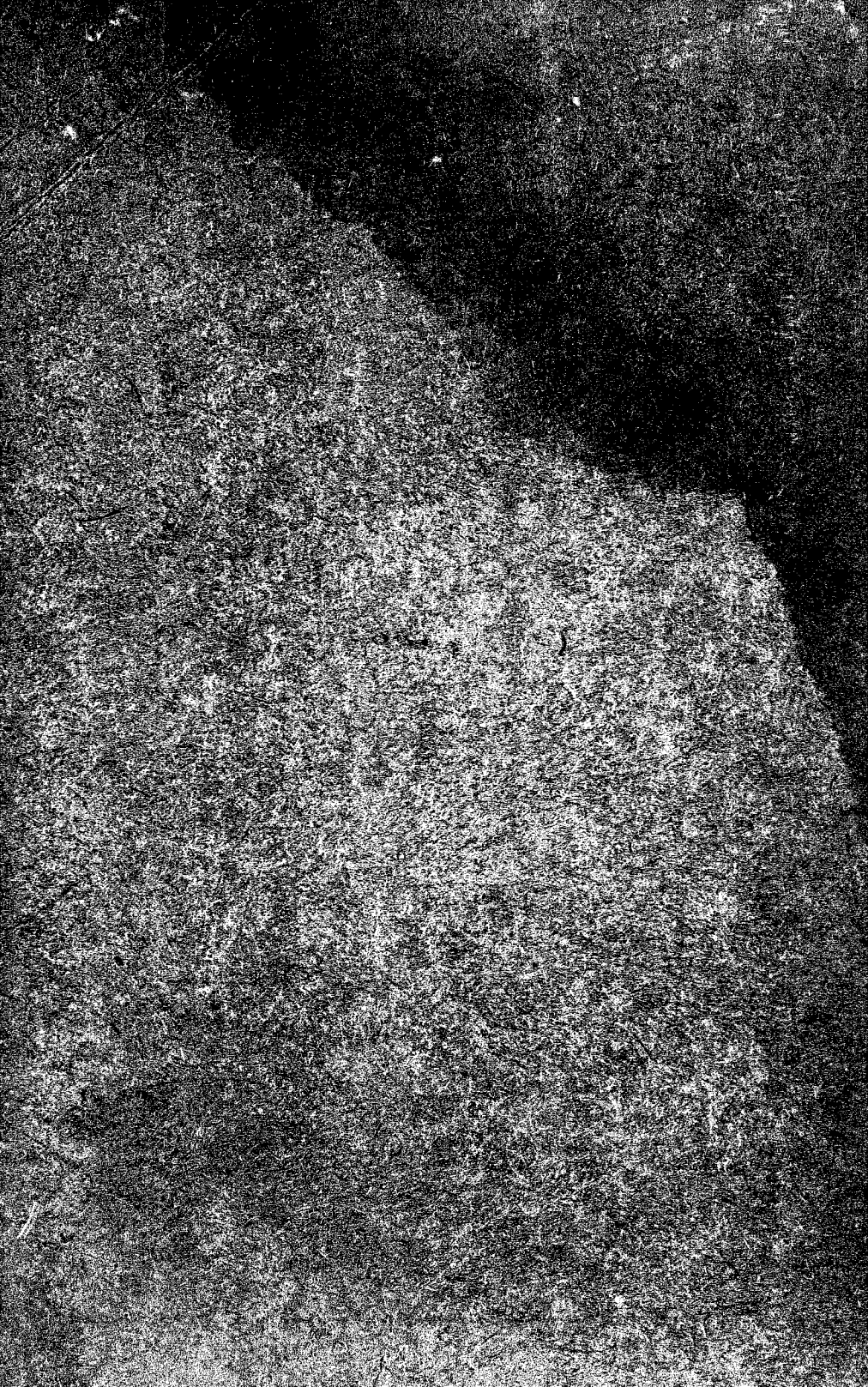


РИХ-ГИНС
ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ
ДЛЯ УСТРОЙСТВА ПОЛОВ



БЮРО ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

666.8

ЭСТРИХ-ГИПС
И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ
ДЛЯ УСТРОЙСТВА ПОЛОВ

5255

Проверено
БИБЛИО
ЦНТЭИИ
Инв. № 303

Настоящая работа выполнена доц. А. В. Волженским

ГОС. ПУБЛИЧНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА СССР

1132 21
61

ЖС
1624

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	3
Общие сведения о гипсе и ангидрите	4
Основные сведения об эстрих-гипсе	5
Процессы, протекающие при обжиге и твердении эстрих-гипса	8
Влияние извести и других веществ на вяжущие свойства эстрих-гипса	15
Технические свойства эстрих-гипса и исследование сырья различных месторождений	19
Технология эстрих-гипса и печи для его обжига	31
Требования к сырью и готовому продукту	38
Устройство полов из эстрих-гипса	43
Временные технические условия на эстрих-гипс и методы испытания	47

Ответственный редактор П. Б. Горбушин

Подписано к печати 22/V 1943 г.
Л40842

Заказ 549

Печ. 3 л.
Цена 2 руб.

Печ. знаков в листе 58464.
Тираж 500 экз.

Типография Управления Делами СНК СССР

ВВЕДЕНИЕ

Значение гипса и изделий из него в жилищном и промышленном строительстве СССР все возрастает. Это объясняется следующими причинами:

1) достаточно широким распространением в природе мощных залежей гипсового камня;

2) относительной простотой добычи и переработки его в различные виды гипсовых вяжущих материалов с широкой гаммой свойств, удовлетворяющих разнообразным требованиям строительной практики;

3) легкостью и простотой использования гипсовых вяжущих в строительстве, в частности для изготовления разнообразных деталей;

4) наличием таких свойств гипсовых изделий, как относительная легкость, достаточная механическая прочность, огнестойкость, удовлетворительные тепло- и звукоизоляция, белый цвет и легкая окрашиваемость.

За границей применяются в строительстве преимущественно три основных вида гипсовых вяжущих материалов:

1) гипс полуводный и «растворимый» ангидрит, получаемые обжигом двуводного гипса при температурах 120—200°;

2) цемент Кина, получаемый обжигом сырого гипса при 600—750° и применяемый в сочетании с алюмокалиевыми квасцами, вводимыми в гипс до или после обжига;

3) эстрих-гипс, получаемый обжигом гипсового камня при 900—1100°.

В СССР почти исключительно применяется полуводный гипс, известный под названием строительный гипс. Из других видов гипсовых вяжущих применение нашел ангидритовый цемент, предложенный акад. П. П. Будниковым. Он получается обжигом гипса при 500—700° и используется вместе с катализаторами (NaBSO_4 , известь и др.). Накопленный опыт заводского изготовления ангидритового цемента, обеспечивает возможность организации производства его в самых широких масштабах.

В настоящее время на некоторых крупных строительствах уже организуется производство эстрих-гипса. Не подлежит никакому сомнению, что несложность его изготовления и возможность широкого применения для устройства бесшовных полов и разнообразных деталей для жилищного и промышленного строительства уже в ближайшем будущем обусловят широкое развитие производства этого ценного строительного материала.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГИПСЕ И АНГИДРИТЕ

В природе гипс встречается в виде минералов различной кристаллической структуры, химический состав которых отвечает формуле $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Имеется много разновидностей гипса, различающихся по своим физическим признакам. Акад. П. П. Будников¹ характеризует их следующим образом: «Гипсовый шпат — крупнокристаллический гипс и гипс листоватый, волокнистый гипс, или селенит, с ясным шелковистым блеском, тем более сильным, чем тоньше волокна и чем более тесно они соединены друг с другом; зернистый гипс (грубо- и мелкозернистый), наиболее чистая разновидность его называется алебастром; чешуйчатый гипс; плотный гипс — плотная просвечивающая масса с занозистым изломом; кишечный камень; змеинный камень — серый, богатый глиной гипс, пронизанный прожилками гипса белого цвета, изогнутого червеобразно; землистый гипс, или гипсовая земля, и другие разновидности».

Гипс кристаллизуется в столбчатых или табличных формах моноклинической системы. Удельный вес его колеблется от 2,2 до 2,4. Он мягок, чертится ногтем и по скале Мооса имеет твердость 2.

Химический состав двухводного гипса следующий: CaO — 32,56%, SO_3 — 46,51%, H_2O — 20,93%. Однако, природные гипсовые породы содержат в тех или иных количествах примеси глины, песка, известняка и др.

По данным акад. Будникова, 100 г воды растворяют следующие количества гипса:

Температура в градусах	0	18	24	32	38	41	55	72	86	90
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в граммах	0,241	0,259	0,265	0,269	0,272	0,269	0,266	0,255	0,239	0,222

Растворимость гипса в пересчете на CaSO_4 при 20° равна 2,05 г на 1 л воды.

Данные различных авторов о растворимости гипса зачастую не совпадают, что, по мнению акад. Будникова, объясняется «способностью гипса давать пересыщенные растворы» и, кроме того, «различной величиной зерен». Оствальд считает, что в силу последней

¹ Гипс и его исследование, 1933 г., стр. 7.

причины расхождения в данных о растворимости гипса могут достигать 20%.

В гипсовых залежах нередко встречается и другой минерал, родственный гипсу по своему происхождению и химическому составу. Он носит название ангидрита и, в отличие от гипса, не содержит гидратной воды.

Ангидрит чаще всего образует мелкие бесцветные кристаллы ромбической системы. Обычно он залегает под слоями гипса. При этом нельзя отметить резкого перехода от верхних слоев гипса к самым глубоким ангидрита: между ними всегда расположены слои ангидрита, частично превратившегося в двугидрат и содержащего до 7 и более процентов воды. Это указывает на процесс постепенного перехода ангидрита в гипс. Ангидрит встречается реже гипса. Удельный вес его колеблется в пределах 2,92—3,10. Растворяется он в воде меньше гипса.

При нагревании до различных температур двухводный гипс подвергается ряду физико-химических изменений и дает новые модификации, характеризующиеся специфическими особенностями.

По Глазенапу¹, различные модификации гипса получаются при следующих температурах:

	Температура обжига в гра- дусах
1. Полуводный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$, применяющийся в строительстве в качестве нормального строительного гипса	107
2. Полуводный гипс, схватывающийся несколько быстрее или медленнее нормального штукатурного гипса, в зависимости от степени дальнейшего его обезвоживания	107—200
3. Гипс, содержащий незначительные количества воды, отличающийся медленным схватыванием и повышенной прочностью по затвердеванию	200—300
4. Гипс, быстрее схватывающийся, чем предыдущий, но дающий меньшую прочность	300—450
5. Гипс, не содержащий воды, медленно или совсем не схватывающийся, известный под названием „мертвообожженного“	500—750
6. Начало образования эстрих-гипса	750—800
7. Нормальный эстрих-гипс, медленно твердеющий, но приобретающий высокую прочность	800—1000
8. Эстрих-гипс, содержащий продукты разложения сульфатов и схватывающийся быстрее нормального	1000—1400

Указанные температурные интервалы следует рассматривать как приближенные, зависящие не только от температуры, но и от длительности обжига, структуры и состава обжигаемого материала. Ледюк и Шеню, исследовавшие влияние температуры и продолжительности обжига на вяжущие свойства гипса, получили результаты, приведенные в табл. 1.

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭСТРИХ-ГИПСЕ

Продукты обжига гипса, подобные эстрих-гипсу, применялись уже в самые отдаленные времена. Есть основания полагать, что они были использованы около 4000 лет тому назад при возведении египетских пирамид. Позднее высокообожженный гипс был, повидимому, забыт. В средние века эстрих-гипс вновь нашел применение при постройке замков, укреплений, монастырей и т. д.

¹ Ш о х, Строительные вяжущие вещества, стр. 143.

Таблица 1

Влияние температуры и продолжительности обжига на свойства гипса

Обжиг		Нормальная консистенция в процентах по весу гипса	Скорость схватывания в минутах		Временное сопротивление сжатию в кг/см ²	
температура в градусах	продолжительность обжига в минутах		начало	конец	через 1 день	через 7 дней
150	5	85	45	60	21,4	22,0
150	30	85	40	95	18,2	18,0
150	60	71	45	70	37,1	33,0
150	120	74	45	75	27,3	31,0
200	5	84	27	62	34,3	33,0
200	30	63	20	60	59,0	54,0
200	60	69	25	45	67,0	56,0
200	120	73	22	42	58,0	52,0
200	240	62	15	35	78,7	91,0
250	5	66	13	33	76,1	72,0
250	30	57	10	26	92,1	89,8
250	60	60	7	27	86,0	90,2
250	120	59	6	13	96,6	100,5
250	240	57	4	16	36,9	87,0
300	5	56	4	18	80,0	100,5
300	30	52	4	12	72,0	110,2
300	60	39	2,5	8,5	64,4	20,6
300	120	55	2	9	48,4	37,0
300	240	52	1,5	4,5	49,6	100,1
350	30	52	2	11	46,7	95,6
400	30	30	2	65	25,1	83,5
450	30	52	1	211	17,0	64,0
500	30	55	4,5	240	Через 4 дня 10,1	28,4
550	30	52	290	240	6,2	18,0
600	30	62	190	420	Через 9 дней 6,2	—
650	30	50	180	2400	—	—
700	30	47	240	2400	—	—
750	30	50	360	2400	—	—
800	30	32	540	2400	—	—
850	30	29	54	2400	—	—
900	30	27	54	—	Через 4 дня 1,4	—
1100	30	37	1800	2400	Через 7 дней 12,9	Чер. 28 д. 79,8
1200	30	31	1200	2400	30,2	41,3
1300	30	36	2160	—	12,2	70,9

Специальное обследование городских укреплений Нордгаузена, монастыря Валькенрид и стен морских укреплений на склонах Гайна обнаружило значительную стойкость против выветривания растворов из эстрих-гипса, употреблявшихся при возведении этих сооружений. Пробы растворов при испытании на сжатие показали высокую прочность — от 200 до 400 кг/см² — и небольшую водопоглощаемость. Анализ проб выявил их сходство с гипсовыми материалами, взятыми из египетских пирамид.

В наше время эстрих-гипс производится главным образом в странах Западной Европы, где он идет на изготовление бесшовных полов, различных изделий и строительных деталей (подоконники, ступени, карнизы и т. д.). Кроме того, эстрих-гипс применяется в отделочных и штукатурных работах, а также при изготовлении искусственного мрамора. Наконец, эстрих-гипс можно применять для кирпичной и каменной кладки, где он обеспечивает хорошую связь этих материалов.

Эстрих-гипс иногда называют гидравлическим. Однако, такое определение неправильно, так как в условиях длительного воздействия воды прочность затвердевшего эстрих-гипса постепенно падает и изделие разрушается. Эстрих-гипс более стоек к воздействию воды и атмосферных факторов, чем строительный (полуводный) гипс. Повидимому, это объясняется не только плотной структурой материала, но и наличием в его составе некоторого количества силикатов и алюминатов кальция, оказывающих защитное действие против влияния воды. Вместе с тем эстрих-гипс нельзя применять в местах с постоянной влажностью. Количество воды, необходимое для затворения 100 г эстрих-гипса, колеблется в пределах 30—35 см³.

Временное сопротивление сжатию образцов, изготовленных из пластичной гипсовой массы, через 28 дней достигает 150—300 кг/см² и больше. Истираемость их не превышает 1,0—1,5 г/см². Усадка через 7 дней — около 0,04%. Эстрих-гипс выдерживает хранение без изменения своих свойств до 6 месяцев.

Теоретический выход эстрих-гипса при получении его из двухводного можно рассчитать по молекулярным весам исходного и получаемого вещества по формуле

$$\frac{136 \cdot 16 \cdot 100}{172 \cdot 20} = 79,1\%$$

т. е. из 100 кг гипсового камня получается 79,1 кг эстрих-гипса, причем испаряется 20,9 кг воды.

Частичная диссоциация сульфата кальция в данном расчете не принимается во внимание так же, как и возможное присутствие органических примесей и карбонатов, снижающих выход эстрих-гипса.

При расчете теоретического количества тепла, необходимого для получения эстрих-гипса из 1 кг двухводного гипса, по Мойе¹, надо учитывать:

1. Тепло, необходимое для нагрева сырого гипса до температуры перехода его в полуводную модификацию $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$, т. е., по Ле-Шателье, до 128°. При этом теплоемкость гипса принимается равной 0,273. Если принять первоначальную температуру исходного материала в 15°, то тепла потребуется $0,273 \times (128 - 15) = 30,85$ кг/кал.

¹ Мойе, Gips, стр. 39

2. Тепло превращения двуводного гипса в полуводный. По Томсену, при реакции перехода 1 кг $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в 0,843 кг $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ с выделением 0,157 кг в жидком состоянии необходимо затратить 22,77 кг/кал тепла. Кроме того, испарение воды потребует $537 \times 0,157 = 84,31$ кг/кал. Таким образом расход тепла в данном случае составит $22,77 + 84,31 = 107,08$ кг/кал.

3. Тепло для превращения 1 кг $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ в CaSO_4 в количестве 4,72 кг/кал. Поэтому при переходе 0,843 кг $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$, получившихся из 1 кг $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, потребуется $4,72 \cdot 0,843 = 3,98$ кг/кал. Испарение воды, освобождающейся в количестве 0,0523 кг, сопряжено с расходом тепла $537 \times 0,0523 = 28,09$ кг/кал.

4. Тепло для нагревания полугидрата с 128 до 550° , на что потребуется $0,197 \times 0,791 \times (550 - 128) = 65,76$ кг/кал.

Таким образом, превращение 1 кг $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в 0,791 кг эстрих-гипса требует следующего количества тепла: $30,85 + 107,08 + 3,98 + 28,09 + 65,76 \approx 235,76 \approx 236$ кг/кал.

В этом расчете температура образования эстрих-гипса принята в 550° . Если, в соответствии с позднейшими работами, ее принять в 1000° , то теоретический расход тепла достигает 306 кал на 1 кг двуводного гипса, или $\frac{306}{0,791} = 387$ кал на 1 кг готового эстрих-гипса.

ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ ПРИ ОБЖИГЕ И ТВЕРДЕНИИ ЭСТРИХ-ГИПСА

Температура образования эстрих-гипса

Относительно температуры образования эстрих-гипса существуют противоречивые суждения.

Впервые достаточно полное исследование эстрих-гипса было проведено Шоттом в 1871 г. Он нагревал мелкие кусочки гипса в ваннах различных расплавленных металлов и при температуре расплавленного цинка (433°) получал продукт со свойствами эстрих-гипса. Поэтому Шотт определил температуру образования этого материала в $400-500^\circ$.

Позднее Вант-Гофф производил обжиг гипса в производственных условиях в течение 10 часов при 400° . Однако, полученные им продукты не обнаруживали вяжущих свойств, из чего был сделан вывод, что эстрих-гипс следует обжигать при более высоких температурах. В 1903 г. П. Роланд опубликовал результаты своих исследований, на основании которых принял температуру образования эстрих-гипса в 525° , снизив ее впоследствии до $400-500^\circ$.

А. Мойе производил обжиг гипса в кусках размером в волошский орех в течение 6—8 часов при температурах 800 и 1000° . В первом случае он не получил эстрих-гипса, во втором же получился продукт с удовлетворительными вяжущими свойствами. Тем не менее А. Мойе температуру образования эстрих-гипса принимает около 500° . В то же время он считает, что в силу плохой теплопроводности гипса в заводских условиях обжиг его следует проводить при температуре, близкой к 950° , чем обеспечиваются достаточно полное удаление значительных количеств воды и быстрое протекание соответствующих физико-химических процессов.

На основании результатов тех же опытов А. Мойе делает вывод о вредности дальнейшего повышения температуры обжига, вызывающего пережог продукта и, как следствие, замедление его гидратации и твердения.

В дальнейшем Глазенап¹ внес в выводы А. Мойе поправку, что при производстве эстрих-гипса его качество повышается с возрастанием температуры обжига. Польский стандарт, повидимому, придерживается прежних воззрений А. Мойе и считает, что обжиг гипса выше 1000° приводит к образованию не реагирующего с водой «мертвого» гипса.

В результате своих исследований Глазенап пришел к заключению, что для эстрих-гипса характерным является наличие окиси кальция, образующейся от диссоциации сернокальциевой соли. Глазенап связывает качество продукта с содержанием в нем «свободной» окиси кальция. Последняя при прокаливании гипса должна образоваться по схеме $2\text{CaSO}_4 = 2\text{CaO} + 2\text{SO}_3 = 2\text{CaO} + 2\text{SO}_2 + \text{O}_2$.

При этом взгляде на природу эстрих-гипса встает вопрос о температурах и условиях диссоциации серноокислого кальция. Здесь до последнего времени имелись самые противоречивые данные. Исследования главным образом направлялись на определение точки плавления гипса.

Moissan² считает, что плавление гипса происходит без его разложения при темнокрасном калении, Даммер же указывает на полную диссоциацию гипса при температуре плавления железа. Глазенап дает следующий состав отдельных проб гипса, прокаленных при различных температурах (табл. 2).

Таблица 2

Состав гипса в зависимости от температуры его прокаливании

Температура обжига в градусах	CaSO ₄ в процентах	CaO в процентах
800	96,93	2,73
1000	95,88	3,58
1400	88,20	11,40

Глазенап производил обжиг чистого гипсового камня. Поведение чистого гипса при высоких температурах изучали также Гофман и Мостович³. По их данным, чистый гипс начинает диссоциировать при 1200°, а при 1360° начинается его плавление, но без полного разложения. Они же констатировали снижающее влияние на температуру разложения гипса различных добавок, в частности кремнезема и окиси железа.

Достаточно полные исследования диссоциации гипса при различных температурах провела Маршаль⁴. Она определяла упругость продуктов диссоциации как чистого гипса, так и смесей его с крем-

¹ Studien über Sfückgips, totgebranten und Estrichgips, Riga, 1909.

² Traité de chimie minerale, 111, 549, 1904.

³ Trans. Amer. Inst. of Mining. Eng., 39, 626, 1919.

⁴ Journ de chim. phys., 23, 38, 1926.

неземом, глиноземом и окисью железа, причем получила следующие данные, касающиеся диссоциации чистого гипса:

Температура обжига в градусах	Общее давление газов в сантиметрах (по ртутному столбу)
1000	0,8
1050	1,4
1100	2,41
1155	3,92
1200	6,77
1230	9,77

По Маршалль, диссоциация гипса начинается при 960° . Эта температура совпадает с данными Лащенко и Комианского¹, получивших на кривой остывания гипса переломы в пределах $959-984^{\circ}$.

Для смесей из 1 молекулы CaSO_4 с 1 молекулой SiO_2 и 3 молекул CaSO_4 с 1 молекулой каолина Маршалль получила следующие результаты (табл. 3).

Таблица 3

Зависимость между температурой обжига гипса и давлением газов

Температура обжига в градусах	Давление газов в сантиметрах ртутного столба	
	$\text{CaSO}_4 + \text{SiO}_2$	$\text{CaSO}_4 + \text{каолин}$
780	—	0,9
835	—	1,75
910	—	4,95
960	—	11,2
1000	—	17,3
1070	—	38,7
1100	9,37	68,9
1160	21,9	100,3
1170	21,9	—
1220	36,5	—
1270	47,7	—

Приведенные данные показывают большое влияние различных примесей на ход разложения сульфата кальция при воздействии температуры. В частности каолин реагирует с CaSO_4 легче, чем его составные части SiO_2 и Al_2O_3 . Окись железа оказывает наименьшее действие на разложение гипса; так добавка к гипсу 20% окиси железа вызывает разложение сернокальциевой соли при более высокой температуре, чем 5% окиси алюминия. Добавка к гипсу 5—35% кремнезема снижает температуру его разложения с 950 до 775° , при добавках же глинозема разложение довольно устойчиво держится на уровне около 935° .

Все эти соотношения играют роль и при изготовлении эстрих-гипса, так как даже наиболее чистые гипсовые породы в тех или иных количествах содержат примеси указанных окислов.

Лосев и Никитин² подвергали обжигу при различных температурах строительный гипс следующего химического состава: CaSO_4 —90,32%; H_2O —6,85%; SiO_2 —0,5%; MgO —0,24%; нерастворимых —

¹ „Журнал физико-химического общества“, 60, 579.

² „Журнал химической промышленности“, 1929 г., № 3/4, 169.

0,60%; летучих — 2,12%, причем получили следующие результаты (табл. 4).

Таблица 4

Зависимость степени разложения гипса от температуры обжига

Продолжительность обжига в часах	Температура обжига в градусах				
	1000	1100	1200	1300	1400
	Степень разложения				
1	0,64	2,80	30,53	73,58	80,33
2	0,74	3,12	35,48	76,18	85,36
3	0,93	3,23	40,30	79,32	93,22
4	0,94	3,30	45,42	81,40	99,00
5	0,95	3,30	46,13	81,60	99,51

Эти же исследователи отмечают, что упругость продуктов разложения гипса становится равной атмосферному давлению при 1420—1425°. Вопреки утверждениям других исследователей, им не удалось констатировать плавление гипса даже при температуре его бурного разложения (1420—1425°).

В 1923 г. П. П. Будников¹ опубликовал следующие данные о диссоциации сернокислого кальция при различных температурах прокаливания химически чистого кальбаумского гипса (табл. 5 и рис. 1).

Таблица 5

Диссоциация сернокислого кальция в зависимости от температуры прокаливания

Температура прокаливания в градусах	Состав полученного вещества в процентах по весу		Коэффициент диссоциации
	CaSO ₄	CaO	
800	99,91	0,09	0,0033
900	99,81	0,19	0,0045
1000	99,79	0,21	0,0051
1100	98,86	1,14	0,0272
1200	98,35	1,65	0,0391
1300	97,90	3,00	0,0697
1375	1,33	98,67	0,9946

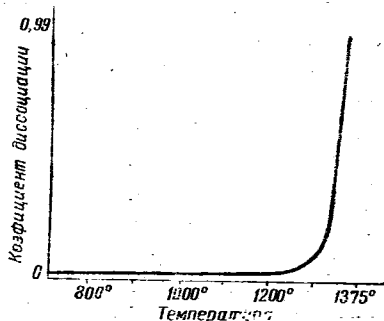


Рис. 1. Зависимость коэффициента диссоциации сернокислого кальция от температуры прокаливания

Акад. П. П. Будников² так резюмирует результаты своих исследований: «Диссоциация начинается приблизительно при 800°C и до 1000° весьма незначительна, доходя до 0,51%. От 1000 до 1200° диссоциация возрастает до 3,91%; несколько более значительна она при 1300° (6,97%) и, наконец, почти полное разложение происходит выше 1300°, приблизительно при 1375°, в расплавленной массе. Плавление и разложение совпадают во времени, и в этот момент происходит бурное выделение паров».

Таким образом, все исследования с несомненностью доказывают наличие в техническом эстрих-гипсе, обжигаемом в пределах 950—

¹ «Известия Иваново-Вознесенского политехнического института», VII, 1923, 84—87.

² Гипс, стр. 119.

1100°, небольших количеств «свободной» окиси кальция, являющейся характерным признаком этого продукта.

Кроме того, не исключена возможность присутствия в эстрих-гипсе силикатов и алюминатов, образовавшихся при взаимодействии минеральных примесей исходного материала с сульфатом кальция. Эти соединения, по мнению П. П. Будникова, в известной мере обуславливают строительную прочность растворов из эстрих-гипса.

«Свободная» окись кальция в эстрих-гипсе

Вопрос о том, в какой форме находится в эстрих-гипсе «свободная» окись кальция, изучался главным образом проф. Глазенапом. Исследованиями, проведенными до 1909 г., он установил, что на шлифах эстрих-гипса, кроме сильно спеченных зерен ангидрита, обнаруживаются стеклообразные капельки другой составной части этого вещества. Из-за невозможности механически разделить и проанализировать эти составляющие эстрих-гипса, Глазенап вынужден был предположить, что это — или окись кальция, находящаяся в твердом растворе с сульфатом, или же основной сульфат кальция.

В дальнейшем¹, изучая условия образования портландцементного клинкера и состав его под микроскопом, Глазенап усмотрел сходство в стекловидных образованиях того и другого материала и окончательно принял, что эстрих-гипс состоит из кристаллического оптически анизотропного безводного сульфата и 3—5% стекловидной, аморфной, с сильным светопреломлением, оптически изотропной модификации окиси кальция. Такой состав получается только при температуре выше 900°. При этом стекловидная окись кальция, по мнению Глазенапа, не гасится (в обычном смысле) водой и не распадается, но может образовать кристаллы $\text{Ca}(\text{OH})_2$, способствующие твердению.

Акад. П. П. Будников² не считает окончательно решенным вопрос о том, «в какой форме находится «свободная» окись кальция в так называемом гидравлическом гипсе». В то же время его исследования подтверждают данные Глазенапа о характере составляющих новообразований в эстрих-гипсе.

В последние годы обстоятельные исследования, направленные на выяснение природы эстрих-гипса, были проведены В. И. Сердюковым³. По его данным, начало процесса заметной диссоциации природного образца гипса высокой чистоты следует отнести к интервалу температур 1100—1200°. В процессе обжига наблюдаются явления спекания и образования жидкой фазы продукта взаимодействия сульфата и окиси кальция и отсутствие резко выраженной точки плавления массы. Медленное охлаждение способствует образованию в спекшейся массе крупных зерен. Подтверждается влияние кремнезема (примесей) на термическую диссоциацию гипса, температура которой при 10% добавке указанного вещества снижается на 200—250°.

Опыты над карбонизацией порошков эстрих-гипса приводят автора к выводу об отсутствии в эстрих-гипсе свободной окиси кальция и об устойчивости образующихся основных соединений сульфата кальция к воздействию углекислоты. То же самое выявля-

¹ Т. I. Z. 1925, № 13.

² Гипс, стр. 121.

³ О физико-химической природе гипса, обожженного на эстрих-гипс при высоких температурах. Диссертация. Иваново, 1939 г.

ется и по результатам воздействия перегретого пара, который не вызывал гидратации окиси кальция с явлениями гашения, характерными для извести.

При микроскопических исследованиях не удалось установить образования новых кристаллических соединений, обладающих, по данным Глазенапа и П. П. Будникова, двойным лучепреломлением, а также аморфной оптически неактивной массы. Кристаллическая структура обжигаемого материала начинает изменяться при 1100—1200° с образованием основного сульфата кальция.

Вяжущие свойства эстрих-гипса, получаемого из чистых образцов гипса, нарастают с увеличением температуры обжига продукта вплоть до 1400°.

Исследования В. Сердюкова в полной мере доказывают связь образующейся окиси кальция с сульфатом кальция, однако полностью не вскрывают характера этой связи. Образуется ли в эстрих-гипсе основной сульфат кальция или только твердый раствор обоих компонентов, пока не выяснено.

Не вскрыты до сих пор и причины разногласий отдельных исследователей по вопросу оптимальной температуры обжига эстрих-гипса. Авторы, работавшие над совершенно чистыми образцами гипса, склонны считать, что вяжущие свойства продукта повышаются по мере увеличения температуры обжига вплоть до 1400°. В тех же случаях, когда исследовались не вполне чистые натуральные образцы гипса, при обжиге зачастую наблюдался температурный оптимум.

О процессах при твердении эстрих-гипса

О характере процессов твердения эстрих-гипса имеются лишь предположительные соображения различных исследователей.

По Вант-Гофу¹, процессы твердения эстрих-гипса протекают следующим образом. Растворимость сульфата кальция, содержащегося в эстрих-гипсе, выше, чем в двуводном гипсе. При затворении водой зерна эстрих-гипса с поверхности начинают растворяться и образовывать пересыщенный раствор по отношению к $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. При этом эстрих-гипс, сразу гидратируясь, дает двуводный гипс, выделяющийся из раствора в виде кристаллов, обеспечивающих твердение массы. Так как эстрих-гипс растворяется достаточно медленно и пересыщение его невелико, то он твердеет сравнительно долго (2—3 месяца) и лишь при наличии влаги.

Чем больше взято воды для затворения, тем медленнее протекает схватывание, что объясняется медленным нарастанием пересыщения раствора после выделения кристаллов гипса.

Гидратация эстрих-гипса связана с уменьшением его объема, не компенсируемым другими побочными явлениями, как это имеет место у полуводного гипса.

Теоретически 1 г эстрих-гипса, объем которого равен

$$\frac{1}{2,97} = 0,33 \text{ см}^3,$$

присоединяет 0,265 см³ воды и дает 1,265 г $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с объемом

$$\frac{1,265}{2,33} = 0,540 \text{ см}^3$$

¹ М о й е, Гипс, стр. 41.

вместо $0,33 + 0,265 = 0,595 \text{ см}^3$. Следовательно, объем уменьшается в размере $0,595 - 0,540 = 0,055 \text{ см}^3$ на 1 г эстрих-гипса при условии полной его гидратации.

Глазенап¹ полагает, что твердение эстрих-гипса происходит вследствие гидратации ангидрита, не связанной, однако, с перекристаллизацией из-за малой растворимости эстрих-гипса. Зерна ангидрита не меняют своей формы и с поверхности как бы спаиваются друг с другом. Эта спайка тем прочнее, чем больше поверхность соприкосновения зерен и чем плотнее прилегают они друг к другу. Отсюда становится понятной необходимость уплотнения растворов эстрих-гипса трамбованием.

Присутствующая в эстрих-гипсе окись кальция, соединяясь с водой, дает гидрат, который в дальнейшем поглощает из воздуха углекислоту и переходит в CaCO_3 .

Описанные процессы твердения продолжают несколько месяцев и требуют наличия воды для достижения материалом максимальной прочности.

Кроме того, на прочность растворов эстрих-гипса, очевидно, влияет крепость самих зерен гипса, приобретаемая в процессе обжига при высоких температурах.

Далее известное влияние на твердение растворов эстрих-гипса должны оказывать частичная кристаллизация двуводного гипса, образующегося в некотором количестве, несмотря на невысокую растворимость эстрих-гипса.

В то же время Глазенап возражает против мнения П. П. Будникова о том, что процессы твердения эстрих-гипса и портландцемента в известной мере аналогичны. По мнению Глазенапа, если в твердении портландцемента участвуют вещества и в кристаллическом, и в коллоидном состоянии, то при твердении эстрих-гипса коллоиды отсутствуют.

В. Сердюков, изучая эстрих-гипс, выявил повышенную растворимость сернокислого кальция по сравнению с растворимостью безводной модификации ангидрита, полученной обжигом при температуре 600° . Собранные им данные приведены в табл. 6.

Таблица 6
Растворимость 1 г гипса в 1000 г воды

Название продукта	Изотерма растворов		
	20°	40°	50°
Безводный гипс, обжиг при 600°	2,02	2,29	2,56
Эстрих-гипс, обжиг при 1200°	3,153	2,857	2,099
" " " 1300°	4,093	3,778	3,027
" " " 1400°	5,401	4,536	3,616
" " " 1500°	3,376	3,026	2,354

По мнению В. Сердюкова, «повышенная растворимость эстрих-гипса высокого обжига является одним из факторов, способствующих его оживлению (активизации)». При этом образуется пересыщенный раствор CaSO_4 по отношению к двуводному гипсу, однако выделения кристаллов последнего не наблюдалось даже через 48 ча-

¹ „Zeit f. anorg. u allg. Chem.“, 130, 1923г., стр. 252.

сов. Отсюда следует, что кристаллизация двухводного гипса не играет значительной роли при схватывании и твердении эстрих-гипса.

При гидратации эстрих-гипса, по мнению автора, следует допустить образование преимущественно гидратов с меньшим содержанием воды, чем в двухводном гипсе, и значит более растворимых. В то же время они будут ненасыщенными по отношению к маловодным гидратам сульфата кальция¹.

Наблюдения показали, что сплавленная масса эстрих-гипса является твердым раствором.

Взаимодействие эстрих-гипса с водой в первый момент резко повышает содержание в растворе гидрата окиси кальция, определяемого титрованием, а затем гидратация замедляется вследствие уменьшения свежих, негидратированных поверхностей зерен. Чем выше температура обжига материала, тем интенсивнее протекает его гидратация.

Для эстрих-гипса различного обжига округленно степень гидратации порошков, измеряемой процентом оттитрованной окиси кальция по отношению к общему содержанию ее в свободном виде в веществе, характеризуется следующими данными:

Температура обжига эстрих-гипса	Оттитрованная окись кальция
1200°	8%
1300°	30%
1400°	65%
1500°	72%

Основной период гидратации окиси кальция продолжается 3,5—4 часа, что, по мнению Сердюкова, соответствует началу схватывания эстрих-гипсового теста. Концу же схватывания соответствует момент достижения условного равновесия в системе эстрих-гипс — вода, наступающего через 15—25 часов.

Переход безводного сульфата кальция эстрих-гипса в двухводный протекает медленно. По данным П. П. Будникова², «после 2 дней эстрих-гипс связывает 2,2% воды; после 2 недель — 5,5%; после 11 недель — 12%, между тем как для полного насыщения требуется 21% воды».

ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТИ И ДРУГИХ ВЕЩЕСТВ НА ВЯЖУЩИЕ СВОЙСТВА ЭСТРИХ-ГИПСА

Влияние извести на прочность растворов из эстрих-гипса изучалось Штермером.

Примешивая к эстрих-гипсу гидрат окиси кальция и определяя прочность образцов, изготовленных из различных смесей, Штермер получил следующие данные (табл. 7).

Таблица 7

Прочность эстрих-гипса с добавками извести в кг/см²

Эстрих-гипс (частей) Са(ОН) ₂	100 0	95 5	90 10	85 15	80 20	75 25
Через 7 дней на разрыв	16,1	18,7	15,3	12,8	10,2	12,5
„ 7 „ „ сжатие	81	85	72	57	40	49
„ 28 „ „ разрыв	17,8	25	22,5	17,6	12,4	13,3
„ 28 „ „ сжатие	97	188	182	127	96	112

¹ Диссертация, стр. 109—111.

² Гипс, стр. 51.

Таким образом при небольшой примеси извести к эстрих-гипсу прочность его значительно увеличивается.

Этот же автор установил возрастание до некоторого предела прочности растворов на эстрих-гипсе с увеличением температуры его обжига и параллельным возрастанием содержания «свободной» окиси кальция (табл. 8).

Таблица 8

Зависимость между прочностью эстрих-гипса, температурой обжига и содержанием „свободной“ окиси кальция

Температура обжига в градусах	900	1080	1180	1300
„Свободная“ окись кальция в процентах . . .	0,88	2,02	2,88	3,10
Прочность в кг/см ²				
Через 7 дней на разрыв	0,2	0,42	5,2	32,9
„ 7 „ „ сжатие	5,0	6,00	34,0	296,0
„ 28 „ „ разрыв	0,3	0,28	7,4	33,0
„ 28 „ „ сжатие	4,0	3,00	74,0	345,0

Однако, Штермер не согласен, что с повышением температуры обжига улучшаются механические свойства продукта. После обжига гипса при 3Ж 14 и содержании окиси кальция в 4,26% прочность гипса через 7 дней оказалась равной только 6,08 кг/см² и через 28 дней — 9 кг/см².

Линк и Юнг в результате своих исследований пришли к выводу о большом влиянии окиси кальция на схватывание эстрих-гипса.

Учитывая указанное влияние окиси кальция, акад. П. П. Будников¹ пришел к мысли об изготовлении синтетического эстрих-гипса. Для этого он получил ангидрит обжигом двухводного гипса при температурах в 400, 600 и 700°, затем вводил в материал известь в количестве 1, 2, 3, 5, 10 и 20% по весу CaSO₄ и размалывал смесь до остатка в 0,5% на сите № 30.

Исследования смесей показали, что ангидрит, полученный при 400 и 500°, в смеси с 10% извести схватывается так быстро, что испытание его является затруднительным. Ангидрит, полученный при 600 и 700°, при том же количестве извести обнаруживал начало схватывания соответственно через 30 минут и 1 час 10 минут, конец схватывания — через 1 час и 4 часа 20 минут.

Равномерность изменения объема выдерживалась.

При хранении на воздухе изготовленные из указанных смесей образцы показали следующую прочность (табл. 9).

Таблица 9

Прочность синтетического эстрих-гипса при хранении на воздухе

Состав цемента	Растворы	Временное сопротивление в кг/см ²					
		через 4 дня		через 7 дней		через 28 дней	
		разрыву	сжатию	разрыву	сжатию	разрыву	сжатию
Ангидрит (600°) + 10% извести	1:0	28,2	106,0	24,4	106,0	34,0	160,0
„ (700°) + 10% „	1:0	29,0	166,0	33,0	275,0	36,0	320,0
„ (600°) + 10% „	1:3	12,5	129,1	18,4	133,4	23,5	130,0
„ (700°) + 10% „	1:3	8,0	90,0	18,0	140,0	13,0	240,0

¹ Гипс, стр. 180.

Ангидрит, полученный обжигом при 700°, после введения в него извести в других количествах показал следующую прочность (табл. 10).

Таблица 10
Прочность ангидрита, обожженного при 700°

Добавки извести в процентах по весу	Количество воды	Схватывание		Сопротивление разрыву раствора 1:0 в кг/см ²			Сопротивление сжатию раствора 1:0 в кг/см ²			Сопротивление сжатию раствора 1:3 в кг/см ²		
		начало	конец	через 4 дня	через 7 дней	через 28 дней	через 4 дня	через 7 дней	через 28 дней	через 4 дня	через 7 дней	через 28 дней
1	39,0	5 ч. 45 м.	11 ч. 15 м.	24,5	34,0	44,8	145,0	146,0	262,0	76,0	133,0	243,0
2	40,5	5 „ 05 „	11 „ 25 „	23,8	30,0	35,2	93,0	127,0	236,0	72,0	124,0	220,0
3	40,7	6 „ 00 „	11 „ 00 „	27,8	23,0	38,0	116,0	141,5	276,0	75,0	126,0	222,0
5	40,9	4 „ 35 „	9 „ 00 „	27,0	30,5	34,0	103,0	118,0	238,0	75,0	128,0	175,0
10	41,0	1 „ 10 „	4 „ 20 „	31,8	34,0	36,0	166,0	276,0	320,0	90,0	140,0	249,0
20	41,6	1 „ 00 „	3 „ 20 „	23,2	28,5	26,9	119,0	196,0	235,0	100,0	115,0	140,0

Хранение образцов — воздушное. Цемент выдержал горячую пробу на равномерность изменения объема.

На основании приведенных данных акад. П. П. Будников приходит к заключению о возможности изготовления синтетического эстрих-гипса из искусственного или естественного ангидрита и извести, добавляемой в количестве 3—10% при его размоле.

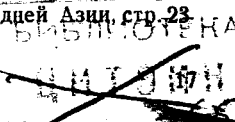
Инж. Разин¹ изготовлял синтетический эстрих-гипс из природных ангидритов Средней Азии. В качестве катализатора он применял известь-кипелку и пушонку в количестве 5, 10 и 15% по весу ангидрита, содержащего не более 1,5% кристаллизационной воды. Как показывают результаты опытов, приведенные в табл. И, добавка извести свыше 10% уже оказывает отрицательное влияние на прочность образцов.

Таблица 11
Прочность ангидрита с добавками извести-пушонки²

Добавка извести-пушонки к ангидриту в процентах по весу	Временное сопротивление в кг/см ²					
	сжатию раствора 1:3		растяжению раствора 1:0		растяжению раствора 1:3	
	через 7 дней	через 28 дней	через 7 дней	через 28 дней	через 7 дней	через 28 дней
0	69,6	113,3	16,2	18,9	13,7	7,7
5	70,0	140,0	14,8	24,1	13,5	16,2
10	64,5	129,0	11,1	31,5	10,3	22,2
15	59,0	123,5	16,0	19,1	13,5	29,3

¹ Разин, инж., Сырьевые ресурсы строительных материалов Средней Азии, стр. 23

² Образцы — с песком, трамбованные.



Кроме окиси кальция, значительное влияние на схватывание эстрих-гипса оказывают и многие другие химические соединения. Так, Линк и Юнг нашли, что присутствие небольших количеств полуводного гипса благоприятно отражается на схватывании этого материала. В их опытах исследовалась гидратация эстрих-гипса, содержащего 2,22% CaO и 1,18% воды, связанной, по данным микроскопического анализа, в полуводном гипсе в виде игольчатых кристалликов. Для разложения $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ часть материала подвергалась дополнительному прокаливанию.

Пробы непрокаленного и дополнительно прокаленного эстрих-гипса затворялись одинаковым количеством воды и оставлялись твердеть. При этом ежедневно определялось количество связанной воды в обеих пробах. Результаты, приведенные в табл. 12, указывают на весьма интенсивную гидратацию пробы эстрих-гипса, содержащего полуводный гипс. Это нуждается в дополнительном исследовании для выяснения влияния следов двуводного гипса на прочность эстрих-гипса.

Таблица 12

Данные о гидратации эстрих-гипса

Продолжительность твердения в днях	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Количество связанной воды в обычной пробе	2,48	3,67	4,60	5,66	—	8,56	9,33	10,67	11,57	—	13,86
Количество связанной воды в прокаленной пробе	1,49	1,49	1,53	—	1,67	1,89	2,49	—	3,16	3,99	—

Из других веществ для этой же цели применяются K_2CO_3 , K_2SO_4 , Na_2SO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, MgSO_4 и калиевые квасцы. Некоторые из этих солей при введении в эстрих-гипсовые растворы в количестве около 1% уже заметно ускоряют схватывание и увеличивают прочность его. Эффективность действия солей зависит от хорошего смешения их с эстрих-гипсом. При введении в последний квасцов и сернокислого аммония эти соли разлагаются окисью кальция, присутствующей в материале.

На применение в качестве катализатора KHSO_4 или NaHSO_4 был выдан патент С. Гейнтцелю, который рекомендует вводить в эстрих-гипс около 0,25% этих солей в сухом виде при размоле гипса или при затворении его вместе с водой. По утверждению автора патента, указанные соединения образуют, с одной стороны, двойные соли и, с другой, сернокислый кальций в результате взаимодействия со свободной окисью кальция. В одном случае при введении 0,25% NaHSO_4 время начала схватывания сократилось с 7 до $1\frac{3}{4}$ часа и конца схватывания — с 20 до 8 часов, а прочность образцов увеличилась с 29 до 87 кг/см².

По патенту Мака рекомендуется брать для затворения эстрих-гипса воду, содержащую около 1% сернокислого калия. Последний в сильной мере способствует гидратации зерен эстрих-гипса и обеспечивает интенсивное нарастание его прочности.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭСТРИХ-ГИПСА И ИССЛЕДОВАНИЕ СЫРЬЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Изделия из эстрих-гипса значительно прочнее, чем из строительного (штукатурного) гипса. Это подтверждается также механическими испытаниями эстрих-гипса, производимыми в различных странах по-разному. Гари через 14 дней получил сопротивление сжатию около 100 кг/см². Крамер через 16 дней получил 150—180 кг/см², через 30 дней — до 170—200 кг/см², а с различными наполнителями получил данные, приведенные в табл. 13.

Таблица 13

Сопротивление растворов эстрих-гипса сжатию в кг/см² (по Крамеру)

Через сколько дней	Эстрих-гипс с нормальным песком			Эстрих-гипс со строительным песком			Эстрих-гипс с котельной накипью		
	1:0	1:1	1:2	1:1	1:2	1:3	3:1	3:2	1:1
16	102	115	97	76	34	15	142	147	109
28	134	156	109	93	43	20	162	116	88

Опубликованы данные¹ по механическому испытанию эстрих-гипса, обожженного при 800°, а также растворов с различными наполнителями следующих составов (табл. 14).

Таблица 14

Прочность растворов эстрих-гипса с различными наполнителями

Компоненты	Вода для затворения в процентах	Характер уплотнения
Эстрих-гипс	28,75	Трамбование Утряска "
" с нормальным песком 1:3	9,25	
" со строительным песком 1:3	10,0	
" с нормальным песком 1:3	11,0	
" со строительным песком 1:6	10,0	

Хранение всех образцов производилось на воздухе. Результаты их испытания видны на рис. 2.

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы:

- введение в эстрих-гипс наполнителей сильно снижает его прочность;
- нарастание прочности наблюдается даже при достаточно длительных сроках твердения;
- через год твердения прочность снижается, но столь незначительно, что этим можно пренебречь; при последующем твердении уменьшение прочности компенсируется с избытком.

В СССР лабораторные работы по изготовлению эстрих-гипса из сырья Усть-Камского и Архангельского месторождений производились инж. Якобсон². Материалы обжигались в кусках размером 1—3 см в интервале температур 950—1300°.

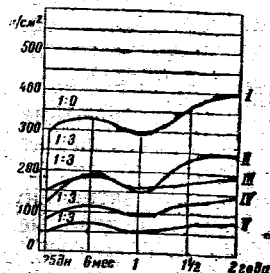


Рис. 2. График механических испытаний образцов эстрих-гипса

¹ Т. I. Z. 1914, № 92.

² „Строительные материалы“, 1933 г. № 5 и 1934 г. № 6.

Полученные пробы эстрих-гипса подвергались механическим испытаниям. Для этого брались образцы $7,07 \times 7,07 \times 7,07$ см эстрих-гипса, затворенного с водой в тесто пластичной консистенции. Часть образцов после начала схватывания подвергалась трамбованию из расчета 1 кг/м работы на 10 г сухого материала. Степень уплотнения достигала 15—18%.

Количество воды для затворения контролировалось по образованию лепешки диаметром 8—9 см в приборе Суттарда. Хранение образцов производилось во влажной атмосфере. В пробах определялось содержание «свободной» окиси кальция по сахаратному методу или пересчетом количеств общей окиси кальция и серного ангидрида, полученных анализом. Результаты всех испытаний сведены в табл. 15.

Таблица 15

Результаты испытания образцов эстрих-гипса из сырья Усть-Камского и Архангельского месторождений

Температура обжига в градусах	Продолжительность обжига в часах	Свободная СаО по расчету в процентах	Нормальная консистенция в см ³ /100 г	Сроки схватывания в часах		Тонкость размола остаток на сите в 900 отв/см ²	Сопrotивление сжатию в кг/см ²					
				начало	конец		уплотненные 1:0			неуплотненные 1:0		
							через 14 дней	через 28 дней	через 3 месяца	через 14 дней	через 28 дней	через 3 месяца
950	5	2,46	29,0	1,00	52,35	1,94	52	116	192	57	78	139
1150	5	9,81	21,5	0,35	1,40	10,54	126	158	—	107	147	—
1200	5	3,82	20,0	1,55	5,50	10,00	—	162	—	—	157	—
1250	3	1,23	23,0	1,10	3,45	4,80	94	108	191	86,5	117	195
1250	5	1,68	22,0	5,50	22,25	29,06	98	125	206	83	106	162
1300	4	5,98	23,0	5,50	18,00	34,50	79	110	152	57	72	129
1150	5	3,10	24,0	46,20	54,10	7,48	43	27	70	20	32	50
1150	7	8,25	20,0	6,10	17,10	23,10	35	95	155	—	—	—
1200	4	7,60	27,0	—	—	30,00	Образцы рассыпались					

Приведенные данные позволяют сделать следующие выводы:

1. Механическая прочность образцов увеличивается с повышением температуры обжига лишь до известного предела, после чего начинает падать. Отмечаемый оптимум обжига специфичен для каждого материала: для камского сырья он соответствует, примерно, 1200°, для архангельского — 1150°. Кроме температуры обжига, большое значение имеет и его продолжительность, влияние которой на прочность, повидимому, также имеет определенный оптимум.

2. Отсутствует ясно выраженная связь между содержанием «свободной» окиси кальция и механическими свойствами материала¹.

3. Трамбованные образцы лишь незначительно прочнее пластичных.

4. Прочность пластичных образцов 28-дневного возраста только в одном случае удовлетворяет требованию австрийского стандарта

¹ Известное недоумение здесь может вызывать тот факт, что пробы более слабого обжига содержали больше «свободной» окиси кальция.

Эстрих-гипс с песком (1:3)			
сопротивление растяжению через 7 дней в кг/см ²	—	—	5,7
то же через 28 " " "	1,96	2,7—3,8	10,60
сопротивление сжатию через 7 дней в кг/см ²	—	—	27,50
то же через 28 " " "	14—17	11—12	66—87

Кроме указанных испытаний, определялась истираемость эстрих-гипса и других материалов на круге Баушингера с нагрузкой на образец в 50 г/см² и расходом песка в 10 г/см² истираемой поверхности. К сожалению, истираемость была исчислена в процентах от первоначального веса образца, что придает полученным результатам узко относительный характер. Вместе с обычными были также испытаны образцы из эстрих-гипса, пропитанные с поверхности олифой и окрашенные минеральной краской. Результаты испытаний сведены в табл. 18.

Таблица 18

Результаты испытаний материалов на истираемость

Название материала	Потеря веса от истирания материалов в процентах	
	неокрашенных	окрашенных
Эстрих-гипс + песок 1 : 0 (700°)	8,65	4,57
" + " 1 : 0 (1000°)	9,70	3,44
" + " 1 : 0 (1200°)	10,30	3,00
" + " 1 : 1 (700°)	5,65	2,35
" + " 1 : 1 (1000°)	11,18	2,84
" + " 1 : 1 (1200°)	10,74	3,22
Оолитовый известняк	4,95	—
Красный кирпич	2,30	—
Силикатный кирпич	3,18	—
Метлахские плитки	0,9—0,52	—
Ксилотитовые плитки	14,95	—
Дерево вдоль волокон	2,85	—
Дерево поперек волокон	0,17—0,20	—

Акад. П. П. Будников, проф. В. В. Манжурет, доц. К. Ф. Мухин и инж. Ильин¹ провели всестороннее исследование гипса Сталиногорского месторождения (Тульская область) с целью определения пригодности его для производства эстрих-гипса. Обжиг гипса, содержащего около 2% примесей, при температурах 850, 950, 1050, 1150 и 1250° в продолжение 4, 6 и 8 часов показал, что продукт с наилучшими вяжущими свойствами получается при 1050° и обжиге в 6 часов.

Данные исследования с несомненностью выявили существование оптимума продолжительности и степени обжига гипса для изготовления продукта высокого качества и подтвердили наши выводы и результаты, полученные при изучении сырья Никитовского и Усть-Камского месторождений².

¹ Неопубликованный отчет кафедры технологии силикатов Харьковского химико-технологического института.

² „Строительные материалы“, 1937 г., № 4/5.

При контрольном оптимальном обжиге (6 часов при 1050°) гипса Сталиногорского месторождения указанные исследователи получили продукт с такими свойствами: удельный вес — 2,95; объемный вес — 900 г/л; нормальная густота — 26%; остаток на сите в 900 отв/см² — 0,0% и на сите в 4900 отв/см² — 12,5%; начало схватывания — 47 мин., конец — 2 часа 55 мин.; содержание свободной окиси кальция — 2,49%; количество гидратной воды, поглощенной через 28 дней твердения, — 8,82%.

Механические свойства полученного продукта видны из табл. 19.

Таблица 19
Механические свойства эстрих-гипса из сырья Сталиногорского месторождения

Эстрих-гипс : : песок	Временное сопротивление в кг/см ²						Влажность в растворах процентах
	растяжению			сжатию			
	через 3 дня	через 7 дней	через 28 дней	через 3 дня	через 7 дней	через 28 дней	
1 : 0	10,5	18,5	20,1	85	171	310	26
1 : 1	12,0	27,0	28,0	—	109	280	8,5
1 : 2	—	14,0	21,0	—	—	240	7,5
1 : 3		14,0 через 14 дней	—	—	92	—	—

Образцы с песком готовились трамбованием по методике испытания портландцемента.

Полученная высокая активность эстрих-гипса, повидимому, в значительной степени обусловлена тонким размолом материала и удачным гранулометрическим составом.

Для определения сопротивления эстрих-гипса истиранию из него делались пластинки и трамбованные образцы размером 7×7×7 см и подвергались испытанию на круге Баушингера с нормальным вольским песком. Образцы придавливались грузом в 30 кг. Результаты получились следующие (табл. 20).

Истираемость, выраженная в кубических сантиметрах материала, при расчете на 1 см² составляла для трамбованных образцов 0,2 см³/см² и для пластичных — 0,28 см³/см². Истираемость в г/см² соответственно равна 0,4 и 0,55 г/см².

Сопротивление сжатию тех же образцов равнялось 224 кг/см² для трамбованных и 182 кг/см² для пластичных.

Приводим сравнительные данные по истираемости других материалов¹, выраженные в г/см²: граниты — 0,16—0,36, кварцит — 0,23, метлахские плитки — 0,28, известняк плотный — 1,30, песчаник плотный — 0,57—0,75, клинкер — 0,22—0,43, цементный раствор 1 : 3 — 0,60—1,50.

¹ Скрамтзев В. Г., Герливанов Н. А. и Мудров Г. Г., Строительные материалы и изделия, 1938 г., стр. 44.

Таблица 20
Сопротивление эстрих-гипса истиранию

Число оборотов круга	Трамбованные образцы	Образцы из пластичной массы
	потеря в граммах	
110	5	5
110	5	7
110	5	8
110	5	8

Сырьем в производстве эстрих-гипса могут служить гипсовые отходы различных производств и в частности заводов, вырабатывающих фосфорные удобрения. Заводы эти в процессе производства выбрасывают в отвалы значительное количество так называемого фосфогипса, содержащего 70—90% двухводного сульфата кальция, 5—20% различных глинистых примесей и 1,5—5% фосфорных соединений (в расчете на ангидрид). С. М. Рояк и М. М. Гершман¹ исследовали возможность получения эстрих-гипса из отходов Актюбинского, Воскресенского и Вятского заводов удобрений. Обжиг фосфогипса производился в полузаводской вращающейся печи длиной 7 м при 1000—1150°. Материал перед обжигом высушивался до остаточной влажности около 10% и поступал в печь в виде кусков размером 5—6 см.

Результаты физико-механических испытаний обожженных проб фосфогипса различных заводов приведены в табл. 21.

Вязущие свойства эстрих-гипса из отходов Актюбинского завода повышались в 3—4 раза при добавке к продукту 2—5% гашеной извести. Содержание гидратной воды в образцах эстрих-гипса влажного хранения через 28 дней достигало 5,2%. Авторы выяснили также, что при высоких температурах воднорастворимые фосфорные соединения переходят в нерастворимые. Проведенные опыты указывают на возможность использования отходов заводов фосфорных удобрений для производства эстрих-гипса; однако ряд технологических вопросов и в частности выбор рационального метода обжига отходов нельзя считать решенными.

В лаборатории Академии коммунального хозяйства автором изучалось сырье Усть-Камского, Никитовского (Донбасс) и Мухтоловского (Арзамас) месторождений для выяснения условий получения из него эстрих-гипса. Сырье первых двух месторождений представляет собой двухводный гипс, а Мухтоловского карьера — ангидрит с примесью двухводного гипса.

Химический анализ гипса всех трех месторождений приведен в табл. 22.

Использование ангидрита для производства эстрих-гипса при определенном сочетании условий может иметь экономическое значение. С учетом результатов опытов Глазенапа, получившего обжигом ангидрита при температуре около 1100° материал с удовлетворительными вязущими свойствами, в настоящем случае был исследован ангидрит Мухтоловского карьера, ныне почти не используемый.

Так как при обжиге эстрих-гипса в шахтных печах имеет значение прочность и сырья, и получаемого из него материала, то было произведено определение сопротивления сжатию гипсового камня всех месторождений. При этом были получены следующие данные: Усть-Камское месторождение — 124 кг/см², Никитовское — 170 кг/см², Мухтоловское — 237 кг/см².

Попытки определить прочность обожженных проб не удались, так как во всех случаях получился достаточно мягкий, крошащийся материал. Однако, в полном соответствии с приведенными данными, наибольшей мягкостью отличался Усть-Камский гипс, за которым следовали более прочные Никитовский и Мухтоловский ангидрит. Разрушению кусков обожженного Усть-Камского гипса способствовали пронизывающие его глинистые и мергелистые прослойки. Гипсы двух других месторождений отличались большей однородностью и плотностью как до обжига, так и после него.

¹ „Строительные материалы“, 1936 г., №6.

Физико-механические свойства эстрих-гипса из фосфогипса различных заводов

Название завода	Нормальная водопотребл. в процентах	Скорость схватывания		Сопротивление растяжению в кг/см ²						Сопротивление сжатию в кг/см ²					
		начало	конец	воздушное хранение			хранение во влажной атмосфере			воздушное хранение			хранение во влажной атмосфере		
				4 дня	7 дней	28 дней	4 дня	7 дней	28 дней	4 дня	7 дней	28 дней	4 дня	7 дней	28 дней
Вятский	21	1 час 10 мин.	1 час 55 мин.	15,8	16,3	16,3	16,0	15,7	17,1	110	206	211	128	282	208
Воскресенский	19	1 „ 58 „	4 „ 40 „	14,8	10,1	12,5	12,5	12,9	14,1	80	80	128	128	108	146
Актюбинский	20	1 „ 35 „	3 „ 20 „	—	3,5	4,0	—	3,5	4,0	—	32	20	—	20	20

Таблица 22

Химический состав гипса различных месторождений (в процентах)

Название месторождения	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fl ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	CO ₂	Влага гигроскопическая	Гидратная вода	Сумма	Удельный вес
Усть-Камское, карьер им. 9 января	0,48	Следы	Следы	33,08	Следы	46,96	0,11	0,05	20,24	100,87	2,31
Никитовское	0,19	„	„	32,98	„	46,67	0,08	0,03	20,58	100,46	2,34
Мухоловское	0,19	„	„	38,47	0,52	53,25	0,17	0,03	8,03	100,63	2,69

Таким образом можно ожидать, что нормальный ход шахтной печи труднее всего будет поддерживать при обжиге. Усть-Камского гипса, дающего повышенное количество мелочи, способствующей забиванию проходов для дымовых газов между кусками камня.

Для удобства сравнения обжиг всех трех видов гипса при различных температурах производился одновременно. Были выбраны четыре температуры обжига — 800, 950, 1100 и 1250°. Такой выбор объясняется тем, что пока еще нет единодушного мнения об оптимальной температуре образования эстрих-гипса с наилучшими вяжущими свойствами. Как уже указывалось выше, по одним данным существует температурный оптимум для образования эстрих-гипса, по другим же, чем выше температура обжига, тем более высококачественным получится материал. Гипс обжигался в кусках по 5—12 см в количестве 50—75 кг каждой пробы в течение 6 часов. В дальнейшем при определившейся оптимальной температуре в 950° обжиги проб производились в продолжение 4 и 9 часов. При этом поддерживался окислительный характер пламени. Обожженные пробы гипса размалывались в шаровой мельнице до остатка в 15—25% на сите № 30 (900 отв/см²).

В полученных пробах определялись: 1) содержание «свободной» окиси кальция — сахаратным методом, 2) наличие сероводорода — качественной реакцией, 3) удельный вес и 4) объемный вес при свободной насыпке и при уплотнении встряхиванием — приемом, рекомендованным ОСТ для портландцемента. Результаты испытаний сведены в табл. 23.

Таблица 23

Характеристика проб эстрих-гипса из сырья различных месторождений

Название месторождения гипса и продолжительность обжига	Температура обжига в градусах	«Свободная» окись кальция в процентах	Удельный вес	Объемный вес в г/л		Полный остаток на сите в процентах		
				рыхлого	уплотненного	400 отв./см ²	900 отв./см ²	4900 отв./см ²
Усть-Камское обжиг 6 час . .	800	0,12	2,92	942	1130	12,30	19,52	75,42
	950	1,16	2,92	1020	1240	5,12	13,63	37,50
	1100	0,50	2,91	1075	1275	11,50	24,30	60,15
	1250	6,23	2,97	1195	1420	6,15	14,12	38,12
	950	0,45	3,05	1030	1460	13,70	18,5	41,1
	950	0,41	2,98	900	1460	11,09	16,83	59,77
Никитовское обжиг 6 час . .	800	0,24	2,92	830	1015	15,20	27,18	65,13
	950	1,23	2,95	905	1120	12,30	21,13	60,10
	1100	3,14	2,97	1225	1475	8,50	18,30	54,12
	1250	0,80	2,95	1000	1280	11,13	22,15	52,15
	950	0,19	3,01	830	1270	4,24	18,50	46,54
	950	0,15	2,95	815	1365	6,50	20,30	56,80
Мухомоловское обжиг 6 час . .	800	0,20	2,94	1190	1440	12,21	17,38	42,28
	950	0,48	2,96	1320	1585	14,25	21,31	48,15
	1100	6,68	3,01	1310	1550	16,82	23,15	44,18
	1250	3,31	2,98	1270	1470	12,85	24,10	52,13

Примечание. Все пробы эстрих-гипса показали наличие сероводорода при воздействии кислоты.

Все пробы эстрих-гипса были подвергнуты механическим испытаниям. Для этого из испытуемого материала трамбованием и литьем готовились образцы $7,07 \times 7,07 \times 7,07$ см. Работа трамбования была принята в 1 кг/м на 10 г сухой массы. Влажность массы считалась нормальной, когда при трамбовании на гранях образца появлялись капельки воды. В среднем влажность массы для трамбованных кубиков колебалась в пределах 20—22%.

Параллельно изготавливались также образцы из массы пластичной консистенции, которая подбиралась с помощью пестика Тетмайера. Влажность массы достигала 30—32%, т. е. для затворения 100 г эстрих-гипса требовалось 30—32 см³ массы. Одновременно замешивалась масса в количестве, достаточном для изготовления 6 кубиков. Время перемешивания увлажненного материала — 8 минут. Пластичная масса вминалась в формы, причем протыкалась стеклянной палочкой для удаления пузырьков воздуха. Формы заполнялись тестом с некоторым избытком для компенсации усадки материала при последующем твердении. Через 16—20 часов поверхность кубиков заглаживалась. Образцы обычно освобождались от форм через 48 часов, т. е. уже достаточно затвердевшими.

Из каждой пробы делалось по 9 кубиков для испытания через 7, 28 и 90 дней. После изготовления кубики выдерживались до испытания для защиты от сквозняков в шкафу при комнатной температуре (18—20°). Относительная влажность воздуха колебалась от 60 до 80°, что соответствует требованиям австрийских норм.

Параллельные испытания трамбованных и «пластичных» образцов позволяли сравнивать преимущества и недостатки каждого из этих приемов, а также выявляли разницу в прочности тех и других образцов.

При испытании под прессом разрушающая сила прилагалась к плоскостям, параллельным направлению трамбования.

Кроме указанных, были проведены следующие испытания проб эстрих-гипса: а) определение начала и конца схватывания, б) проверка равномерности изменения объема, в) гидратация образцов эстрих-гипса через 7, 28 и частично 90 дней.

Определение начала и конца схватывания проб эстрих-гипса, полученных в различных условиях обжига, проводилось с помощью иглы Вика весом 300 г. За начало схватывания принимался момент, когда игла не достигала подставки под тестом на 1 мм. Конец схватывания определялся моментом проникновения иглы в поверхность массы на 1 мм.

Далее из теста нормальной консистенции делались лепешки для определения равномерности изменения объема приемом, применяющимся при испытании портландцемента. Диаметр лепешек — около 7 см. Образцы предварительно выдерживались 7 дней в комнатных условиях, после чего часть их обрабатывалась 3 часа паром при 60—70°, а другая часть погружалась в воду температурой 17—20° на длительные сроки твердения и через 14, 28 и 90 дней подвергалась осмотру для обнаружения трещин.

Наконец, для выяснения хода гидратации эстрих-гипса во время твердения образцов, а также для выявления связи между их прочностью и степенью гидратации были проведены определения гидратной воды через 7, 28 и 90 дней. Для этого брались пробы из кубиков, испытанных на механическую прочность в соответствующие сроки. Пробы сначала высушивались при 45° для удаления гигроскопической воды, а затем после взвешивания прокаливались при температу-

ре около 300°. На основании полученных данных рассчитывалась гидратация материала.

Результаты всех испытаний и определений сведены в табл. 24.

Как показывают данные о сопротивлении сжатию образцов из эстрих-гипса Усть-Камского и Никитовского месторождений, существуют оптимальные условия обжига, при которых получается материал с наилучшими механическими свойствами.

Эстрих-гипс с вышними показателями механической прочности получается из сырья Усть-Камского месторождения, обожженного при 950° в течение 4 часов. В этом случае сопротивление сжатию через 7 дней равнялось 113 кг/см², через 28 дней — 205 кг/см² и через 90 дней — 255 кг/см². Таким образом полученный материал удовлетворяет требованиям австрийских норм.

Для сырья Никитовского месторождения оптимальными условиями обжига являются температура 950° и продолжительность обжига 6 часов. При этом через 7 дней сопротивление сжатию получается 28 кг/см², через 28 дней — 165 кг/см² и через 90 дней — 209 кг/см².

Отклонения от этих условий в значительной мере ухудшают вяжущие свойства получаемых проб эстрих-гипса.

Полученные результаты находятся в противоречии с утверждениями некоторых авторов о непрерывном улучшении механических свойств с повышением температуры обжига.

Сопоставление данных механических испытаний с результатами определения «свободной» окиси кальция также не обнаруживает здесь какой-либо прямой зависимости и тем более роста прочностей по мере увеличения содержания окиси кальция.

Петрографический анализ проб эстрих-гипса, полученных при различных температурах, показывает, что характерные для этого материала зернышки и палочки кристаллической структуры и стекловидные аморфные капельки начинают обнаруживаться только после обжига при 950°. В материале, полученном при 800°, наблюдаются только зерна мертвообожженного ангидрита. С повышением температуры обжига до 1100 и 1250° характерные признаки выявляются резче, но этому не соответствует возрастание вяжущих свойств материала.

Пробы эстрих-гипса, полученные при различных температурах из ангидрита Мухтоловского месторождения, по показателям своей механической прочности достигающим через 28 дней 50—60 кг/см², мало удовлетворительны, но и здесь можно отметить слабо выраженный оптимум при 950°, когда прочность образцов повышается.

По количественным характеристикам других свойств полученные пробы эстрих-гипса, как правило, близко подходят к описанным в литературе.

В частности удельный вес всех проб колеблется в довольно узких пределах — от 2,91 до 2,97, указываемых различными авторами. Некоторое отступление наблюдается только для обожженного ангидрита, в одном случае давшего величину 3,01. Объемные веса проб, размолотых до остатка в 10—15% на сите № 30, подвержены более значительным колебаниям, за некоторыми исключениями укладываемым для рыхлого состояния материала в пределах 950—1300 г/л и для уплотненного 1100—1450 г/л. В обоих случаях более высокий предел относится к характеристикам гипса Мухтоловского месторождения.

По австрийским нормам, объемный вес рыхло насыпанного гипса должен лежать в пределах 1000—1200 г/л. Если взять в нашем случае

Сопrotивление сжатию образцов из эстрих-гипса, полученного в различных условиях обжига

Название месторождения гипса и продолжительность обжига	Температура обжига в градусах	Нормальная влажность пластичной массы в процентах	Время схватывания		Сопrotивление образцов сжатию в кг/см ²						Влажность массы при трамбовании в процентах	Объемный вес образцов в кг/л		Содержание гидратной воды в процентах			
			начало	конец	пластичных			трамбованных				пластичных	трамбованных	через 7 дней	через 28 дней	через 90 дней	
					через 7 дней	через 28 дней	через 90 дней	через 7 дней	через 28 дней	через 90 дней							
Усть-Камское																	
обжиг—6 час. . .	800	31,0	15 час. 50 мин.	20 час. 30 мин.	15	48	195	—	—	—	—	—	1,80	—	0,13	3,3	—
	950	31,5	7 " 30 "	17 " 20 "	28	165	185	33	117	187	22,5	1,80	1,80	6,1	—	—	—
" 9 "	1100	30,0	9 " 20 "	25 " 45 "	33	100	109	34	61	113	19,5	1,81	1,90	3,2	4,4	—	—
	1250	30,0	1 " 40 "	3 " 40 "	10	22	38	10	16	21	21,5	1,80	1,83	—	—	—	—
" 4 "	950	28,0	2 " 40 "	7 " 00 "	—	90	130	—	—	—	—	1,86	—	—	3,8	9,6	—
	950	30,0	4 " 30 "	7 " 40 "	113	205	256	—	—	—	—	1,87	—	7,5	9,2	10,0	—
Никитовское																	
обжиг—6 час. . .	800	35,0	18 " — "	23 " 30 "	27	87	201	31	46	162	22,5	1,73	1,74	3,6	7,4	—	—
	950	32,5	— " — "	— " — "	30	162	209	34	74	153	22,5	1,80	1,84	2,06	—	—	—
" 9 "	1100	28,0	1 " 40 "	4 " 30 "	32	80	131	33	51	95	18,0	1,83	1,93	1,1	4,2	—	—
	1250	31,5	2 " 40 "	5 " 40 "	33	64	79	20	46	89	20,0	1,91	1,89	0,9	3,1	—	—
" 4 "	950	33,0	7 " 15 "	18 " 30 "	22	81	121	—	—	—	—	1,80	—	—	4,7	—	—
	950	30,0	8 " 30 "	13 " 50 "	22	46	79	—	—	—	—	1,80	—	—	7,8	7,2	—
Мухтоловское																	
обжиг—6 час. . .	800	21,0	3 " 50 "	8 " 10 "	12	—	77	—	—	—	—	—	—	1,9	2,6	—	—
	950	22,0	3 " 10 "	14 " 30 "	44	51	63	—	—	—	—	1,90	—	—	1,9	—	—
" 9 "	1100	24,0	1 " 30 "	2 " 30 "	31	54	70	—	—	—	—	1,87	—	1,8	2,9	—	—
	1250	25,0	1 " 10 "	2 " 30 "	32	45	77	—	—	—	—	1,83	—	1,4	2,3	—	—

пробы с наиболее ярко выраженными вяжущими свойствами, то окажется, что их объемный вес точно укладывается в эти пределы. Для уплотненного состояния австрийские нормы дают 1500—1700 г/л, что в значительной мере превосходит наши данные. Это несоответствие, невидимому, следует отнести к методике испытаний, что подтверждается совпадением объемных весов материала в неуплотненном состоянии.

Объемные веса образцов, изготовленных трамбованием или из теста пластичной консистенции, в обоих случаях мало разнятся друг от друга, укладываясь в пределах 1,8—1,9 кг/л. При этом объемный вес трамбованных образцов лишь немного выше, чем пластичных. Это обстоятельство, а также результаты механических испытаний образцов выявляют неэффективность трамбования массы в момент их изготовления.

Объемные веса образцов рассчитывались на основании их весов в 28-дневном возрасте, когда содержание гигроскопической влаги в материале достигало минимума (0,1—1,5%).

Время схватывания проб эстрих-гипса из сырья различных месторождений подвержено широким колебаниям, но в пробах с наилучшими вяжущими свойствами начало схватывания наступает через 3—5 часов, конец — через 7—10 часов.

Характерно, что эстрих-гипс, полученный из ангидрита Мухтоловского месторождения, отличается наиболее короткими сроками схватывания, достигающими при температуре обжига в 1100° соответственно 1 часа 30 мин. и 2 час. 30 мин. При этом наблюдалось даже некоторое разогревание теста.

Тесто из эстрих-гипса Никитовского месторождения отличалось наибольшей вязкостью и пластичностью, далее следовал Усть-Камский гипс и, наконец, Мухтоловский ангидрит давал малопластичное «короткое» тесто.

Влажность теста нормальной густоты для проб Никитовского и Усть-Камского месторождений колеблется в довольно узких пределах — около 30%. Поэтому в будущем следует поставить соответствующие опыты над выяснением влияния небольших изменений влажности теста на механическую прочность получаемых образцов. В случае незначительности этого влияния можно будет перейти к изготовлению теста из различных проб с добавкой установленного количества воды (например, 30%).

Все пробы эстрих-гипса при воздействии на них соляной или серной кислоты выделяли сероводород, явственно обнаруживаемый обонянием или почернением свинцовой бумажки. Содержание сероводорода в пробах увеличивается по мере повышения температуры обжига. Однако, холодное (водное) и горячее (паровое) испытание лепешек не обнаружили неравномерности изменения объема изученных проб эстрих-гипса.

Данные о гидратации эстрих-гипса показывают, что она протекала значительно медленнее, чем это отмечено предыдущими исследователями. Наибольшую склонность к гидратации проявили пробы, обожженные при 950°. Если принять во внимание, что эти же пробы обладают сравнительно лучшими вяжущими свойствами; то становится несомненной связь между механическими показателями и степенью гидратации эстрих-гипса.

Причины, обуславливающие различную склонность к гидратации, а также значительную зависимость ее и механических свойств от температуры и продолжительности обжига, остаются не выясненными.

Возможно, что здесь известную роль играют следы полугидрата, присутствующего в эстрих-гипсе, но изучение микрошлифов не обнаружило наличия его.

Примененные в описанных опытах приемы оценки пригодности различного сырья для изготовления эстрих-гипса, так же, как и методика всех проведенных испытаний, оказались достаточно пригодными для практического использования. При изготовлении образцов следует ориентироваться на формование их из пластичного теста.

ТЕХНОЛОГИЯ ЭСТРИХ-ГИПСА И ПЕЧИ ДЛЯ ЕГО ОБЖИГА

Производство эстрих-гипса включает добычу гипсового камня, дробление последнего на куски размером до 100—150 мм, обжиг при температуре 900—1100° и измельчение в порошок на соответствующих агрегатах (дезинтегратор, шаровая мельница и т. п.). Наиболее сложным процессом является обжиг эстрих-гипса, который нуждается в детальном рассмотрении.

Ввиду особого значения для эстрих-гипса отсутствия загрязнений и в частности золы топлива, наиболее пригодными для обжига следует считать те печи, в которых топливо не соприкасается с обжигаемым материалом. Кроме того, такие печи в значительной мере предохраняют гипс от восстановления углем и образования сернистого кальция CaS , нарушающего равномерность изменения объема изделий.

В зависимости от того, соприкасается ли обжигаемый материал с топливом или нет, все печи можно разделить на две большие группы. В свою очередь каждую группу можно расчленить на подгруппы по признаку прерывности или непрерывности действия.

Распределение печей различных систем по группам видно из следующей схемы:

А. Гипс соприкасается с топливом

1. Печи прерывного действия:
 - а) простые кучи,
 - б) парижская и др.
2. Печи непрерывного действия — гарцская и другие шахтные «пересыпные».

Б. Гипс соприкасается только с пламенем

1. Печи прерывного действия:
 - а) шахтные с нижней топкой,
 - б) камерные.
2. Печи непрерывного действия:
 - а) шахтные с выносными топками;
 - б) А. Мейера и др.

В печах, относящихся к группе А, п. 1, обжиг гипса протекает неравномерно, и поэтому они вышли из употребления.

За границей некоторое применение находят непрерывно действующие пересыпные печи, в частности шахтная печь, изображенная на рис. 3. Она представляет собой шахту высотой около 5 м круглого сечения, одинакового по всей высоте. Внизу печи устраиваются 2 или 4 выгрузочных отверстия. Для усиления тяги печи иногда снабжаются железной или каменной трубой.

В качестве топлива применяется короткопламенный каменный уголь в кусках размером около 2—3 см. Обычно расход угля составляет около 0,1 от объема камня. Уголь загружается слоями между слоями гипса. Гипс загружается в виде кусков размером 10—20 см.

Наиболее пригодны куски одинакового размера, что способствует хорошей тяге продуктов сгорания топлива. Печь работает непрерывно. Через определенные промежутки времени из разгрузочных отверстий ее извлекается часть обожженного и в известной мере охлажденного материала. Одновременно сверху производится загрузка новых порций гипсового камня и топлива.

В печи при обжиге можно различать три зоны: в верхней части печи — зона подогрева, где материал нагревается продуктами

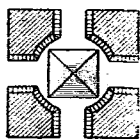
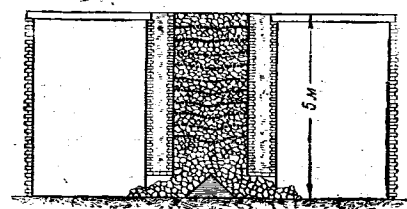


Рис. 3. Шахтная печь

горения и частично дегидратируется; в средней части — зона обжига, где гипс подвергается полной дегидратации и той степени температурной обработки, которая обеспечивает получение эстрих-гипса, и, наконец, зона охлаждения, куда материал переходит после зоны обжига. Охлаждение осуществляется потоком воздуха, необходимого для горения топлива, благодаря чему уменьшается расход тепла на обжиг.

При умелом ведении обжига расход топлива достигает 70 кг каменного угля на 1 т эстрих-гипса. Продолжительность пребывания материала в печи — около 36 час. В случае перерыва в выгрузке материала из

печи последняя может быть приглушена засыпкой сверху слоем из гипсовой мелочи.

Печи строятся из красного кирпича с внутренней огнеупорной футеровкой.

При обжиге гипса в подобной печи необходимо обратить особое внимание на хороший доступ воздуха для поддержания окислительного пламени, что предотвращает образование сернистого кальция. Ввиду недостаточной равномерности обжига, выходящий из печи материал должен подвергаться сортировке с отбором плохо обожженных кусков.

Большое распространение для обжига эстрих-гипса получила печь Мейера с выносными топками (рис. 4). Она состоит из воронкообразной шахты с сечением в верхней части 3×3 м и в нижней $2\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$ м. Внизу под шахтой с противоположных сторон сооружены по две топки для сжигания топлива как в виде кусков, поленьев, так и брикетов. Ниже топок расположены разгрузочные отверстия, закрываемые дверцами.

Общая высота печи — 10 м, из них 8,5 м приходится на шахту. Над топками обычно расположены контрольные отверстия. Нагрузка и разгрузка печи производятся каждые 4 часа. Для предотвращения неравномерного опускания материала в печи разгрузка готовой продукции должна производиться одновременно из отверстий, расположенных на противоположных сторонах печи. Разгрузка производится до появления раскаленных кусков.

Суточная производительность печи достигает 20 т. Расход каменного угля — 70 кг и бурого брикетированного — 110 кг на 1 т готовой продукции. Печь обслуживается двумя рабочими. Для защиты от атмосферных осадков над печью устраивается кровля. При большой производительности предприятия несколько печей соединяются в об-

щий блок. При обжиге необходимо следить за правильным сжиганием топлива на колосниковых решетках и подачей в печь газов окислительного характера.

Для уменьшения расхода топлива, а также для обеспечения возможности применения низкосортного топлива печи могут снабжаться выносными полугазовыми и даже газовыми топками.

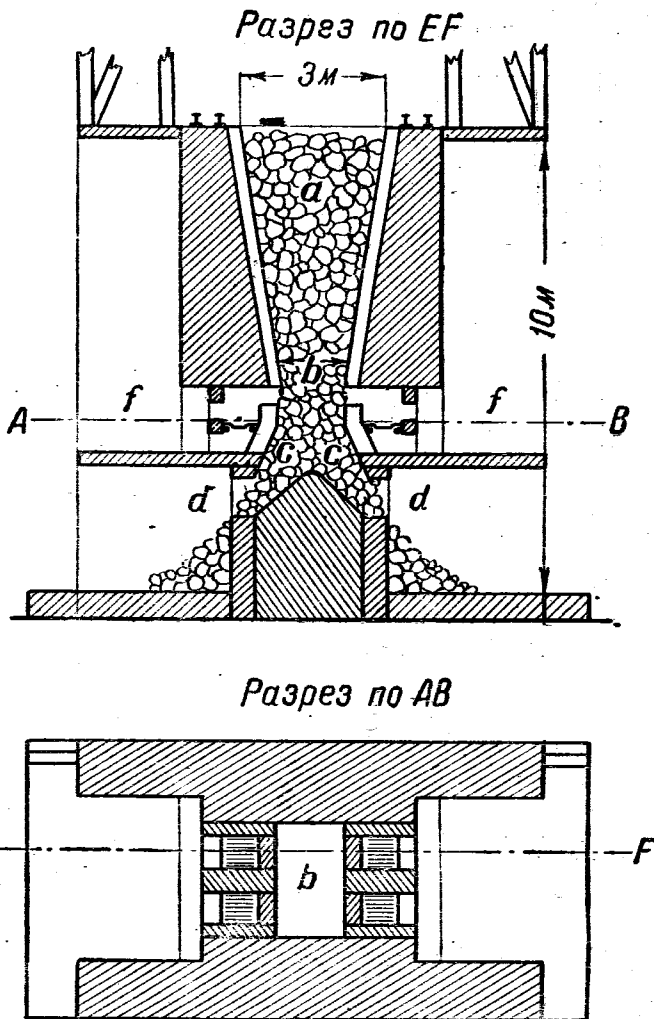


Рис. 4. Печь Мейера

Кроме рассмотренных типов печей, для получения эстрих-гипса применяются и другие шахтные печи. В этом случае с успехом может быть использован опыт постройки и эксплуатации шахтных печей в цементной и известковой промышленности. В частности можно использовать известьобжигательную печь Росстромпроекта на суточную производительность в 7 т (рис. 5), показавшую в эксплуатации вполне удовлетворительные результаты. Надо полагать, что при обжиге эстрих-гипса печь будет давать до 8—10 т продукта в сутки. Наконец,

в производстве эстрих-гипса находят применение и различные камерные печи периодического действия. Они имеют тот недостаток, что не обеспечивают равномерного обжига материала, и после обжига его приходится сортировать.

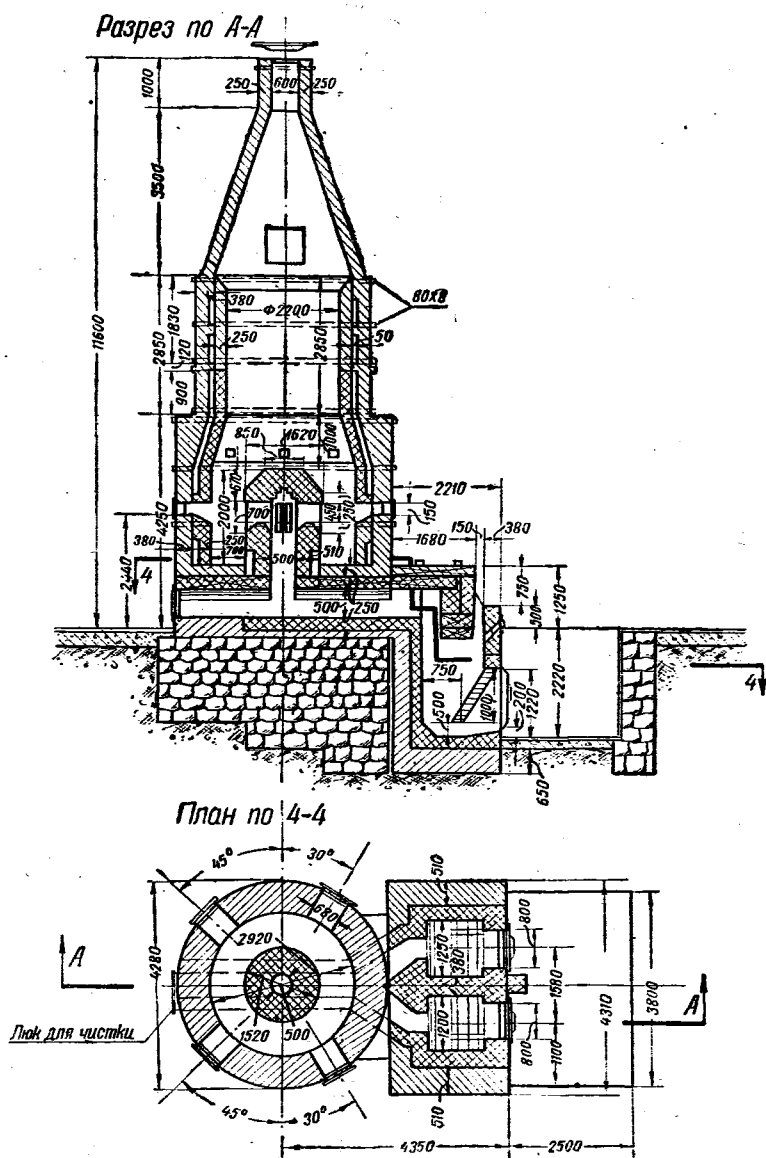


Рис. 5. Печь Росстромпроекта

Полученный эстрих-гипс подвергается размолу. Ввиду того, что измельчение его не представляет каких-либо особенностей и для этой цели применяются общеупотребительные размольные аппараты, мы не будем останавливаться на данной операции.

Для иллюстрации приводим описание производства эстрих-гипса на Щирецком заводе, близ Львова¹.

Сырьем здесь служит гипсовый камень плотной структуры с содержанием двуводного сульфата кальция около 80%. С карьера сырье в кусках размером около 15 см направляется на обжиг в шахтную печь. Раз в сутки в печь загружается около 10 т гипса, который после обжига выгружается по 1 т через каждые 2½ часа.

Обжиг производится при 950—1000° в течение 49 час. Топливом служит естественный газ. Расход топлива достигает 150 м³ на 1 т продукции. Обожженный продукт измельчается в молотковой дробилке Клеро с расходом около 3,6 квт/час. электроэнергии на 1 т. Тонкость помола характеризуется остатком около 40% на сите в 900 отв/см². Тонкость измельчения можно довести до 20—25% просеиванием продукта на вибросите и повторным измельчением остатка в дробилке. Начало схватывания получаемого эстрих-гипса наступает через 2—3 часа, конец схватывания — через 10—12 час. Сопротивление растяжению через 28 дней — 17 кг/см².

Испытания двух партий эстрих-гипса Щирецкого завода были проведены лабораторией Академии коммунального хозяйства. Для испытаний брались стандартные восьмерки и кубики из пластичного теста размером 7×7×7 см. Водогипсовый фактор достигал 33%. Часть образцов изготовлялась путем трамбования отвердевшей массы через 6—8 час. после ее затворения. Твердение образцов осуществлялось во влажном воздухе и воде. Испытания производились через 7 и 28 дней. Испытывался материал, характеризовавшийся следующими полными остатками на ситах: 2,5 мм — 9,3%; 0,6 (100 отв/см²) — 38%; 0,2 (900 отв/см²) — 51%.

С целью выяснения активности более тонких фракций эстрих-гипса были изготовлены образцы для механических испытаний из материала, прошедшего через сито в 400 отв/см². Результаты всех испытаний, сопоставленные в табл. 25, указывают на то, что по прочностным свойствам опробованные партии эстрих-гипса Щирецкого завода уступают требованиям стандартов Швейцарии и Польши.

Таблица 25

Испытание проб эстрих-гипса Щирецкого завода

№ образцов	Вид образцов	Количество воды в процентах	Количество ударов	Временное сопротивление					
				сжатия в кг/см²				разрыву в кг/см²	
				при водном хранении		при влажном хранении		разрыву в кг/см²	
				через 7 дней	через 28 дней	через 7 дней	через 28 дней	через 7 дней	через 28 дней
1	Трамбованные	33,0	40	58	66	72	106	11,0	16,0
2	Пластичные	—	—	52	67	68	102	10,5	17,0
3	„	—	—	74	86	84	121	—	—

Примечание. Образец № 3 был просеян через сито в 400 отв/см²

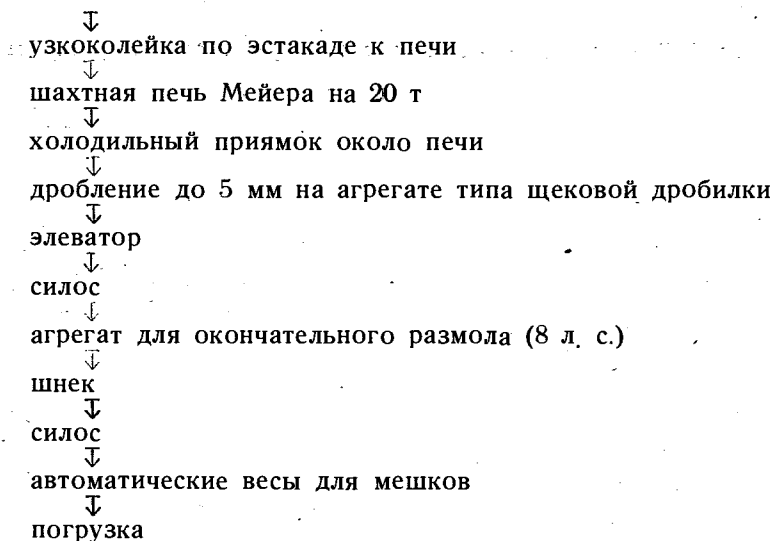
¹ „Строительные материалы“, 1940 г., № 12.

Коэффициент полезного действия установки равен

$$\frac{236 \cdot 1,34 \cdot 100}{700,8} = 45,1\%$$

В заключение целесообразно привести схему производства эстрих-гипса на одном из зарубежных заводов¹.

Карьер



Потребная мощность для всех механизмов — 25 л. с.

ТРЕБОВАНИЯ К СЫРЬЮ И ГОТОВОМУ ПРОДУКТУ

Требования к сырью и технически важным свойствам эстрих-гипса, а также порядок их определения не регламентированы с достаточной полнотой ни в СССР, ни во многих странах за границей, несмотря на длительное применение этого материала в строительстве. В практике довольствуются общими характеристиками сырья, окончательная же оценка производится на основании данных физико-механических испытаний полученного из него готового продукта.

Если эстрих-гипс предназначен для изготовления искусственного мрамора, то особое значение приобретает наличие в сырье железистых соединений, придающих изделиям из искусственного мрамора не всегда допустимые желтоватокрасные оттенки. Для получения материалов безупречной белизны содержание окиси железа в гипсовом камне не должно превосходить 0,15%.

Далее гипсовый камень не должен содержать значительных количеств органических примесей, так как они во время обжига способствуют образованию сернистого кальция (CaS), протекающему по схеме $\text{CaSO}_4 + 2\text{C} = \text{CaS} + 2\text{CO}_2$.

Сернистый кальций вызывает неравномерное изменение объема материала в изделиях. Следует отметить, что это соединение в эстрих-

¹ Шох К., Строительные вяжущие, т. 1, стр. 190.

гипсе может получиться и вследствие неправильного обжига при восстановительной атмосфере пламени.

Для производства эстрих-гипса надо выбирать породы гипсового камня, отличающиеся плотным строением. Такие породы при обжиге в шахтных печах образуют меньшее количество мелочи, которая с некоторого предела может забивать каналы для прохода газов между кусками гипса и тем нарушать нормальный ход печи.

Наибольшей детализацией и конкретностью характеризуются австрийские нормы на гипс и эстрих-гипс (В 3321). Кроме того, в дальнейшем для сравнения в отдельных частях будут подвергнуты рассмотрению польский $\left(\frac{P}{B-250}\right)$ и швейцарский стандарты на гипс, включающие разделы характеристик и эстрих-гипса.

Приводим обзор технической наиболее важных свойств эстрих-гипса, а также приемов их определения.

Химический состав. Указанные выше стандарты не предъявляют точных требований к химическому составу материала. Только польские нормы не допускают содержания $CaSO_4$ в эстрих-гипсе, предназначенном для строительных целей, ниже 95%. В эстрих-гипсе для изготовления искусственного мрамора содержание $CaSO_4$ должно быть не ниже 99%.

При пробе фенол-фталеином эстрих-гипс должен давать щелочную реакцию.

Небольшие количества кремнезема, глинозема, окисей железа и магнезия, если и оказывают влияние на свойства эстрих-гипса, то не столь значительное, чтобы его точно учитывать. В то же время необходимо принять во внимание такие соединения, как сернистый кальций и отчасти окись кальция, образовавшаяся из углекислого кальция. Каждое из этих соединений с некоторого предельного содержания его в эстрих-гипсе, повидимому, может вызвать неравномерность изменения свойств последнего. Эта неравномерность может быть определена специальными простыми приемами. Данное обстоятельство, надо полагать, является причиной отказа в подобных случаях от применения методов химического анализа, отличающихся к тому же несовершенством.

Вопреки встречающемуся в литературе мнению о вреде ангидрита, экспериментальные данные Глазенапа говорят о том, что эстрих-гипс, изготовленный из обожженного при 1000—1200° ангидрита, в течение 6 месяцев не обнаружил признаков неравномерности изменения объема.

В отношении сернистого кальция есть указание Мойе¹ о том, что содержание CaS в 0,75% и выше следует считать весьма опасным, а в 0,1% достаточно безвредным.

Определение химического состава эстрих-гипса производится приемами, описываемыми в общих курсах аналитической химии. При этом определяется присутствие в материале SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , CO_2 , SO_3 , H_2O гидратной, H_2O гигроскопической, «свободной» окиси кальция и, наконец, сероводорода. Кроме того, целесообразно делать качественную пробу фенол-фталеином, указывающим на присутствие «свободной» окиси кальция в материале и подтверждающим в известной мере, что последний является эстрих-гипсом.

В зависимости от содержания окиси железа, цвет эстрих-гипса может колебаться от чисто белых оттенков до заметных желтовато-

¹ Г и п с, стр. 221.

красных. Требования к оттенкам эстрих-гипса зависят от его назначения.

Для сравнения оттенков двух сортов гипса можно пользоваться следующим приемом: на стеклянную пластинку насыпают слой гипса и разравнивают его придавливанием второй пластинкой; далее на центральную часть полученного слоя наносят небольшое количество второго образца эстрих-гипса и также разравнивают пластинкой. Таким образом оба слоя гипса занимают положение, удобное для сравнения.

Удельный вес. Колебания удельного веса различных сортов эстрих-гипса обычно незначительны. Нормальным удельным весом эстрих-гипса считается 2,95. Определение лучше всего производить с помощью чистого толуола.

Объемный вес эстрих-гипса по австрийским и польским нормам колеблется при свободной насыпке от 1000 до 1200 г/л, при уплотнении — от 1500 до 1700 г/л.

Предельная крупность размола эстрих-гипса характеризуется следующими остатками на сите № 30 (900 отв/см²): по австрийским нормам — 5%, по швейцарским — 10%, по польским — 50%. Нам кажется целесообразным размол эстрих-гипса характеризовать остатком на сите в 900 отв/см² не более 20—30%.

Водопоглощение при нормальной консистенции. Для получения из эстрих-гипса теста «нормальной» консистенции требуется значительно меньшее количество воды, чем при затворении строительного гипса. В среднем необходимо около 30 см³ воды на 100 г эстрих-гипса.

Многие иностранные стандарты предусматривают определение «затворяемого» количества гипса, т. е. того количества, которое нужно взять на 100 см³ воды, чтобы получить тесто нормальной консистенции.

По австрийским нормам, для этого берут резиновый сосуд специальной формы, взвешивают его и наливают туда 100 см³ воды температурой в 20°. Сосуд накрывают сверху цинковой пластинкой, имеющей в середине отверстие диаметром 70 мм. Гипс засыпают в сосуд в течение 1½ мин. через это отверстие путем просеивания через сито с размером отверстий в 1 мм. Диаметр сита должен быть не меньше 150 мм.

Насыпание гипса прекращают тогда, когда он перестанет погружаться в воду и водное зеркало на 3—5 секунд будет оставаться покрытым заметной на глаз сухой гипсовой пленкой. Затворяемое количество гипса определяется по разности веса сосуда с водой до и после всыпания гипса. Это количество не должно превышать 300 г на 100 см³ воды. При таком способе приготовления из эстрих-гипса получается густое тесто.

Одни сорта дают более вязкое и тягучее тесто, другие — менее вязкое, так называемое «короткое», технически не столь ценное.

Приблизительно такой же способ предписывается нормами и некоторых других стран.

В наших опытах был применен другой прием определения теста нормальной консистенции. Пользуясь аналогичным определением для портландцемента, мы брали для этого пестик Тетмайера с нагрузкой в 300 г. Ряд сравнительных опытов показал, что при размешивании 400 г материала в течение 5 мин. получается тесто нормальной консистенции в тот момент, когда пестик погружается в него на глубину, определяемую 9-м—11-м делением шкалы прибора Вика.

Сроки схватывания. В отличие от штукатурного гипса, эстрих-гипс отличается медленным схватыванием. В среднем начало его схватывания определяется в 3—5 час., конец — в 10—12 час.

В ранее упомянутых заграничных нормах регламентированных требований к срокам схватывания эстрих-гипса не имеется.

Обычно для указанных определений применяется игла Вика. Для этого готовится тесто нормальной густоты, которое укладывается в кольцо прибора Вика. Далее через определенные промежутки времени производится опускание в тесто иглы с грузом в 300 г. По польским нормам, началом схватывания считается время, прошедшее от затворения теста до того момента, когда игла не будет доходить до пластинки под кольцом на 1 мм. За конец схватывания принимается время, прошедшее от затворения гипса до момента, когда игла начнет погружаться на глубину не более 1 мм.

При проверке данного приема в наших опытах были получены удовлетворительные результаты.

Равномерность изменения объема. Одной из важнейших характеристик вяжущих материалов является свойство равномерного изменения их объема при твердении.

Для практического использования допустимы только те вяжущие материалы, которые в полной мере обладают указанными свойствами.

Мойе¹ рекомендует следующий способ определения данного свойства. Из испытуемого материала, затворенного с возможно минимальным количеством воды, прессуются цилиндры диаметром 8 см и высотой 2,5 см (рис. 8,а). Прессование доводится до той степени, при которой из образцов появляются капли воды. Полученные цилиндры через 24 часа воздушно-влажностного хранения помещаются в воду комнатной температуры, где и выдерживаются в дальнейшем. Если материал не обладает свойством равномерного изменения объема, то через некоторое время обнаруживается набухание эстрих-гипса, и на краях цилиндров начинают появляться трещины, впоследствии увеличивающиеся (рис. 8,в). Трещины выявляются тем резче, чем плотнее были спрессованы цилиндры. При таком способе определения известь, получившаяся от разложения примесей известняков и не успевшая загаситься при затворении, может обнаруживаться через несколько часов. Присутствие значительных количеств сернистого кальция выявляется лишь в течение недели, в то время как суждение о вредном влиянии ангидрита можно сделать только после трех месяцев. Для ускорения этих испытаний возможно повышение температуры ванны с 20° до 30—40°.

Ф. Гарт рекомендует производить обработку образцов насыщенным паром при 60—70° в течение 4 час. При таком приеме неравномерность изменения объема, обуславливаемая присутствием ангидрита, не обнаруживается.

В наших опытах для определения равномерности изменения объема эстрих-гипса, по аналогии с испытанием портландцемента, делались лепешки размером около 7 см, которые в течение 7 суток вы-

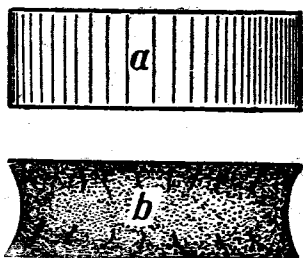


Рис. 8. Цилиндры для определения равномерности изменения объема эстрих-гипса при твердении

¹ Гипс, стр. 319.

держивались на воздухе. После этого часть их погружалась в гипсовую воду, а часть подвергалась паровой обработке при 60—70° в течение 4 часов.

Сопротивление разрыву и сжатию. Порядок определения прочности растворов из эстрих-гипса, а также минимально допустимые сопротивления разрыву и сжатию, подробно регламентируются в иностранных стандартах.

Показатели требуемой прочности по некоторым иностранным нормам через 7 и 28 дней приведены в табл. 27.

Таблица 27

Сопротивление разрыву и сжатию в кг/см²

Нормы	Сопротивление разрыву		Сопротивление сжатию	
	через 7 дней	через 28 дней	через 7 дней	через 28 дней
Австрийские	10	25	100	150
Польские	10	25	100	120
Швейцарские	—	—	110	170

При сравнении этих данных следует принимать во внимание разницу в изготовлении и условиях твердения образцов для стандартных испытаний.

Согласно австрийским нормам, для каждого испытания готовится 6 образцов. Прочность определяется как средняя величина из 4 лучших результатов испытания образцов соответствующего возраста. Для определения сопротивления разрыву и сжатию из эстрих-гипса делаются соответственно восьмерки и кубики со стороной в 5 см.

Гипсовое тесто для заполнения форм готовится с нормальным количеством воды, определяемым вышеописанным способом. Формы предварительно смазывают вазелином. Приготовленное тесто туго вминают в формы и оставляют в них отвердевать до тех пор, пока легкое нажатие ногтем не перестанет оставлять след на поверхности образцов. После освобождения из формы образцы помещают в закрытое помещение с температурой в 15—20° и влажностью от 60 до 80%, где оставляют твердеть до испытания через 7 и 28 дней.

Возрастание нагрузки при испытании на разрыв должно составлять 0,1 кг/сек., а на сжатие — 25 кг/сек. При испытаниях на сжатие давление следует прилагать к плоскостям образца, параллельным направлению литья.

В наших опытах применялся описанный метод изготовления образцов для испытания с той разницей, что кубики делались в формах размером 7,07×7,07×7,07 см и хранились во влажном пространстве.

Таблица 28

Нормы прочности эстрих-гипса в кг/см²

Сопротивление растяжению		Сопротивление сжатию	
через 7 дней	через 28 дней	через 7 дней	через 28 дней
10	20	100	150

В отношении прочностных свойств эстрих-гипса нам кажется целесообразным установить следующие требования (табл. 28).

УСТРОЙСТВО ПОЛОВ ИЗ ЭСТРИХ-ГИПСА

Полы из эстрих-гипса характеризуются огнестойкостью, эластичностью, относительно малой теплопроводностью и бесшумностью.

Бесшовность полов предотвращает скопление на них пыли и грязи, а также обеспечивает легкость их очистки.

Будучи более теплыми и эластичными по сравнению с цементными полами, полы из эстрих-гипса могут применяться вместо цементных во всех помещениях, где нет «мокрых» процессов.

Качество эстрих-гипсовых полов зависит от качества материала, правильности изготовления из него раствора и укладки в дело, условий твердения и, в особенности, от правильности подготовки основания.

Эстрих-гипс, применяемый для устройства полов, должен по своим строительным свойствам отвечать специальным техническим условиям. Всякая вновь поступающая на строительство партия эстрих-гипса должна применяться в дело лишь после предварительного определения его качества, согласно указаниям технических условий.

Эстрих-гипсовое покрытие может укладываться по любым прочным связанным основаниям (бетонным, деревянным и т. д.).

Марка бетона, уложенного в основание, должна быть не ниже 50, а в случае наличия хороших, ненасыщенных грунтов, в основании может быть допущен бетон марки 30.

Прогиб деревянных оснований должен быть не более 1 : 300.

Основания под эстрих-гипсовые покрытия, независимо от материала, из которого они сделаны, до укладки гипсового раствора должны покрываться слоем влажного утрамбованного песка толщиной в 2—3 см. Это не позволяет гипсовому слою и основанию при изменении их влажности и температуры деформироваться независимо друг от друга, что предотвращает возникновение трещин.

Песчаный слой перед укладкой гипсового раствора должен быть выравнен, увлажнен и тщательно утрамбован.

В тех случаях, когда укладка песка под эстрих-гипс по деревянному основанию невозможна или нежелательна, допускается замена его слоем толя или иного водонепроницаемого рулонного материала. При этом дерево необходимо антисептировать общепринятыми способами, а в подполье устанавливать вентиляцию.

Непосредственное соприкосновение свежеложенного гипсового слоя с деревом, кирпичом или другими материалами, легко отсасывающими воду, не допускается из-за ухудшения процессов твердения эстрих-гипса и возникновения в нем трещин. Поэтому перед укладкой эстрих-гипсового раствора элементы стен или других конструкций, соприкасающиеся с гипсом и могущие отсасывать из него воду, должны подвергаться тщательному увлажнению из краскопульта или иным способом.

Эстрих-гипсовый раствор (тесто) может готовиться как ручным способом, так и в растворомешалках.

Ручное изготовление раствора может осуществляться в деревянных или лучше железных оцинкованных ящиках с наклонными стенками и ручками (рис. 9).

Размер ящика: по верхнему периметру $1,5 \times 0,8$ м, по нижнему $1,1 \times 0,8$ м, высота 0,4—0,5 м.

Раствор изготавливается ручным способом следующим образом. Сначала творильный ящик наполовину заполняется водой. Далее в воду засыпается лопатами эстрих-гипс; засыпка производится постепен-

но встряхиванием лопаты до тех пор, пока гипс не закроет зеркало воды в виде тонкого сухого слоя. Через некоторое время засыпанный в ящик гипс полностью пропитывается водой, и с этого момента следует начинать его энергичное перемешивание до полного исчезновения комочков и образования однородного теста. При покрытии значительных поверхностей надо иметь два ящика.

Для получения доброкачественного удобообрабатываемого раствора необходимо на 100 кг материала давать 30—35 л воды, в зависимости от свойств эстрих-гипса.

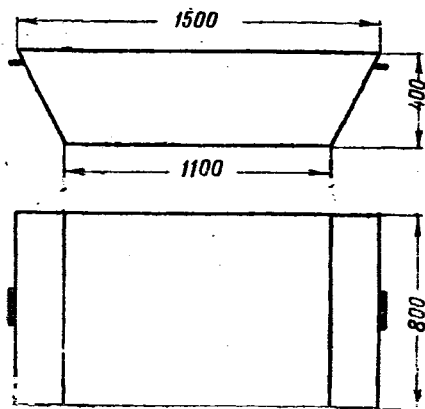


Рис. 9. Ящик для изготовления раствора

Опыт показал, что при указанном порядке приготовления раствора в ящике получается автоматическое дозирование необходимого количества воды и раствор оказывается вполне пригодным для укладки в дело.

При изготовлении эстрих-гипсового раствора в растворомешалке в барабаны последней сначала заливается отмеренное количество воды и далее засыпается гипс по весу. Перемешивание гипса с водой должно продолжаться не менее 4—5 минут до получения однородной массы.

Необходимый водогипсовый фактор предварительно подбирается в лаборатории на приборе Вика с помощью пестика Тетмайера; при погружении в тесто рабочей консистенции пестик не должен доходить до нижней плоскости кольца на 9—11 делений.

Полученный в лаборатории водогипсовый фактор проверяется при изготовлении первого замеса и окончательно устанавливается по степени удобоукладываемости массы.

В дальнейшей работе необходимо обращать самое серьезное внимание на соблюдение точного дозирования воды и эстрих-гипса в соответствии с принятым водогипсовым фактором.

При расходовании эстрих-гипсового раствора остающееся в ящике количество его необходимо перемешивать во избежание расслоения с образованием слоев с различным соотношением воды и гипса, иначе разнородный материал в полах будет неравномерно твердеть и давать трещины.

До нанесения эстрих-гипсового раствора на выравненный, утрамбованный и увлажненный песчаный слой укладываются деревянные рейки-маяки на расстоянии 1 м друг от друга.

При толщине пола в 3 см толщина реек, с учетом уменьшения толщины слоя после утрамбования, примерно, на 1 см, должна быть 4 см. Длина реек-маяков может колебаться в пределах 3—5 м, в зависимости от размеров помещений. Ширина их 8—10 см. Целесообразно рейки делать с зубчатыми краями («драконов зуб») для обеспечения в дальнейшем лучшего сцепления полей.

В промежутки между маяками укладывается эстрих-гипсовый раствор (тесто) и выравнивается рабочими с помощью мастерка, правила и гладилки (рис. 10). Правило можно обить с одной стороны оцинкованным железом или резиной.

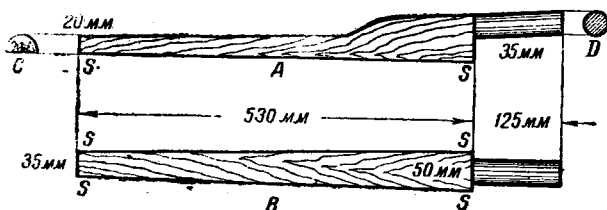


Рис. 10. Гладилка

При заполнении раствором всего поля между рейками те из них, которые находятся между двумя готовыми соседними панелями, вынимаются и устанавливаются на новом месте. Оставшиеся между панелями полосы тщательно заполняются тем же эстрих-гипсовым раствором.

При достаточном навыке рабочий должен выравнивать отдельные панели с помощью одной лишь рейки-маяка и края предыдущего поля.

Расход эстрих-гипса достигает 50—60 кг на 1 м².

Доброкачественный эстрих-гипс в течение 1—2 час. остается мягким. При этом из него выделяется на поверхности часть воды. В дальнейшем раствор начинает схватываться.

Через 10—20 час. пол приобретает такую прочность, что нажим пальца оставляет на нем лишь незначительное углубление. Это является простым и быстрым приемом определения того момента, когда необходимо приступить к трамбованию пола.

Для трамбования применяются различного вида деревянные или металлические трамбовки весом 8—10 кг (рис. 11).

Трамбование производится (с досок, уложенных на пол) до тех пор, пока масса вновь не станет пластичной и на поверхности ее появится вода. После этого поверхность тщательно выравнивается и затирается стальной кельмой.

Утрамбованная и выравненная поверхность на длительное время оставляется в покое, причем принимаются меры против сильного ее высыхания и действия сквозняков, вызывающих неравномерное твердение и растрескивание пола. Поэтому окна и две-



Рис. 11. Металлическая трамбовка

ри следует держать закрытыми. Допускается также поливка пола водой из лейки, через 3—4 дня после трамбовки.

Нормальное твердение эстрих-гипса протекает при температурах около 20°. Поэтому температура помещений с уложенным эстрих-гипсовым полом до момента его твердения должна быть не ниже 10°.

Через 1—1½ дня после трамбования эстрих-гипс вновь схватывается. Через 10—12 дней по полу можно ходить. При постукивании по полу должен получаться чистый звук. Глухой звук указывает на наличие воздушных прослоек между слоем гипса и основанием вследствие плохой подготовки основания, неравномерной укладки слоя эстрих-гипса или слабой его трамбовки.

При наличии эстрих-гипса высокого качества допускается изготовление полов из смеси 1 части эстрих-гипса с 1—2 частями чистого песка (по объему). Это не только удешевляет стоимость пола, но и обеспечивает более ранний ввод его в эксплуатацию. Качество покрытия при этом снижается.

Песок должен отвечать требованиям ОСТ на песок для бетонных работ и иметь крупность зерен не выше 3 мм.

Приготовление эстрих-гипсопесчаного раствора необходимо производить в растворомешалках принудительного действия с перемешиванием материалов не менее 4—5 минут.

При изготовлении гипсопесчаного раствора материалы увлажняются в растворомешалке до степени, соответствующей влажности трамбованного бетона. Полученная масса укладывается слоем в 3—5 см на хорошо увлажненный утрамбованный слой песка и сейчас же трамбуется до появления на поверхности влаги.

После трамбования и тщательного выравнивания поверхность посыпается небольшим количеством сухого эстрих-гипса, затирается и окончательно отделяется кельмой.

Изготовленный таким образом гипсопесчаный пол оставляется твердеть в течение 2—3 дней и далее покрывается мокрыми опилками еще на 3—5 дней, после чего может вводиться в эксплуатацию.

Для значительного повышения сопротивления истиранию как эстрих-гипсового, так и эстрих-гипсопесчаного пола целесообразно после просушки его применять пропитку натуральной или искусственной олифой с последующей окраской.

Возможна также натирка пола раствором воска в скипидаре или парафина в бензине.

Для изготовления цветного пола к эстрих-гипсу применяют в необходимом количестве минеральные или органические щелочестойкие краски (мумия, охра, умбра и др.).

Введение красок в гипс целесообразно осуществлять во время размола материала.

В Москве на некоторых предприятиях в начале 1941 г. были устроены полы из эстрих-гипса Щирецкого завода (Львовская область). Полы укладывались по бетонному основанию с песчаной прослойкой в соответствии с изложенными выше указаниями. На заводе «Шарикоподшипник» в опытном порядке был уложен пол из чистого эстрих-гипса, показавшего сопротивление сжатию при испытании в пластичных образцах через 7 дней 68 кг/см² и через 28 дней — 102 кг/см² (табл. 25). Через 2 месяца из пола были вырезаны образцы, которые при испытании обнаружили сопротивление сжатию до 150—160 кг/см². Объемный вес образцов достигал 1750 кг/м³. При толщине слоя эстрих-гипса в 3 см расход материала на 1 м² пола колебался в пределах 50—60 кг.

С внешней стороны полы оказались в удовлетворительном состоянии и не имели ни деформаций, ни других дефектов.

Устройство полов в Москве выявило необходимость механизации ряда процессов и, в первую очередь, трамбования эстрих-гипсового и подстилочного песчаного слоя. Не исключена возможность устройства полов из заранее заготовленных эстрих-гипсовых плит. В этом случае будет достигнуто резкое сокращение срока ввода пола в эксплуатацию.

В последнее время делаются попытки применить эстрих-гипс для изготовления скульптур (Москва, Трест скульптуры и облицовки) и черепицы (Щирецкий завод). Однако, достаточного опыта в этом направлении пока не накоплено.

Проект

ВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА ЭСТРИХ-ГИПС И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ

Впредь до установления стандарта на эстрих-гипс рекомендуется руководствоваться следующими требованиями к его техническим свойствам.

§ 1. **Равномерность изменения объема.** Эстрих-гипс должен характеризоваться равномерным изменением объема при твердении образцов в гипсовой воде и при обработке их паром.

§ 2. **Тонкость помола.** Остаток на сите 900 отв/см² не должен быть более 30%.

§ 3. **Временное сопротивление растяжению и сжатию.** Образцы размером 7,07 × 7,07 × 7,07 см, изготовленные из эстрих-гипсового теста, после 7- и 28-дневного твердения должны показывать не менее следующих величин временного сопротивления растяжению и сжатию:

	Временное сопротивление в кг/см ²	
	7 дней	28 дней
Растяжение	10	20
Сжатие	100	150

Методы испытаний

Для испытаний отбирается общепринятым способом проба весом 8 кг от каждой партии в 100 т и меньше.

§ 4. **Химический состав эстрих-гипса** устанавливается общепринятыми методами неорганического анализа.

Определению могут подвергаться кремнезем, глинозем, окись кальция, окись магния, угольный ангидрид, серный ангидрид, вода гидратная, вода гигроскопическая и сероводород.

Качественная проба фенолфталеином обнаруживает «свободную» окись кальция, являющуюся признаком эстрих-гипса. При этом применяется 1% спиртовый раствор фенолфталеина.

§ 5. **Объемный вес эстрих-гипса** определяется в соответствии с указаниями ОСТ 310—41 на методы механических испытаний портландцемента.

§ 6. **Тонкость помола** определяется просеиванием сухой пробы эстрих-гипса в 100 г через сито 900 отв/см² с помощью потряхиваний и постукиваний до тех пор, когда в течение 1 мин. через сито будет проходить не более 0,1 г продукта.

§ 7. **Нормальная густота эстрих-гипсового теста** определяется на приборе Вика с помощью пестика Тетмайера при грузе в 300 г. Предварительно испытываемый эстрих-гипс просеивается через сито 64 отв/см² для отделения слежавшихся комочков и случайных примесей. Определение производится в соответствии с указаниями ОСТ 310—41 на методы механических испытаний портландцемента.

Густота эстрих-гипсового теста считается нормальной, если пестик не доходит до дна на 9—11 делений шкалы.

§ 8. **Сроки схватывания** определяются с помощью иглы Вика. Для этого готовится нормальной густоты тесто, укладываемое в кольцо прибора. Далее через каждые 5 мин. производится опускание в тесто иглы с грузом в 300 г. За начало схватывания считается время, прошедшее от затворения теста до того момента, когда игла не будет доходить до пластинки под кольцом на 1 мм. За конец схватывания считается время, прошедшее от затворения гипса до момента, когда игла начинает погружаться на глубину не более 1 мм. Порядок работы с иглой Вика — см. в указаниях ОСТ 310—41 на портландцемент.

§ 9. **Равномерность изменения объема**, по аналогии с портландцементом, определяется на лепешках, изготовленных из теста нормальной густоты. Лепешки диаметром около 7 см после изготовления выдерживаются на воздухе в течение 7 суток. После этого 3 образца погружаются в чистую воду до 28-дневного срока и 3 образца подвергаются паровой обработке при температуре 75—85° в течение 4 часов.

Эстрих-гипс признается доброкачественным, если на лепешках, твердевших в воде и подвергнутых паровой обработке, не обнаружится трещин или искривлений. Трещины усыхания посередине лепешки не являются признаком недоброкачественности продукта.

Порядок работы определяется соответствующими указаниями ОСТ 310—41 на цемент.

§ 10. **Временное сопротивление растяжению и сжатию эстрих-гипса** определяется испытанием восьмерок и кубиков размером 7,07 × 7,07 × 7,07 см, сделанных из теста нормальной густоты. Испытания производятся в сроки 7 и 28 дней. На каждое испытание делается 6 восьмерок и 3 кубика. Прочность на сжатие определяется как средняя величина из 2 лучших результатов и на растяжение — из 4 результатов. При изготовлении образцов формы смазываются вазелином. При заготовке теста эстрих-гипс тщательно и непрерывно перемешивается с водой в течение 5 мин. При ручном перемешивании на одну заготовку берется эстрих-гипса не более 2 кг.

Приготовленное тесто тщательно перемешивается и вминается в формы с удалением пузырьков воздуха стеклянной палочкой. В формах образцы остаются в течение 2 суток, после чего они освобождаются и хранятся в закрытом влажном пространстве при температуре 15—20° до сроков испытаний.

Детальный порядок хранения и испытания образцов должен соответствовать ОСТ 310—41 на методы испытания портландцемента.



