через 28 дней; при испытании на сжатие в более короткие сроки качества роман-цемента как сравнительно медленно твердеющего вяжущего вещества не могут быть выявлены с достаточной ясностью.

В тех случаях, когда это допускают обстоятельства, желательно испытывать прочность растворов также в более длительные сроки, чтобы в случае замедленного твердения данного вида роман-цемента иметь возможность установить наличие дальнейшего возрастания прочности, впоследствии не уступающей другим разновидностям роман-цемента и даже иногда превосходящей их.

Ввиду некоторой сложности изготовления образцов для испытания на сжатие, а также ввиду высокой стоимости приборов для таких испытаний проверку однородности качества партии роман-цемента проще производить путем определения прочности на разрыв. Образцы на разрыв испытываются через 7 и 28 дней твердения — в первый срок — в целях скорейшего выявле-

них результатов, во второй — чтобы установить, как протекает возрастание прочности.

К данным о механическом испытании образцов прилагаются также данные о весе, причем указывается вес 1 л в рыхлом состоянии как роман-цемента, так и нормального песка, насыпанных в цилиндрический сосуд, имеющий высоту в 10 см и указанную выше емкость. Насыпка производится через сито в 64 отверстия на 1 см² при толщине проволоки 0,40 мм; при просеивании сито должно находиться на расстоянии около 15 см от верхнего края сосуда.

Просеивание материала через сито продолжают до тех пор, пока под сосудом не образуется конус, покрывающий своим нижним основанием верхний край сосуда; конус затем удаляется правильной железной линейкой, придающей материалу ровную с краями сосуда поверхность.

Во время производства этой операции сосуд должен находиться в полном покое.

ж) Сопротивление растяжению и сжатию

Образцы с песком из роман-цемента хорошего качества через 28 дней (первые 24 часа на воздухе, остальные 27 дней в воде) и через 7 дней (первые 24 часа на воздухе, остальные 6 дней в воде) должны обладать сопротивлением не менее минимальных указанных в таблице значений.

Таблица 26

Сорта роман-цемента	Продолжительность твердения	Временное сопротивление сжатию кг/см ²	Временное сопротивление растяжению кг/см ²
Роман-цементы, медленно и со средней скоростью схватывающиеся	28 дн. 7 "	80 —	10 5
Быстро схватывающиеся роман-цементы. . .	28 " 7 "	60 —	8 4

Среднее из четырех наилучших результатов, полученных при испытании шести образцов, принимается за среднее сопротивление для соответственного срока хранения.

Пояснение к п. VI. Приготовление образцов

а) Общие замечания. Образцы, подлежащие испытанию на раздавливание, изготавливаются, как правило, механическим способом; образцы на растяжение могут готовиться как механическим, так и ручным способами. В таблице с результатами испытания должен быть упомянут способ изготовления образцов — механический или ручной. В сомнительных случаях решающее значение имеет всегда результат, относящийся к механически изготовленным образцам.

Для каждого испытания прочности необходимо готовить по шести образцов для каждой возрастной группы.

Хорошо перемешанную сухую смесь роман-цемента с песком затворяют с определенным, полученным из расчета или взятым на основании приво-

димых ниже указаний количеством воды; раствор энергично перемешивают, считая с момента затворения при быстро схватывающихся цементах в течение 1 мин., при медленно и нормально схватывающихся — в течение 3 мин.; затем его тотчас же переносят в формы, перед этим тщательно очищенные и смоченные водой. Последующее добавление раствора в формы не допускается.

Изготовление образцов во всяком случае должно быть закончено до начала схватывания роман-цемента. Это требует большого умения и тщательности работы, особенно в тех случаях, когда приходится иметь дело с быстро схватывающимися цементами.

Формы для образцов на растяжение должны иметь зажимы, в достаточной мере сопротивляющиеся давлению, возникающему при наполнении форм раствором; при недостаточной надежности зажимов, если они при формовке сдвигаются, сечение в месте разрыва увеличится, и результаты испытания получатся неправильные. По этой же причине пружинные зажимы для разъемных форм не допускаются.

б) Изготовление образцов механическим способом. В целях получения таких результатов, которые позволяли бы производить сравнение прочности на растяжение с прочностью на сжатие, необходимо, чтобы образцы для того и другого испытаний изготавливались из растворов, имеющих одинаковую консистенцию и одинаково уплотненных. Это достигается, с одной стороны, применением в обоих случаях одной и той же пропорции воды, а с другой, — затратой на прессование раствора одинаковой работы на каждую единицу объема сухого вещества.

Правильную пропорцию воды находят следующим образом. Берут 750 г сухой нормальной, основательно перемешанной смеси и смачивают ее равномерно некоторым, принятым по предварительной оценке количеством воды; затем смесь снова перемешивают при быстро схватывающемся цементе в течение 1 мин., а при медленно и со средней скоростью схватывающемся — в течение 3 мин.

Полученным таким образом раствором сразу заполняют форму ударного аппарата, служащего для приготовления кубиков, после чего раствор уплотняется 150 ударами падающего с высоты 0,5 м груза или молотка весом в 3 кг.

Если после 150-го удара на поверхности раствора замечается выделение небольшого количества воды, это показывает, что количество воды для раствора взято правильное. Если такого явления не наблюдается, опыт повторяется каждый раз с новым количеством воды до тех пор, пока после последнего удара не получится выделения воды на поверхности.

Найденное таким образом количество воды, выраженное в процентах, дает нормальную консистенцию раствора, которая должна применяться для приготовления всех образцов.

Механическая работа, которая должна быть затрачена для изготовления образцов, принимается равной 0,3 кг/м на 1 г сухой смеси.

При механическом способе образцы изготавливаются по одному для каждого образца на сжатие; берут 750 г сухой нормальной смеси, для образца на растяжение — 200 г; смесь затворяют с водой в установленном согласно сказанному выше процентном количестве.

Полученный таким образом нормальный раствор сразу переносится в коробку формы, и затем с помощью точно пригнанного стержня уплотняют раствор для образцов, испытываемых на сжатие, 150 ударами падающего с высоты 0,5 м груза весом в 3 кг, а для образцов на разрыв — только 120 ударами груза весом в 2 кг, падающего с высоты 0,25 м.

Вслед за последним ударом бабы снимают стержень и верхнюю коробку формы; срезают ножом излишний материал и сглаживают поверхность кубика; по окончании схватывания раствора вынимают образцы из форм.

Ударные аппараты для изготовления образцов должны быть установлены на непружинящих основаниях, лучше всего выполненных из каменной кладки или бетона.

При тщательном соблюдении указанных выше правил, в частности указания о затрате механической работы на единицу веса сухого вещества, можно достигнуть почти одинаковой плотности как для образцов, испытываемых на растяжение, так и для образцов, испытываемых на сжатие.

Для проверки этого чрезвычайно важного условия и в целях правильной оценки качества изготовленных ручным способом образцов необходимо тотчас же по их изготовлении определить вес единицы объема; средние значения плотности образцов, предназначенных для испытаний как на сжатие, так и на растяжение, также должны быть отмечены в результатах испытаний.

в) Изготовление восьмерок ручным способом. Для роман-цемента, медленно и со средней скоростью схватывающихся, одновременно изготавливают три образца; для быстро схватывающихся каждый образец готовится отдельно.

Для трех одновременно изготавливаемых образцов берут 150 г роман-цемента и 450 г нормального песка, все всыпают в чашку, основательно перемешивают и затем затворяют чистой водой. Воды надо брать столько, чтобы раствор имел консистенцию сырой земли. Три формы, поставленные на металлическую или толстую стеклянную пластинку, заполняют раствором одновременно так, чтобы раствор выступал над каждой формой. С помощью железного шпателя весом 350 г и длиной 35 см, в уширенной части имеющего размеры 5×8 см и толщину 0,5 см, уколачивают выступающую сверху часть раствора сначала с боков, слегка, затем все сильнее и сильнее, вгоняя таким образом раствор в форму до тех пор, пока на поверхности его не начнет выступать вода.

Затем срезают ножом излишки раствора и сглаживают им верхнюю поверхность образца. Когда раствор совершенно схватится, образцы осторожно вынимают из форм.

г) Приготовление образцов из чистого роман-цемента. Образцы из чистого роман-цемента для испытания на разрыв изготавливаются или механическим, или ручным способом, или наконец отливкой.

Образцы, предназначенные для испытания на сжатие, должны изготавливаться исключительно механическим способом — приемами, уже описанными в методике изготовления образцов из раствора с песком; это относится как к восьмеркам, так и кубикам из чистого цемента. Необходимое количество воды определяется для каждого испытания указанными уже ранее способами.

При изготовлении восьмерок ручным способом необходимо соблюдать правила, установленные для изготовления образцов из растворов нормальной консистенции с песком.

Образцы для испытания на разрыв из текучего теста отливкой изготавливаются следующим образом. Три формы, слегка смазанные с внутренней стороны маслом, ставят на металлическую или стеклянную пластинку. Затворяют затем 600 г роман-цемента с водой в количестве, необходимом для получения текучей консистенции, достигаемой при добавлении воды на 10% более того количества, которое требуется для нормальной конси-

стемии. Тесто хорошо перемешивают в продолжение 1—3 мин., в зависимости от времени начала схватывания данного роман-цемента, заполняют им формы и сглаживают поверхность образцов ножом.

Разъемку форм производят, когда масса в достаточной мере затвердеет.

Хранение образцов

Первые 24 часа образцы должны сохраняться на воздухе, причем во избежание неравномерного их высыхания их необходимо держать в хорошо закрытом влажном пространстве. Затем, вплоть до момента их испытания образцы выдерживаются в воде.

Воду, в которой хранятся образцы, в течение первых четырех недель надо менять каждую неделю, причем необходимо следить за тем, чтобы образцы были всегда покрыты водой. Для образцов, остающихся в воде на сроки более четырех недель, достаточно время от времени пополнять испаряющуюся воду добавкой свежей воды, чтобы образцы постоянно находились под поверхностью воды.

Испытание образцов

Образцы, вынутые из воды, должны тотчас подвергаться испытанию. Для каждой возрастной группы сопротивление сжатию и растяжению вычисляется из результатов испытания шести образцов.

Скорость возрастания нагрузки при испытаниях на растяжение оказывает особенное влияние, поэтому она должна при всех испытаниях составлять 100 г/сек.

При закреплении восьмерок в зажимы прибора необходимо следить за тем, чтобы растягивающее усилие было направлено строго перпендикулярно к плоскости разрыва образца.

Чтобы при испытаниях на сжатие получались однородные и правильные результаты, необходимо кубики на пресс ставить так, чтобы сжатие прилагалось к двум боковым его граням, а не к тем, которые при изготовлении образца представляли собою его нижнюю и верхнюю поверхности.

8. Доломитная известь или доломитный цемент

Доломитная известь или доломитный цемент, т. е. доломит с незначительным содержанием силикатных составляющих, обожженный при температуре не выше 750° , представляет собою вяжущий материал, занимающий обособленное место среди других разновидностей гидравлической извести. В то время как твердение гидравлической извести и цементов является следствием образования гидросиликатов, причину твердения доломитовой извести следует искать в недостаточно еще изученном взаимодействии, происходящем после затворения между окисью магния и углекислой известью, еще не разложившейся при вышеуказанной температуре. Неоднократно по этому поводу высказывались сомнения, но существование таким образом твердеющего материала опытами Шоха, Гириша и Фрица с несомненностью подтверждается. Гириш подверг обжигу при 855° доломит, содержащий 58,8% CaCO_3 и 36,4% MgCO_3 ; полученный им продукт имел следующий состав:

CaO	MgO	SiO ₂	RI ₂ O ₃	CO ₂
42,1%	22,2%	4,4%	1,4%	29,9%

Нормальный раствор этого продукта через 28 дней хранения под водой показал прочность на разрыв 6,8 кг и на сжатие — 18 кг/см². Опти-

тическое исследование обнаружило наличие еще неразложенного доломита и углекислой извести. Необходимо отметить, что температура обжига, по-видимому, была взята слишком высокой, по крайней мере Фриц в результате обжига при 700° доломита (из Франконской юры) с $59,56\%$ CaCO_3 и $39,77\%$ MgCO_3 , т. е. породы, по составу весьма близкой к нормальному доломиту, с содержанием всего только $0,3\%$ песчано-глинистых частей, получил продукт, показавший значительно более высокую прочность. Фриц предложил кроме того способ (патент № 413901), дающий возможность получить из таких доломитов довольно высококачественный вяжущий материал (сопротивление сжатию в среднем 172 кг/см^2 через 28 дней комбинированного хранения), причем во время обжига устраняется трудная для выполнения необходимость поддерживать все время строго определенную температуру обжига. При соответствующем подборе сырья относящиеся к этой группе вяжущие материалы отличаются чистым белым цветом.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИЗВЕСТИ СОЮЗА ГЕРМАНСКИХ ИЗВЕСТКОВЫХ ЗАВОДОВ

Условия поставки и свойства. Известь поступает в продажу в виде:

- а) негашеной комовой извести (едкая известь, кипелка);
- б) негашеной молотой извести (молотая негашеная, молотая едкая известь);
- в) гашеной извести;
- г) гашеной молотой извести.

Если молотая известь еще обладает способностью гаситься, при поставках это должно быть ясно и отчетливо отмечено.

Негашеная известь должна быть достаточно хорошо защищена от доступа влаги.

Белая или серая известь, будучи погашена при испытании в сухой порошок и предварительно просеяна через нормальное сито № 4 (16 отверстий на 1 см^2 при ширине отверстий $1,5 \text{ мм}$)¹, должна оставлять не более 2% непогасившихся камневидных частей при просеве через нормальное сито № 10 (100 отверстий на 1 см^2 при ширине отверстий $0,60 \text{ мм}$). Гашеная молотая известь при просеве через сито № 30 (900 отверстий на 1 см^2 при ширине отверстий $0,20 \text{ мм}$) не должна давать более 10% остатка.

Для определения качества извести производится испытание на выход теста или порошка при гашении, тонкость помола, постоянство объема и механическую прочность.

а) Испытание

Выход продуктов гашения. Испытанию на выход при гашении подвергается лишь известь, поставляемая в негашеном виде (в кусках или в порошке), гарантируемая в этом отношении производящим поставку за водом.

Белая известь. 5 кг белой комовой извести, погашенной в тесто, должны в среднем дать не менее 12 л теста.

Серая известь. 5 кг серой комовой извести, погашенной в порошок, должны давать в среднем не менее 12 л известкового порошка (в рыхлом состоянии).

Гидравлическая известь. 5 кг комовой гидравлической извести,

¹ Сито должно удовлетворять условиям стандарта DIN № 1171.

погашенные в порошок, должны давать в среднем не менее 10 л порошка (в рыхлом состоянии).

Пояснения. а) Гашение извести в тесто производится следующим образом. Берут два деревянных ящика с доньями, обшитыми цинком или оцинкованным железом, размерами внутри $31,7 \times 31,7$ см и глубиной 40 см (емкостью каждый около 40 л). В каждом ящике раскладывают по дну 5 кг извести кусками величиною с орех, после чего наливают воду, имеющую температуру $+20^\circ$, так, чтобы она покрывала всю известь. Когда начнется гашение, при непрерывном перемешивании постепенно прибавляют воду до тех пор, пока не погасится вся известь. Если затем оставить массу в покое, должно получиться густое тесто, не выделяющее воды. Такой пробой определяется необходимое для гашения количество воды и вместе с тем устанавливаются продолжительность и характер процесса гашения.

Первые 24 часа по окончании гашения ящики держат закрытыми, затем их открывают и, не допуская сотрясений, оставляют в лаборатории до тех пор, пока на поверхности теста не начнут появляться трещины. Затем определяют вес полученного известкового теста по разности между весом ящика вместе с тестом и весом порожнего ящика и измеряют высоту теста. Далее определяется вес 1 л полученного теста, для чего им заполняют кружку емкостью в 1 л, слегка ее при этом встряхивая; по полученному весу единицы объема и весу всего теста вычисляют выход его в литрах.

Для определения количества непогашенных частиц превращают, прибавляя воду, часть теста в известковое молоко и последнее пропускают через нормальное сито № 30; полученный на сите остаток высушивают и взвешивают. Количество непогашенных частей указывается в процентах от негашеной извести.

Непогашенные части испытываются на дополнительное гашение; для этой цели их повторно смачивают водой (или кладут в воду) и наблюдают их распадение.

б) Гашение извести в порошок проводится так. В круглые проволоочные корзины диаметром 25 см и высотой 30 см насыпают по 5 кг извести (в кусках величиною с орех), затем погружают корзины в воду, имеющую температуру $+20^\circ$ и вес, заранее определенный; корзины держат в воде до тех пор, пока на поверхности воды не прекратится бурное выделение пузырьков воздуха, и высыпают затем содержимое корзин в ящики для гашения. Если количество впитавшейся воды недостаточно и не дает полного распада извести в порошок, то при вторичной пробе, как только начнется распадение извести, осторожно добавляют необходимое количество воды из лейки с сеткой, распределяя воду по всей поверхности извести и замечая вес добавленной воды.

В результате получается полное количество затраченной на гашение извести воды и устанавливаются также продолжительность и характер процесса гашения.

По окончании гашения ящики закрывают и оставляют на 3 дня в лаборатории, не допуская сотрясений.

Чистый вес полученного известкового порошка определяется как разность между весом ящика с известковым порошком и весом порожнего ящика. Установив кроме того вес 1 л продукта, переводят затем вес всего полученного порошка в литры.

Просевом через нормальное сито № 4 (16 отверстий на 1 см^2 при ширине отверстий 1,5 мм) отделяют камневидные частицы и определяют тонкость полученного сухого порошка гидрата, пропуская его через сито № 10.

(100 отверстий на 1 см^2 при ширине отверстий 0,60 мм), причем остаток на этом сите не должен превышать 2%. Затем определяют остаток на сите № 30 (900 отверстий на 1 см^2 при ширине отверстий 0,20 мм), а также потерю при прокаливании. Непогашенные частицы, оставшиеся на сите № 10, подвергаются затем испытанию на дополнительное гашение так же, как это было указано при гашении извести в тесто.

Тонкость помола. Молотый продукт на нормальном сите № 30 должен оставлять не более 10%, причем этот остаток должен иметь такую тонкость, чтобы он без остатка проходил через сито № 10.

Постоянство объема. Правильно и полностью погашенная гидравлическая известь обладает постоянством объема.

Непогашенная или не вполне погашенная известь перед производством испытания на постоянство объема должна быть совершенно погашена.

Испытание производится так. Изготавливаются лепешки диаметром около 8 см, толщиной 8—10 мм в центральной части и постепенно утончающиеся к краям. Лепешки сначала должны быть выдержаны во влажном пространстве в течение времени, необходимого для превращения их в водостойчивое состояние. Для этого их сохраняют в цинковом ящике, крышки которого изнутри покрыты войлоком, находящимся постоянно слегка во влажном состоянии.

Чтобы определить момент достижения раствором водостойчивости, берут ежедневно из ящика по одной лепешке. Лепешку помещают в воду и наблюдают, покажет она или нет после 24-часового хранения под водой трещины или другие признаки разрушения, например разбухание, размягчение и т. п.

До тех пор пока такого рода явления еще замечаются, нельзя считать, что водостойчивость уже достигнута.

Лепешки, выдержанные таким образом в течение достаточного промежутка времени во влажном воздушном пространстве, предохраняющем их от высыхания, помещают в ванны, наполненные водой комнатной температуры.

Если лепешки после 10-дневного нахождения их под водой не покажут трещин или искривлений, данная известь считается обладающей постоянством объема.

Прочность раствора. Прочность определяется испытанием образцов, приготовленных из раствора, состоящего из 1 весовой части в безводном, т. е. непогашенном, состоянии и 3 весовых частей нормального песка для извести.

Прочность должна быть не менее цифр, показанных в кг/см² в табл. 27.

Пояснение. Для испытания механических свойств необходимо брать определенный, так называемый нормальный песок для извести. Для получения нормального песка берут чистый кварцевый песок из залежей во Фрейнвальде, промывают его и после сушки просеивают через сито № 10 для более крупных частей, а затем через сито № 24 (576 отверстий на 1 см^2 при ширине отверстий 0,16 мм) для отсева более мелких зерн. (Наблюдение за изготовлением нормального песка лежит на Государственной станции испытания материалов, Берлин — Далем.)

Образцы следует держать на воздухе или в воде при комнатной температуре (+15 до 20°). Для серой и гидравлической извести испытание образцов водного хранения имеет целью установить, обладает ли данное вяжущее вещество гидравлическостью. При хранении под водой образцы из гидравлической извести должны показать прочность не меньшую, чем об-

образцы, выдержанные на воздухе. При испытании серой извести этим путем можно также установить, возможен ли перенос образцов в воду более раннего возраста, чем 21 день. В целях получения достаточно надежных цифровых результатов необходимо для каждого опыта готовить по крайней мере 5 образцов для испытания на растяжение и 5 образцов для испытания на сжатие. Для испытания на растяжение образцы имеют форму восьмерок с сечением в узкой части, равным 5 см^2 , для испытания на сжатие служат кубики с длиной ребра $7,07 \text{ см}$, что соответствует поверхности грани 50 см^2 .

Таблица 27

Хранение	на воздухе				под водой			
	Соппротивление		растяжению		сжатию		растяжению	
Через дней	28	56	28	56	28	56	28	56
Белая известь (только на воздухе)	2	3	6	8	—	—	—	—
Серая известь (в воду помещать через 21 день)	2	3	6	8	2	3	6	8
Гидравлическая известь (в воду помещать через 7 дней)	4	6	15	25	4	6	15	25
Цементная известь (исключительно для хранения под водой; помещать в воду через 7 дней):								
а) естественная цементная известь	—	—	—	—	4	6	20	30
б) искусственная известь	—	—	—	—	5	8	30	40
Роман-цемент (исключительно для хранения под водой; помещать в воду через 1 день)	—	—	—	—	12	—	60	—

Ниже указываются правила, соблюдение которых дает возможность получать однообразные результаты. Рекомендуется также пользоваться для испытания формами, приборами и аппаратами, применяемыми на Государственной станции испытания материалов, Берлин — Дале.

А. Обработка извести для изготовления нормального раствора

Известь, поступающую в негашеном виде, в кусках или в порошке гасят, смотря по надобности, в тесто или в порошок (см. IV,1). Погашенный продукт оставляют в закрытых ящиках до тех пор, пока вся известь в достаточной мере не погасится. Некоторые заводы, выпускающие в продажу также и молотую гашеную известь, указывают на необходимость до

составления раствора с песком затворять известь с водой и выдерживать полученное тесто в течение более или менее продолжительного времени. В таких случаях испытание следует производить также и по настоящей инструкции.

Погашенная в порошок или тесто известь пропускается через сито № 10 (100 отверстий на 1 см² при ширине отверстий 0,60 мм) для отделения наиболее крупных частей.

Полученный таким образом материал идет для приготовления раствора.

Приготовление нормального раствора

1. Гашение извести и выдержка теста в лаборатории. Учитывая количество необходимой для гашения или содержащейся в доставленном тесте воды, подсчитывают, какое весовое количество гашеной извести соответствует 1 весовой части негашеной извести. На основании этих данных гашеную известь в количестве, соответствующем 1 весовой части негашеной, смешивают с 3 весовыми частями нормального песка сначала ручным способом в чашке, в течение примерно 1 мин., а затем в мешалке системы Штейнбрюк-Шмельцера в продолжение 20 оборотов прибора.

Мешалка (см. гл. XII) должна удовлетворять следующим требованиям:

Вес смесительного валика с осью	21,5—22,0 кг
Вес смесительного валика без оси	19,1—19,4 .
Толщина смесительного валика	8,08 см
Диаметр смесительного валика	20,25—20,35 .
Расстояние валика от чашки	5—6 мм
Расстояние от точки вращения чашки до середины валика	19,7—19,8 см

Испытание поступающего в лабораторию порошка гашеной извести или роман-цемента. Установив потери при прокаливании и содержание в извести углекислоты и подсчитав на основании этих данных, какое весовое количество гашеной извести соответствует 1 весовой части негашеной, добавляют 3 весовые части нормального песка и смесь в течение 1 мин. перемешивают в чашке вручную. К полученной таким образом сухой смеси прибавляют, руководствуясь результатами предварительного опыта, столько воды, сколько нужно для получения раствора консистенции сырой земли. Влажную массу перемешивают вручную еще 1 мин., затем распределяют равномерно в мешалке и продолжают перемешивание в продолжение 20 оборотов.

Совершенно так же поступают с роман-цементом с той лишь разницей, что в данном случае не нужно пересчитывать на непогашенный материал.

Смесь во всех случаях составляется из 400 г извести (отнесенных к негашеному веществу) и 1200 г нормального песка.

Изготовление образцов

Приготовленный согласно нормам раствор берут в количестве 180 (для образцов, испытываемых на растяжение) или 820 г (для образцов, подлежащих испытанию на сжатие), помещают его в соответствующие формы и уплотняют 150 ударами молотка на аппарате Беме, снабженном зажимным приспособлением Мартенса. Выступающую часть раствора снимают ножом, поверхность сглаживают и делают на ней соответствующие обозначения.

Образцы, подлежащие испытанию на растяжение ¹ (см. гл. XII), должны иметь следующие размеры:

наименьшая ширина (в плоскости разрыва)	<i>a</i> —	22,5 мм
толщина	<i>b</i> —	22,5 "
ширина	<i>c</i> —	52,0 "
длина (диаметр описанной окружности)	<i>d</i> —	78,0 "
диаметр	<i>e</i> —	26,0 "
диаметр	<i>f</i> —	10,0 "

Размеры молоткового аппарата ¹ (см. гл. XII):

подъем молотка <i>a</i>	168 мм
длина рычага <i>b</i>	250 "
высота головки <i>c</i>	112 "
ширина головки <i>d</i>	51 "
толщина головки <i>e</i>	51 "
длина концевой части <i>f</i>	85 "
высота концевой части <i>g</i>	70 "
длина короткого рычага <i>h</i>	61 "
высота подшипника <i>i</i>	170 "
вес молотка <i>p</i>	2 кг

Образцы, находящиеся в формах, помещаются на невсасывающие воду подкладки и ставятся в увлажняемые, обитые цинком закрытые ящики. Восьмерки вынимаются из форм спустя полчаса, а кубики — приблизительно через 20 час.

Образцы, назначенные для хранения на воздухе, ставятся с промежутками между ними на трехгранные деревянные планки, в закрытом пространстве, защищенном от сквозняков и имеющем комнатную температуру. Образцы, назначенные для водного хранения, помещаются в воду, имеющую температуру 15—20°. Уровень воды должен стоять на 2 см выше образцов; вода сменяется каждые 14 дней. Образцы укладываются так, чтобы они не касались один другого.

Ход испытания²

Временное сопротивление растяжению определяется на приборе для разрыва по той максимальной нагрузке, которая вызывает разрыв образца. Так как скорость возрастания нагрузки в единицу времени влияет на результат испытания, необходимо следить за тем, чтобы она всегда составляла 100 г/сек. Среднее из полученных для пяти образцов результатов принимается за временное сопротивление данного материала на растяжение.

Для испытания на сжатие применяется пресс с достаточной точностью (до 1%), указывающий величину действующей нагрузки. Временное сопротивление сжатию образца определяется по наивысшему положению указателя нагрузки в момент разрушения образца. Скорость возрастания нагрузки должна составлять приблизительно 10 кг/см² в 1 мин. Среднее из результатов испытания пяти образцов принимается за временное сопротивление сжатию данного материала.

¹ Рисунки см. в гл. XII.

² Образцы, хранимые в воде, вынимаются из нее лишь перед самым испытанием.

При испытании на сжатие давление на кубики должно производиться не в том направлении, в котором они утрамбовывались, а в перпендикулярном к нему, т. е. на боковые поверхности.

9. Подобные цементам вяжущие вещества

Как мы видели выше, на примере роман-цемента и искусственных цементных известей, резкой грани между гидравлическими известями и подобными цементу вяжущими веществами провести нет возможности; тем не менее во второй из названных категорий можно объединить целый ряд вяжущих веществ, в свою очередь разделяемых на две группы:

- 1) вещества, вырабатываемые из естественных горных пород;
- 2) вещества, состоящие из смеси гидрата извести с естественными или искусственными пуццоланами.

а) Натуральные цементы

Мы встречались уже с одним из представителей группы натуральных цементов, а именно с упомянутым на стр. 263 граппье-цементом, который получается при обжиге определенного состава сырья и представляет собой продукт, по своим качествам напоминающий портланд-цемент.

Аналогичные вяжущие вещества можно получить также из мергелей, содержащих:

71—74%	CaCO_3
20—29%	SiO_2
3—12%	R_2O_8

если обжечь их до спекания и затем перемолоть.

Если мергеля содержат около

76—77%	CaCO_3	} \text{ т. е. } 21—23\% \text{ силикатных}
15—16%	SiO_2	
6—7%	R_2O_3	

или в тех случаях, когда продукт дает нижеследующее установленное проф. Кюлем соотношение между составными частями:

$$2 < \frac{\frac{\text{CaO}}{56,1}}{\frac{\text{SiO}_2}{60,3} + \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{102,2} + \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{2,159,7}} \leq 3,$$

то такой продукт можно рассматривать как портланд-цемент. Правда, по мнению Шоха, разделяемому также союзом германских портландцементных заводов, такие естественные (натуральные) цементы нельзя именовать портланд-цементом.

Однако проф. Кюль вполне убедительно доказывает, что такое мнение является совершенно неосновательным. В самом деле, несомненно, что если между натуральными цементами и цементами, полученными из искусственных смесей, и существует какая-нибудь разница, то разница эта во всяком случае говорит в пользу первых, так как в природной смеси отдельные компоненты смешаны гораздо теснее и однороднее, чем даже при наилучшей искусственной обработке сырья. Шох свое отрицательное отношение к натуральному цементу аргументирует тем, что естественные мергели весьма колеблются

в своем составе. Вполне верно, что наблюдаются пласты мергелей, отличающиеся колеблющимся содержанием углекислого кальция и соответственно силикатных составляющих как в направлении мощности пласта, так и в направлении простираения, но в то же время очень часто встречаются и другие пласты, на большом протяжении показывающие поразительную равномерность состава и строения. Однако даже наличие колебаний в составе, если только они находятся в пределах, указанных выше, все же не дает достаточных оснований для того, чтобы по существу не считать продукт производства за портланд-цемент.

Для получения натурального портланд-цемента целесообразно обжигать мергель в автоматических шахтных печах. Для размола клинкера применяются все те измельчающие машины, описание которых мы даем в гл. VIII.

б) Известково-пуццолановые цементы

1. Общие данные об известково-пуццолановых цементах.

Причины твердения. Общие свойства. В разделе II гл. VI уже рассматривались различные воззрения на причины твердения смесей пуццоланических веществ с известью, поэтому здесь мы лишь кратко остановимся на этом вопросе. Проще всего процесс твердения представляется в случае пуццолан, состоящих преимущественно или во всяком случае в значительной своей части из растворимой кремнекислоты, как например трепел и сиштоф. Так как растворимая кремнекислота в присутствии воды реагирует с окисью кальция, образуя гидросиликат кальция, то эта реакция и считается причиной твердения. Однако опыты Баха¹ показали, что сиштоф со сравнительно небольшим содержанием растворимой кремнекислоты, но с большим содержанием гидратной воды, дает растворы, имеющие значительно большую прочность, чем сиштоф, содержащий, наоборот, много растворимой кремнекислоты, но мало гидратной воды. Отсюда Бах приходит к выводу, что содержание гидратной воды в сиштофе отражает собою не только содержание в нем растворимой кремнекислоты, но также наличие определенной структуры, имеющей решающее влияние на процесс твердения. Трудно также найти объяснение пуццоланическим свойствам порошка слабо обожженной глины или слабо обожженного кирпича, так как в этом случае едва ли вообще имеется растворимая кремнекислота. У вулканических туфов, имеющих характер трасса, положение сходно с тем, что мы имеем у сиштофа. Большинство исследователей считает, что и у трассов наиболее активная роль принадлежит растворимой кремневой кислоте, содержащейся в стекловидной массе, и образовавшимся из нее цеолитовым составным частям. Стекловидная часть трассов представляет собою переохлажденный раствор, состоящий преимущественно из алюмосиликатов, а цеолитовые составные части состоят из водных кристаллических силикатов. Замечательно, что прокаленный трасс, уже следовательно больше не содержащий водных соединений, по затворении с гидратом извести и водой затвердевает точно так же, как и непрокаленный трасс; однако это явление можно объяснить тем, что здесь имеет место обратное присоединение воды обезвоженными цеолитами. Бах подверг испытанию две пробы трасса путем обработки их соляной кислотой, причем цеолиты были разложены; остаток он подверг извлечению помощью 10%-ного раствора соды. Всего при такой обработке перешло в раствор в одном случае 43%, а в другом — 52% вещества (кремнезема, глинозема и окиси железа). Остаток состоял главным

¹ Bach, Zur Bewertung und Verwertung des Trasses. T. I. 1924 № 70, 72 и 74.

образом из кремнезема и небольшого количества глинозема; замечательно, что остаток содержал гидратной воды сравнительно больше, чем растворимая часть. Из остатков обеих проб приготовлены были растворы согласно существующим нормам для трасса из надлежащего количества извести и песка, причем у одного из этих растворов прочность оказалась всего лишь на 11% меньше, чем у раствора из необработанного трасса, а у второго раствора никакого уменьшения крепости вообще не оказалось. Сильно прокаленные остатки также показали еще хорошую прочность, хотя и меньшую, чем непрокаленные. Эти результаты также приводят Баха к заключению, что содержание гидратной воды прежде всего указывает на существование определенной структуры в веществе, составляющем трасс. Во всяком случае определение содержания так называемой гидратной воды, предусматриваемое существующими для трасса нормами, имеет весьма важное значение для суждения о технических свойствах трасса в смысле пригодности его для растворов. Наблюдения Баха, а также Берля, Урбана¹ и Фредля² подтвердили высказанные ранее Гино Галло³ соображения, по которым при твердении трассовых цементов наряду с химическими явлениями мы имеем дело еще с факторами, имеющими физический характер, а именно адсорбцией извести кремнекислотой и глиноземом, вызывающей явления набухания; такого рода соображения гораздо раньше были также высказаны Михаэлисом при рассмотрении им вопросов о твердении цементов.

В доменном шлаке, входящем в состав известково-шлакового цемента, содержатся высокоосновные силикаты в форме переохлажденного раствора, которые гидратируются под влиянием известкового раствора. Надо думать, что возникающие при этом частью кристаллические, частью коллоидальные новообразования, вызывающие твердение раствора, в основном ничем не отличаются от веществ, образующихся при твердении портланд-цемента.

Все разновидности известково-пуццолановых цементов имеют незначительный объемный вес. В то время как для производства известково-шлакового цемента доменные шлаки необходимо доводить до крайне тонкого помола, для трасса это не является необходимым, так как трасс проявляет свойственные ему качества, даже не будучи перемолотым до чрезмерной тонкости. Известково-пуццолановые цементы представляют собою медленно схватывающиеся вещества; начальная прочность их в большинстве случаев не очень велика; зато они впоследствии могут достигнуть чрезвычайно высокой механической прочности. Постоянство объема у этих цементов достаточное; часто они обладают им даже тогда, когда гидрат извести содержит непогашенные еще части; объясняется это тем, что возникающие в мягкой, медленно твердеющей массе напряжения могут в достаточной степени выровняться.

Известково-пуццолановые цементы из естественных пуццолан. Трассовые цементы. Важнейшим видом известково-пуццолановых цементов, производимых из естественных пуццолан в Германии, являются так называемый трассовый цемент или трассовая известь, представляющие собою смесь гидрата извести с определенными сортами молотых вулканических туфов. История трассовых цементов уходит в древность; еще римляне для своих гидротехнических сооружений применяли добавку к извести измельченных вулканических туфов. Смесь представляла

¹ Berl u. Urban, Z. für ang. Cg. 1923.

² Fredl, T. J. 1923.

³ Gino Gallo, T. J. 1909 № 10, 13 и 16.

собою нечто вроде бетона, так как сравнительно грубо-измельченный туф служил одновременно отошающим средством для известкового раствора. Таким образом известь могла взаимодействовать лишь с внешней поверхностью кусков туфа и с тою сравнительно небольшой его частью, которая при дроблении туфа получалась в виде порошка. У себя на родине римляне применяли пуццолановую землю, представляющую собою трахитовый туф из района Неаполитанского залива; в некоторых южных провинциях они употребляли санторинскую землю, добываемую на острове Санторине в греческом архипелаге; в Рейнской же области римляне пользовались трахитовыми туфами Эйфеля (см. также раздел II гл. VI). После ухода римлян применение эйфельского туфа, повидимому, было совершенно и надолго забыто, так как по данным Гамблеха лишь в конце средних веков туфы снова стали применяться голландцами в сооружениях на нижнем Рейне. В 1862 г. голландцами было учреждено первое предприятие для добычи трасса и этим положено было начало промышленной разработке эйфельских трахитовых туфов. В конце прошлого столетия применение трассового цемента получило значительное развитие в Германии, после того как Интце — строитель первых больших плотин — признал, что трассовый цемент по сравнению с портланд-цементом имеет для этих специальных сооружений известные преимущества. Преимущества эти состоят в сравнительно медленном твердении и большой эластичности растворов на трассовом цементе, благодаря чему происходящие в первое время существования таких сооружений явления осадки воспринимаются массивом без образования трещин. Механическая прочность трассовых цементов, вообще говоря, значительно меньше прочности портланд-цемента или даже шлакового цемента.

Как и все известково-пуццолановые цементы, трассовые цементы представляют собою ясно выраженные гидравлические вещества и для применения в воздушных постройках, вообще говоря, не подходят.

Производство известково-трассового цемента состоит в смешивании порошка гашеной извести с молотым трассом, причем каждый раз для данного материала требуется установить ту именно пропорцию смеси, при которой достигается максимальная прочность раствора. Обычно на 20—30 ч. гидрата извести необходимо 70—80 ч. трасса. Само собою разумеется, что гидрат извести можно перемалывать также вместе с туфом. Готовый продукт имеет вид светлосерого порошка с очень незначительным объемным весом; это обстоятельство следует иметь в виду при составлении смесей для растворов.

В Германии применяются в качестве трасса только трахитовые и лейцитито-фонолитовые туфы Эйфеля, а также зевевиты Ризе. Нейвидская пемза и Люнсбургские залежи кизельгура, наоборот, не нашли себе промышленного использования для производства известково-пуццолановых цементов.

Для испытания трасса в Германии установлены нижеследующие нормы. Новые нормы для трасса (DIN 1043). В настоящее время в Германии действуют новые, окончательно установленные для трасса нормы, в некоторых отдельных пунктах расходящиеся с изданными раньше правилами. Приводим новый текст этих норм.

Содержание: 1) Определение. 2) Упаковка и вес. 3) Количество механически связанной и гидратной воды. Потеря при прокаливании: а) подготовка пробы для определения потери при прокаливании, б) определение потери при сушке, в) определение потери при прокаливании. 4) Тонкость помола. 5) Образцы для испытания прочности. 6) Сопротивление растяже-

нию и сжатию. 7) Приготовление образцов для испытания на разрыв и сжатие: а) смешивание раствора, б) формовка, в) испытание.

1. Определение. Трассом в строительной технике называют размолотый в тонкий порошок туф, являющийся продуктом вулканических извержений; смешанный с гашеной известью он дает вяжущее вещество, твердеющее на воздухе и в воде и обладающее указываемыми в пп. 3—6 свойствами. Вес единицы объема таких трассов колеблется обычно в пределах 2,3—2,5.

2. Упаковка и вес. Трасс доставляется в мешках или же россыпью. На мешках кроме наименования завода и месторождения должно быть обозначение „трасс“. Вес также должен быть указан на мешках. При поставках трасса россыпью эти данные должны быть указаны в фактурах.

3. Содержание механически связанной и гидратной воды. Потеря при прокаливании. Трасс, как правило, должен содержать не менее 70% гидратной (химически связанной) воды. Несколько меньшее содержание воды — не ниже однако предельного содержания 60% — допускается при условии удовлетворения требованиям нормы в отношении механической прочности.

а) Подготовка проб для определения потери при прокаливании. От подлежащего исследованию трасса берут среднюю пробу в количестве около 20 г и размельчают ее в ступке до такой степени, чтобы полученный порошок полностью проходил через сито в 900 отверстий на 1 см².

Если трасс приходится готовить из поступивших в лабораторию неразмолотых, неразмельченных кусков туфа, отбирают из партии по возможности правильную среднюю пробу в количестве примерно 10 кг и все отобранные куски хорошо перемешивают.

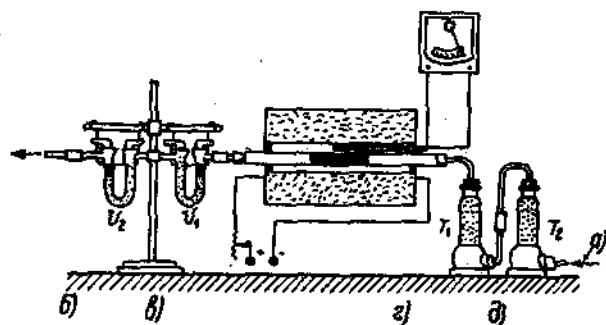
Отобранные 10 кг кусков величиною с кулак измельчают в железной ступке настолько, чтобы продукт проходил через сито с одним отверстием на 1 см² без остатка. Материал снова основательно перемешивают, после чего отбирают 1 кг и продолжают измельчать до тех пор, пока все без остатка не пройдет через сито в 60 отверстий на 1 см². От этого количества снова отбирают 100 г и растирают в тонкий порошок до прохождения без остатка через сито в 900 отверстий на 1 см².

б) Определение потери при сушке. Содержание влажности в трассе производится в пробе, подготовленной согласно п. „а“. Для этого отвешивают 10 г материала в стаканчике с притертой пробкой; диаметр дна стаканчика должен быть не менее 4 см. Стаканчик в открытом виде с наклонно поставленной пробкой ставят в сушильный шкаф с водяной рубашкой и отверстиями для смены воздуха и нагревают в течение 3 час. при температуре, составляющей около 98°. Пламя находящейся под шкафом горелки не должно выходить за пределы дна шкафа и не должно раскалять дверцу во избежание разогрева внутренности шкафа выше температуры кипящей воды. Кроме того необходимо удостовериться, что водяной пар не проникает внутрь шкафа.

По окончании 3-часовой сушки закрывают еще теплый стаканчик пробкой и ставят его для охлаждения в эксикатор. Убыль в весе рассматривается как вес содержащейся в трассе механически удержанной воды.

Для точного определения содержания в трассе воды сушку при температуре около 98° продолжают до постоянного веса. Обычно достаточно вести сушку в течение 3 час., так как дальнейшая убыль веса едва достигает нескольких миллиграммов.

в) Определение потери при прокаливании. Прежде чем приступить к определению содержания гидратной воды, необходимо удостовериться, что данная проба трасса не содержит углекислоты; для этого небольшое количество порошка трасса обрабатывают соляной кислотой. Если в трассе углекислоты нет, то для определения потери при прокаливании от подготовленной согласно п. „а“ пробы в платиновый или фарфоровый тигель берут навеску 10 г и прокаливают докрасна или в течение 30 мин. над паяльной горелкой или не менее 40 мин. в калильной печи Гемпеля. При этом необходимо следить, чтобы вначале температура трасса, содержащего кроме воды также и воздух, возрастала настолько медленно, чтобы красное каление наступало не ранее как через 5—10 мин. При несоблюдении этого условия стремительно выделяющиеся вода и воздух будут увлекать с собою мелкие частицы трасса, и эта потеря будет отнесена за счет потери при прокаливании, что приведет конечно к совершенно неправильным результатам.



Определение H_2O и CO_2 в электрической печи.

По окончании прокаливании тигель берут предварительно нагретыми щипцами и тотчас переносят его в эксикатор; после охлаждения определяют уменьшение веса.

Для определения потери при прокаливании (гидратной воды) из потери в весе прокаленного трасса надо вычесть потерю в весе при сушке, которая определяется одновременно в отдельной пробе. Полученную разность выражают в процентах по отношению к высушенному трассу, т. е. трассу, не содержащему механически удержанной воды.

Если трасс содержит углекислоту, содержание как ее, так и гидратной воды определяют при помощи следующей аппаратуры. 5 г высушенного согласно сказанному в п. 3б трасса, помещенного в фарфоровую лодочку, прокаливают в электрической печи при температуре около 1100° в течение времени, необходимого для достижения постоянного веса. Через всю аппаратуру при этом просасывается ток воздуха, лишенного как углекислоты, так и водяного пара; с этой целью перед печью (рис. 133) установлены два цилиндра: T_2 — наполненный натронной известью, и T_1 — хлористым кальцием.

За печью гидратная вода поглощается хлористым кальцием¹ в трубке U_1 , а углекислота — натронной известью в трубке U_2 . Количества поглощенных веществ определяются взвешиванием трубок до и после опыта.

4. Тонкость помола. На сите в 900 отверстий на 1 см^2 трасс должен оставлять остаток не более 20%. Ширина отверстий сита должна быть равна 0,222 мм. Допускаются небольшие отклонения в обе стороны в пределах от 0,200 до 0,240 мм.

¹ Ввиду того что хлористый кальций может содержать основание способное поглотить некоторое количество углекислоты, через трубку U_1 до производства анализа необходимо пропускать в течение около 2 час. сухую углекислоту, а затем в течение такого же времени сухой воздух.

Для просева следует брать по 100 г высушенного при 98° порошка.

Одна только тонкость помола не является достаточным для оценки качества трасса признаком.

Испытание механической прочности. Трасс испытывается по стандартным методам в смеси с известью и песком; образцы для испытания на растяжение в плоскости разрыва должны иметь сечение, равное 5 см^2 , а кубики для испытания на сжатие должны иметь грани площадью в 50 см^2 .

Чтобы результаты испытаний получались однообразными и сравнимыми, необходимо пользоваться одинаковыми аппаратами и приборами для изготовления образцов.

5. Прочность на разрыв и сжатие. Образцы из раствора, составленного из 1 весовой части трасса, 0,8 весовых частей нормального известкового порошка и 1,5 весовых частей нормального песка, через 28 дней после хранения в течение 3 дней во влажном воздухе при температуре $15-20^\circ$ и 25 дней в воде при той же температуре должны иметь сопротивление растяжению не менее 16 кг/см^2 и сопротивление сжатию не менее 120 кг/см^2 . Решающее значение имеет испытание на сжатие¹.

Пояснения. В целях достижения надежных результатов все лаборатории должны употреблять порошок извести одинаковых свойств и состава (тесто нормальное известковое) и песок одинаковой крупности зерен (нормальный песок).

В Германии нормальное известковое тесто получается из извести, вырабатываемой из чистейших известняков карьера Христиненклиппе в Рюбеланде, Эльбингероде.

Производство и упаковка нормального теста находятся под наблюдением Государственной станции испытания материалов (Берлин—Далем).

Известняк берется в виде крупных по возможности чистых глыб и обжигается в кольцевых печах. После обжига отбираются наиболее чистые куски, причем всякого рода загрязнения, шлаки и т. п. тщательно удаляются; затем известь гасится. При гашении вода некоторое время оставляется над известью в покое и в бассейн спускаются лишь верхние три четверти известкового молока так, чтобы трудно поддающиеся гашению части оставались в твориле.

Известковое молоко отводится в каменный бассейн, разделенный на два отделения; одна половина постоянно наполнена и плотно закрыта; из другой половины производится упаковка теста нормальной извести в герметические сосуды, пломбируемые Государственной станцией испытания материалов и затем поступающие в продажу.

Полученная в таком виде нормальная известь перерабатывается в нормальный известковый порошок следующим образом.

Известковое тесто раскладывают на жести слоем толщиной около 2 см и высушивают затем в паровом сушильном шкафу при температуре $90-95^\circ$ до постоянного веса, на что требуется обычно от 5 до 6 час. Сухая известь перемалывается на нормальных бегунах (см. ниже) и просеивается через сито в 900 отверстий. Полученный таким образом нормальный порошок должен немедленно же употребляться в дело; для каждого испытания трасса следует готовить свежую порцию лишь в нужном количестве, так как при более продолжительном лежании известь поглощает из воздуха углекислоту и переходит в инертное состояние.

¹ Намечается также введение испытания образцов 7-дневного возраста, хранимых 3 дня во влажном воздухе и 4 дня в воде.

Германский нормальный песок добывается из расположенного в третичных отложениях карьера кварцевого песка, находящегося близ Фрейенвальде на Одере. От природы почти белый песок промывается на промывной машине и сушится искусственным путем; сухой песок просеивается на двух подвесных ситах с различной шириной отверстий. Ежедневно отбираемые пробы направляются в испытательную станцию Берлин — Дале для проверки правильности просева и чистоты песка.

Величина зерен контролируется штампованными ситами из латуни толщиной в 0,25 мм с круглыми отверстиями, диаметром соответственно 1,350 и 0,775 мм.

Песок, признанный на основании повторных испытаний по качеству правильным, упаковывается в мешки, и каждый мешок снабжается пломбой испытательной станции.

Изготовление образцов для испытания на растяжение и сжатие

а) Приготовление смеси. Нормальный трассовый раствор состоит из:

- 1 весовой части трасса,
- 0,8 " " нормального известкового порошка,
- 1,5 " " песка

и получается перемешиванием помощью бегуна следующим образом.

Берут 1 кг трасса в том виде, в каком он был доставлен, и 0,8 кг нормального известкового порошка и, поместив все в чашку, перемешивают ложкой в течение 1 мин. всухую; добавив все необходимое для раствора количество воды, продолжают перемешивание еще в течение 1 мин. Полученную смесь равномерно располагают на тарелке бегуна и обрабатывают 25 оборотами тарелки. Затем к смеси добавляют, равномерно его распределяя, указанное выше количество нормального песка и раствор опять перерабатывают 50 оборотами тарелки. Полученный раствор должен обладать консистенцией сырой земли, т. е. такой консистенции, чтобы при сжатии в руке раствор едва образовал комок.

Диаметр бегуна¹ должен составлять 300 мм, а ширина 170 мм; отклонения допускаются в пределах 1%. Вес бегуна — $84 \text{ кг} \pm 2 \text{ кг}$; вес вала бегуна, включая направляющие и скребки, — $5,5 \text{ кг} \pm 0,2 \text{ кг}$. Тарелка должна делать 8 об/мин.

б) Изготовление образцов. Образцы для испытания на сжатие и на растяжение изготавливаются тех же форм и размеров, что и для испытания цемента.

Нормальные формы для образцов, испытываемых на растяжение или на сжатие, наполняют соответственно 210 и 860 г раствора и уплотняют 150 ударами нормального молоткового аппарата (конструкции Беме с зажимами Мартенса). С поверхности образцов затем срезавают ножом излишки, сглаживают и снабжают соответствующим номером. После этого образцы вместе с формами ставят на стеклянные пластинки и помещают в закрытые влажные ящики; образцы, испытываемые на растяжение, вынимают из форм приблизительно через полчаса, а образцы, испытываемые на сжатие, приблизительно через 2 часа.

Через 3 дня после изготовления образцы переносят в воду, имеющую

¹ Нормальная мешалка для трассового раствора состоит из вращаемой от руки или от привода тарелки и одного бегуна с неподвижной осью (прим. ред.).

температуру 15—20°. Во время нахождения образцов в воде последняя не меняется и производится только добавление воды взамен испарившейся.

в) Испытание. Образцы вынимают из воды непосредственно перед испытанием. При испытании на сжатие давление должно производиться на две боковые грани кубика, но не на нижнюю и обработанную верхнюю поверхность.

Чтобы получить надежные средние результаты, следует испытывать по крайней мере 10 образцов на растяжение и 5 образцов — на сжатие.

Пояснения к п. „а“. Нормальная бегунная мешалка многократно испытана и целесообразность ее применения вполне установлена. Мешалка определенного типа является необходимой для устранения в пределах возможного колебаний в результатах испытаний.

Число оборотов тарелки бегуна также установлено опытным путем. При указанных выше нормальных данных получается однородный раствор без излишнего перемешивания.

Вопрос о применении пластичных растворов изучался, но был решен в отрицательном смысле, так как опыт показал, что при этих условиях чрезвычайно трудно получить однородные образцы, дающие сходящиеся результаты.

К п. „б“. Режим хранения образцов должен соответствовать свойствам вяжущего вещества, из которого они изготовлены. Особое внимание должно быть обращено на соблюдение указанной температуры воды, так как известково-трассовые растворы в начале своего твердения более чувствительны к понижению температуры по сравнению с другими растворами, и на получение сравнимых результатов можно рассчитывать только в том случае, когда образцы твердеют по возможности в одинаковых условиях.

К п. „в“. Методы испытания весьма близко подходят к практикуемым при испытании нормальных цементных образцов. Необходимость указанного выше числа образцов находится в соответствии с свойственными методу испытаний неточностями.

в) Цементы из искусственных пуццолан

Известково-шлаковый цемент

Важнейшим представителем этого класса вяжущих материалов является известково-шлаковый цемент, производство которого возникло после открытия Лангена (1862 г.), состоявшего в том, что быстро охлажденный доменный шлак в смеси с гашеной известью дает гидравлическое вяжущее вещество. Промышленное применение этого открытия в Германии в большом масштабе последовало, лишь в конце 80-х и начале 90-х годов прошлого столетия; развитие этого производства в скором времени однако приостановилось, так как оказалось, что известково-шлаковый цемент очень плохо выдерживает хранение. В гл. II уже были указаны наиболее важные моменты, относящиеся к доменному шлаку. Необходимо сделать к ним еще некоторые добавления. В качестве пуццоланического вещества применимы лишь быстро охлажденные шлаки и в первую очередь высоко основные литейные шлаки с содержанием 42—52% CaO или $\text{CaO} + \text{MgO}$ и по возможности не менее 15% Al_2O_3 . Сернистый кальций при содержании в количестве до 12% согласно исследованию Пассова вредного влияния не оказывает. Так как в шлаке все же имеются вещества, входящие также и в состав цемента, то шлак можно рассматривать как бедный известью плавленый цемент, хотя и не обладающий способностью к ясно выраженному самостоятель-

ному твердению. Скрытые вяжущие свойства шлаков немедленно обнаруживаются при обработке их порошка раствором какого-нибудь основания, например добавлением к ним извести и воды.

Производство известково-шлакового цемента осуществляется следующим образом. Шлак, большую часть подвергнутый водной грануляции, сушится и затем перемалывается. Сушка шлака обычно производится во вращающихся сушильных барабанах, причем важно следить за тем, чтобы температура чрезмерно не поднималась во избежание растрескивания и порчи шлака. Необходимо по возможности тонко молоть шлак — до остатка не свыше 10% на сите в 5000 отверстий, так как лишь при такой тонкости шлака вполне обеспечивается возможность взаимодействия его с гидратом извести.

Получение гидрата извести производится по одному из описанных в гл. V способов. Оба материала — порошок шлака и порошок гидрата — смешиваются в надлежащих машинах, чаще всего в барабанных смесителях, чем и заканчивается производство известково-шлакового цемента.

Состав смеси зависит от свойств применяемого шлака, но по большей части берут 20—25% гидрата извести, считая на готовую смесь.

Так называемый люксембургский способ производства дает лучшие результаты, чем только что описанный. Здесь к гранулированному влажному шлаку добавляется измельченная едкая известь, и смесь на некоторое время представляется самой себе. Процесс гашения извести сопровождается при этом довольно значительным выделением тепла, причем известь поглощает содержащуюся в шлаке воду. Количество извести необходимо подбирать так, чтобы вся содержащаяся в шлаке вода была связана известью. Остывшая смесь размалывается в тонкий порошок. Полученный при таком способе цемент отличается лучшими качествами по сравнению с полученным последующим смешением.

Известково-шлаковый цемент представляет собою светлосерый или светлорусый порошок с небольшим удельным весом. Срок схватывания его довольно продолжителен — в большинстве случаев не менее 24 час. Растворы на известково-шлаковом цементе достигают значительной прочности, приближающейся к растворам на портландцементе; в случае составления раствора по объемам надо применять более жирные смеси по сравнению с портланд-цементом. Что касается постоянства объема, то при применении вполне загашенной извести результаты получаются хорошие. При длительном хранении известково-шлакового цемента гидрат извести превращается в углекислую известь, что приводит к тому, что при затворении щелочный раствор уже не образуется и твердение либо совершенно не происходит либо дает слабые результаты.

г) Известково-пуццолановый цемент из сиштофа

Добавка к гидравлической извести богатого кремнеземом отхода от производства из глины квасцов, так называемого сиштофа, значительно повышает прочность растворов (см. гл. VI); аналогичные явления наблюдаются при смешении сиштофа с воздушной известью, хотя последняя для этого, вообще говоря, менее подходит.

Сиштоф для производства подобных цементу вяжущих веществ предложен в начале 90-х годов прошлого столетия в связи с патентом Гинтье (патент № 92 542); первое время однако промышленного производства не возникало. Сам по себе сиштоф едва ли может применяться для выработки

какого бы то ни было самостоятельного гидравлического вяжущего вещества; более всего он пригоден в качестве добавки, для улучшения качества таких веществ, которые сами по себе уже обладают гидравлическими свойствами. Опыт однако показал, что водоустойчивые растворы можно получать также из смеси воздушной извести с сиштофом. В 1909 г. в лаборатории Тониндустрии произведен был целый ряд опытов, для которых применялась гарская воздушная известь, загашенная по сухому способу, причем раствор этой извести с песком в пропорции 1:3 через 28 дней хранения на воздухе показал сопротивление разрыву 1,53 и сопротивление сжатию 13,4 кг/см²; при хранении в воде соответственно 1,20 и 5,2 кг/см²; смеси с сиштофом дали следующие результаты:

Таблица 28

Состав	Хранение	Сопротивление разрыву	Сопротивление сжатию
0,5 ч. сухого гидрата извести	На воздухе Под водой	11,08	181,2
0,5 ч. сиштофа		10,10	183,3
3 ч. песка			
0,25 ч. сухого гидрата извести	На воздухе Под водой	15,40	143,8
0,75 ч. сиштофа		17,70	180,0
3 ч. песка			

Растворы, в состав которых входил сиштоф, можно было сразу погружать в воду, и, как видно из результатов испытаний, механические свойства этих растворов по сравнению с растворами без сиштофа оказались очень высокими.

Недавно Люфтишниц произвел испытания смесей воздушной извести с сиштофом. Он составлял смеси как с гашеной известью, так и с порошком негашеной извести. Оказалось, что смеси, составленные из гашеной извести с меньшим содержанием сиштофа (1:1), дают лучшие результаты, чем смеси с большим его содержанием (3:1). После 3-месячного магазинирования смесь 3:1 уже не обладала водоустойчивостью, так что образцы в воде распались. Наивысшую прочность после 3-месячного магазинирования показала смесь 1:1, обладавшая сопротивлением растяжению 18,6 и сжатию 121 кг/см² через 28 дней хранения под водой. В краткие сроки (через 4 дня) получились цифры соответственно 13,6 и 103,0 кг/см². Испытания показали также разницу в прочности в зависимости от того, был ли прибавлен песок до или после магазинирования вяжущего вещества; более благоприятные результаты получились во втором случае. Смесь с порошком негашеной извести наивысшие механические свойства показала при непродолжительном магазинировании состава 1:3, а именно — сопротивление растяжению 16,1 кг/см² и сжатию 121,4 кг/см² через 28 дней хранения образцов под водой. Смесь 1:1 не имела водоустойчивости, причем в сильной степени показала явления непостоянства объема. Зато после 3-месячного магазинирования смесь 1:1 показала наивысшую прочность: 13,9 кг/см² на разрыв и 144,0 кг/см² на сжатие после 28 дней водного хранения, тогда как смесь 1:3 дала лишь 7,8 и соответственно 64,1 кг. В противоположность смесям с гашеной известью здесь (т. е. при смесях с едкой известью) добавление

песка до магазинирования дало более благоприятные результаты. Разница в свойствах магазинированных и немагазинированных смесей объясняется тем, что известь во время вылеживания поглощает углекислоту и влагу. Это обстоятельство отражается на соотношениях между количеством свободного гидрата или же свободной едкой извести и кремневой кислотой; соотношения в разных случаях изменяются при этом в благоприятную или неблагоприятную сторону. То же следует сказать о влиянии добавления песка до или после магазинирования вяжущего. Вследствие более легкого доступа воздуха в смеси с песком они более быстро изменяются, нежели смеси без песка.

В предыдущей главе уже упоминалось, что Нато отказался от эмпиризма при составлении смесей и пропорцию сиштофа берет на основании определенных стехиометрических соотношений. Для воздушной извести, содержащей 97% CaO , 2% SiO_2 и 1% R_2O_3 , по его вычислениям наилучшие результаты дает добавка 32,6 SiO_2 , или, что то же, 46,6% сиштофа с содержанием 70% SiO_2 . Для обожженного доломита, содержащего 50% CaO , 20% MgO , 7% SiO_2 и 3% R_2O_3 , т. е. для вещества, которое само по себе уже является водоустойчивым вяжущим веществом, наимыгоднейшей добавкой будет 44,1% сиштофа, содержащего 70% SiO_2 . Эта смесь через 28 дней (надо полагать водного хранения) показала сопротивление сжатию 14 кг/см^2 вместо 2 кг/см^2 без добавки сиштофа.

д) Известково-пуццолановые цементы из других искусственных пуццолан

Для производства гидравлических вяжущих веществ на основе воздушной извести кроме сиштофа применима также слабо обожженная глина или же измельченный слабо обожженный кирпич. Такого рода известково-пуццолановые цементы с добавкой молотого кирпича Клее вырабатывал в Китае и получал вполне удовлетворительные результаты. В древне-римских сооружениях также можно видеть набивные полы из уплотненного бетона, состоящего из известкового раствора с кирпичным боем и сохранившего еще до сих пор значительную прочность.

Следует упомянуть наконец также о вяжущих веществах, получающихся при смешении воздушной извести или других ее видов со шлаками горючих сланцев. В Бюртемберге такого рода вяжущее вещество вырабатывается под названием „юрамент“. Температура образования золы при сжигании сланца имеет важное значение для качеств шлака как пуццоланической добавки. Применение сланцевой золы в качестве добавки к самостоятельно твердеющим вяжущим веществам требует большой осторожности ввиду высокого содержания в ней неустойчивых сульфидов кальция; наличие последних в случае применения шлаков в свежем виде может привести к вредным последствиям, в зависимости от явлений непостоянства объема.

Одну из разновидностей пуццоланового цемента получают, применяя так называемый линк-трасс, представляющий собою искусственный трасс из смеси кислого доменного шлака и перемолотого кирпича; основы применения этого вида добавки аналогичны применению естественного трасса.

Так называемый „турамент“ представляет собою искусственную гидравлическую добавку, состоящую главным образом из основного доменного шлака; получаемый из турамента пуццолановый цемент является как бы переходным звеном к группе шлако-портланд-цемента, так как турамент требует лишь очень незначительной примеси извести для своего твердения.

Раствор, приготовленный согласно ранее изложенным нормам для трасса, т. е. в пропорции 1 ч. извести: 1 ч. турамента: 1 ч. нормального песка, дает механическую прочность, в 3,5 раза большую по сравнению с требуемыми для трасса нормами.

Ввиду того что известково-пуццолановые цементы и искусственные цементоподобные извести медленно схватываются и дают незначительную прочность в краткие сроки твердения, неоднократно возникали попытки улучшить их в этом отношении за счет добавки глинозема в форме, способной к реакциям с известью. Кюль применял для этой цели в сыром или обожженном виде алунит, т. е. минерал, образующийся в вулканических областях при воздействии сернистых газов на полевой шпат или его содержащие горные породы и имеющий следующий состав: $3(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SO}_3) \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{SO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. В одних случаях Кюль получал от названной добавки поразительные результаты, в других — эффекта не наблюдалось. Согласно американским патентам Спекмана (Spackman) особенно хорошее влияние на пуццолановые цементы, а также на гидравлическую и воздушную известь должны оказывать алюминаты кальция. Однако испытания, произведенные Киллигом¹, не подтверждают этих данных; для окончательного выяснения этого вопроса необходимы дальнейшие изыскания.

21875

¹ Kiliig, Protokolle des V. D. Portland-Zement-Fabrikanten, 1913.

Редактор М. Е. Грийшин.
Техн. ред. Е. Д. Гракова.
Госстройиздат № 423. Ин-
декс С-11-5-3(2). Тир. 5 000.
Сдано в набор 26/XII-33 г.
Подписано в печать 11/V-34 г.
Формат бум. 62×94. Авторск.
листов 27. Бум. листов 9¹/₂.
Печ. зн. в бум. листе 117 200.
Зак. 1406. Ленгорлит № 5912.

ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
30	15—16 сверху	хлорнокислых	хлористых
34	15 "	I% II%	I II
54	6 "	„Глохира“	„Глорихол“
76	2 "	441,1	441,1—1
.	5 "	440,1—1	440,1
.	8 "	440,1—1	440,1
90	3 "	N10	N/10
110	1 снизу	Gesquioxide	Sesquioxide
111	24—25 сверху	обзоливается	озоляется
140	1 снизу	ую последнюю сноску	выбросить
144	2 сверху	1000°	выше 1000°
227	7 "	угол	уголь
251	11 снизу	кристаллической угле- кислой окиси	кристаллического углекислого
263	13 сверху	заголовок „Граппье-цемент“	выбросить