

И.Х. НАНАЗАШВИЛИ
В.И. НАНАЗАШВИЛИ

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ



**И.Х. НАНАЗАШВИЛИ
В.И. НАНАЗАШВИЛИ**

**РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Справочное пособие



**Издательство Ассоциации строительных вузов
Москва 2012**

Рецензенты:

Кафедра «Строительных материалов и изделий»
Московского государственного общедоступного университета (МГОУ)
зав. кафедрой д-р техн. наук, профессор
Л.Н. Попов

канд. техн. наук, профессор Университета природообустройства
А.Г. Прозоровский

Наназашвили И.Х., Наназашвили В.И. Ресурсосбережение в строительстве: Справочное пособие. – М., Издательство Ассоциации строительных вузов, 2012. – 488 с.

ISBN 978-5-93093-860-9

Приведены характеристики важнейших свойств традиционных и новых строительных материалов и изделий, сведения об их получении и эффективной области применения. Освещен опыт энергосберегающих технологий, рассмотрены рекомендации по снижению материалоемкости, сокращению потерь, взаимозаменяемости и рациональному использованию материальных ресурсов. Дан анализ причин потерь различных строительных материалов, рассмотрены пути их сокращения и использования вторичных ресурсов для производства прогрессивных строительных материалов. Приведены также нормативы расхода основных строительных материалов, даны правила подсчета расхода материалов для различных видов работ при строительстве, реконструкции и ремонте зданий и сооружений.

Для студентов и аспирантов строительных вузов, а также широкого круга строителей, работников строительных комплектующих, снабженческих и торговых организаций.

ISBN 978-5-93093-860-9

© Издательство АСВ, 2012

© И.Х. Наназашвили, В.И. Наназашвили, 2012

ЧАСТЬ I.

Ресурсосбережение строительных материалов и изделий

ГЛАВА 1

Цемент и резервы его экономии в строительстве

1.1. Цемент

В нашей стране выпускают свыше 30 видов и разновидностей цемента для потребностей строительной индустрии: портландцемент, пуццолановый портландцемент, шлакопортландцемент, гидрофобный, пластифицированный, глиноземистый, сульфатостойкий, быстротвердеющий, цветные цементы и др.

Цементы при твердении могут приобретать различную прочность, которая характеризуется маркой цемента. Цементы производятся марок 300, 400, 500, 600, но в отдельных случаях и более высоких марок.

С повышением марки возрастает эффективность применения цемента в бетонах за счет уменьшения его удельного расхода. Производство цемента высоких марок, достигаемое за счет совершенствования технологического процесса на цементных заводах, равноценно дополнительному выпуску значительных количеств цемента. И наоборот, если при транспортировании и хранении падает активность цемента (происходящее вследствие поглощения водяных паров и диоксида углерода из воздуха), то это равносильно безвозвратной потере некоторой части цемента.

Из выпускаемых промышленностью видов цемента наиболее важное значение имеет портландцемент.

Выпуск цемента в странах, крупнейших производителях цемента, и их производственные мощности по клинкеру приводятся по данным Геологической службы США (расчет выпуска цемента на душу населения взяты из CIA Factbook табл. 1.1).

Россия по объемам выпуска цемента занимает 9 место, но в ближайшие годы может переместиться на 3-4 позиции выше. Степень использования производственных мощностей среди перечисленных стран у России наихудшая.

По выпуску цемента на душу населения Россия находится между Мексикой и Бразилией. Самые высокие показатели здесь 900–1100 кг у Южной Кореи, Испании и Саудовской Аравии. Следует отметить, что среди западноевропейских стран выпуск на душу населения цемента различается в 2–3 раза.

Объем выпуска цемента в некоторых странах (крупнейших производителях) представлен в таблице 1.1.

Портландцемент – гидравлическое вяжущее вещество, твердеющее в воде и на воздухе. Его получают тонким помолом клинкера с соответствующими добавками. Клинкер – спекшаяся сырьевая смесь известняка и глины в виде зерен размером до 40 мм. От его качества зависят важнейшие свойства цемента: проч-

ность и скорость ее нарастания при твердении, долговечность, стойкость в различных эксплуатационных условиях. Для регулирования сроков схватывания при помоле к клинкеру добавляют 1,5...3,5% гипса от массы цемента в пересчете ангидрид серной кислоты SO₃. Портландцемент выпускают без добавок или с активными минеральными добавками в количестве до 15% от массы цемента.

Таблица 1.1¹

Выпуск цемента в некоторых странах

	Производство цемента, Мт		Мощности по клинкеру, Мт		Население, млн чел.	Выпуск, кг/душу
	2001	2002	2001	2002		
Китай	626,5	640	550	550	1270	503
Индия	100	100	120	120	1030	97
США (с Пуэрто-Рико)	90,45	90,6	100	102	278	366
Япония	76,55	75	90	90	127	590
Южная Корея	52,102	53	58	60	48	1100
Испания	40,512	40	40	40	40	1000
Италия	39,804	39	46	46	58	672
Бразилия	39,5	40	44	45	175	228
Россия	35,1	37,7	65	65	145	260
Индонезия	31,1	32	40	40	228	140
Турция	30,12	31	33	33	65	476
Мексика	29,966	30	37	40	102	294
Германия	28,034	28	31	31	83	337
Таиланд	27,913	28	48	50	62	451
Иран	26,65	28	30	30	66	424
Египет	24,5	26	28	35	70	371
Саудовская Аравия	20,608	21	24	24	23	913
Франция	19,839	20	22	22	60	333
Прочие страны (округленно)	361	360	300	320		
Весь мир (округленно)	17000000	1720000	1700000	1700000		

Технология получения портландцемента в основном сводится к следующим операциям: изготовлению сырьевой смеси надлежащего состава, ее обжига до спекания и помола.

Согласно исследованиям и многолетнему практическому опыту известно, что для получения доброкачественного портландцемента содержание важней-

¹ Сведения на 2002 г.

ших оксидов в клинкере должно быть в следующих пределах: 62...68% CaO; 18...26% SiO₂, 4...9% AlO₃; 0,3...6% Fe₂O₃. Из этих данных, характеризующих элементарный химический состав клинкера, следует, что для производства портландцемента надо применять сырьевые материалы с большим содержанием оксида кальция и алюмосиликатов. Этому условию отвечают широко распространенные осадочные породы – известняки и глины. В известняках преобладает карбонат кальция, в глинах же имеются различные водные алюмосиликаты: каолинит, монтмориллонит, галлаузит и др., формула которых имеет общий вид AlO₃ • nSiO₂ • mH₂O. Кроме того, в глинах обычно содержится диоксид кремния в виде тонкого кварцевого песка и оксида железа.

При соотношении глины и известняка 1:3 (по массе) можно получить необходимый химический состав цементного клинкера. Известняк и глину могут заменить и другие материалы, например мергели – природная смесь известняка и глины. В местах, богатых месторождениями мела, они используются вместо известняка.

Кроме того, в сырьевую смесь вводят корректирующие добавки, пиритные огарки или железную руду, если в исходной глине мало оксидов железа, а при необходимости повысить содержание диоксида кремния в смеси – кварцевый песок.

Сырьевую смесь для получения цементного клинкера готовят сухим или мокрым способом, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки. В частности, при мокром способе легче достигнуть тонкого измельчения исходных материалов и получить их гомогенную смесь, но расход топлива на обжиг в этом случае выше, чем при сухом. Получаемая при мокром способе суспензия сырьевых материалов обычно содержит 32...45% воды. Для повышения производительности печей и уменьшения расхода технологического топлива стремятся: уменьшить влажность сырьевого шлама без ухудшения его текучести за счет применения поверхностно-активных добавок.

Сырьевой шлам поступает во вращающуюся печь для обжига, которая представляет собой длинный цилиндр (например, длиной 185 м и диаметром 5 м), медленно вращающийся вокруг своей оси (рис. 1.1). Печь имеет некоторый наклон к горизонту, поэтому сырьевая смесь, загружаемая в верхнюю часть, постепенно перемещается к нижнему концу печи. Из нижнего конца печи вдувается, топливо – пылевидный уголь или природный газ. При сжигании топлива образуются горячие газы, движущиеся по принципу противотока, т. е. навстречу сырьевой смеси. Перемещаясь к нижнему концу печи, шлам претерпевает сперва физические, а затем существенные химические превращения. В начале печи он подсушивается и, передвигаясь дальше, попадает в зону с температурой 550...800 °С. Здесь происходит дегидратация водных алюмосиликатов глины. Этот процесс сопровождается образованием соединений, характеризующихся сильно разрыхленной структурой частиц. При этом внутренняя энергия вещества возрастает и повышает его реакционную способность.

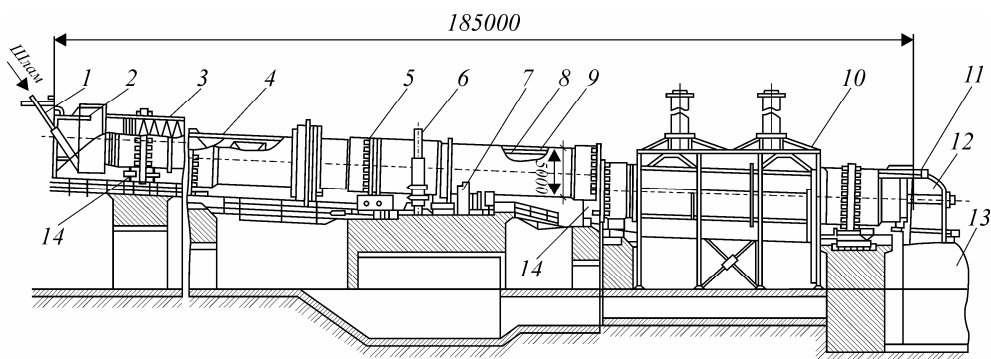


Рис. 1.1. Вращающаяся печь размером 5х185 м:

- 1 – течка для подачи шлама; 2 – фильтр-подогреватель; 3 – цепная засека;
 4 – внутripечной теплообменник; 5 – бандаж; 6 – венцовая шестерня; 7 – привод печи;
 8 – корпус печи; 9 – огнеупорная футеровка; 10 – устройство для охлаждения
 корпуса печи; 11 – уплотнения горячего и холодного концов печи;
 12 – головка печи; 13 – холодильник; 14 – роликоопоры

Далее сырьевая смесь попадает в зону с температурой 900... 1000° С, где карбонат кальция диссоциирует и образуется его оксид. Реакции протекают в твердом состоянии между оксидом кальция и продуктами дегидратации глины, содержащими преимущественно оксид алюминия и диоксид кремния. Оксид кальция с оксидом алюминия образуют однокальциевый алюминат $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Одновременно оксид кальция реагирует с диоксидом кремния, образуя в больших количествах двухкальциевый силикат $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$.

Обжигаемая смесь передвигается еще дальше, ее температура доходит до 1200...1250° С, при этом течение реакций в твердом состоянии усиливается. Завершается образование двухкальциевого силиката. Уже имеющийся однокальциевый алюминат, насыщаясь далее оксидом кальция, образует некоторое количество еще более основного трехкальциевого алюмината $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Однако часть оксида кальция остается в свободном виде. В наиболее горячей части печи при температуре до 1450° С происходит частичное плавление материала и завершение реакции образования силикатов и алюминатов кальция. Материал спекается, образуя отдельные кусочки – цементный клинкер размером 4...20 мм. Для некоторых видов цемента (например, алинитового) удается снизить температуру спекания клинкера до 1100° С.

Клинкер, выходящий из печи, быстро охлаждают в специальном устройстве, называемом холодильником. Это необходимо, чтобы предотвратить образование крупных кристаллов в клинкере и сохранить вместе с тем в незакристаллизованном виде стекловидную фазу. Без охлаждения клинкера получается цемент с пониженной реакционной способностью с водой.

Клинкер размалывают в тонкий порошок в мельницах, при этом для регулирования сроков схватывания цемента добавляют небольшое количество двухводного гипса.

С увеличением тонкости помола активность цемента возрастает. Средний размер зерен портландцемента составляет примерно 40 мкм. Толщина прогидратированного слоя зерен цемента через 6... 12 мес. твердения обычно не превышает 10...15 мкм. Таким образом, при обычном помоле портландцемента 30...40% клинкерной части не участвует в твердении и формировании структуры камня. С увеличением тонкости помола цемента увеличивается степень гидратации цемента, возрастает содержание клеящих веществ – гидратов минералов – и повышается прочность цементного камня. Цементы должны иметь тонкость помола, характеризуемую остатком на сите № 008 не более 15%. Обычно она равна 8...12%.

Тонкость помола цемента характеризуется также величиной удельной поверхности ($\text{см}^2/\text{г}$) – суммарной поверхностью зерен в 1 г цемента. Удельная поверхность цементов составляет 2500...3000 $\text{см}^2/\text{г}$. В ряде случаев с целью повышения активности цемента и для получения быстротвердеющего цемента тонкость помола повышают. Условно считают, что прирост удельной поверхности цемента на каждые 1000 $\text{см}^2/\text{г}$ повышает его активность на 20...25%.

Если менять минералогический состав клинкеров и изготавливать на их основе цементы с различными добавками, то можно получить большую гамму гидравлических вяжущих веществ с разнообразными строительными свойствами. В зависимости от содержания в клинкере основных минералов существенно изменяются свойства получаемого цемента.

Классификация клинкера по преобладающему минералу в его составе приведена в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Классификация клинкеров в зависимости от содержания основных минералов

Клинкер	Примерное содержание, %			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Алитовый	Более 60	Менее 15	–	–
Нормальный (по содержанию алита)	60.. .37,5	15.. .37,5	–	–
Белитовый	Менее 37,5	Более 37,5	–	–
Алюминатный	–	–	Более 15	Менее 10
Нормальный (по содержанию алюмината)	–	–	15.. .7	10.. .18
Целитовый	–	–	Менее 7	Более 18

В тех случаях, когда клинкер одновременно характеризуется повышенным содержанием минерала-силиката и того или иного минерала-плавня, его называют, например, алитоалюминатным, белитоалюминатным и т. п.

Процесс нарастания прочности клинкерных минералов портландцемента различен. Наиболее быстро набирает прочность трехкальциевый силикат: за

7 сут. твердения около 70% от 28-суточной прочности (рис. 1.2), дальнейшее нарастание прочности у C_3S значительно замедляется (табл. 1.2).

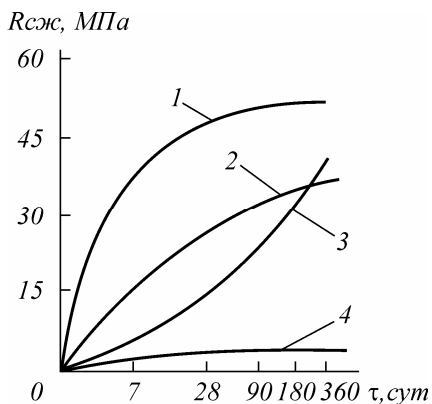


Рис. 1.2. Нарастание прочности минералов клинкера портланд-цемента:
1 – C_3S ; 2 – C_4AF ; 3 – C_2S ; 4 – C_3A

Таблица 1.3

Степень гидратации клинкерных минералов во времени от полной гидратации, %

Клинкерный минерал	Продолжительность гидратации				
	3 сут	7 сут	28 сут	3 мес	6 мес
C_3S	36	46	69	93	94
C_2S	7	11	11	29	30
C_3A	82	82	84	91	93
C_4AF	70	71	74	89	91

В настоящее время выпускают: портландцемент без добавок и с активными минеральными добавками; быстротвердеющий портландцемент; шлаковый портландцемент; пуццолановый портландцемент; портландцемент с пластифицирующими и гидрофобными добавками; сульфатостойкий портландцемент; белый и цветные портландцементы и др.

Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ) – портландцемент с минеральными добавками, отличается от обычного более интенсивным нарастанием прочности в начальный период твердения. Это достигается путем более тонкого помола цемента (до удельной поверхности 3500... 4000 $см^2/г$), а также повышенным содержанием трехвалентного алюмината (60...65%). БТЦ выпускают М 400 и 500 и применяют в производстве железобетонных конструкций, а также при зимних бетонных работах. Ввиду повышенного тепловыделения его не используют в массивных конструкциях.

Пуццолановый портландцемент получают путем совместного помола клинкера, 25...40% от массы цемента активных минеральных добавок и гипсового камня (ГОСТ 4013–82). Клинкер для пуццоланового цемента должен содержать не более 8% трехкальциевого алюмината и не более 5% оксида и марганца. В остальном свойства его не отличаются от свойств портландцемента. Пуццолановый портландцемент выпускают М300 и 400.

Вяжущее низкой водопотребности (ВНВ) – новое эффективное вяжущее на основе портландцементного клинкера, обладающее минимальной водопотребностью среди существующих в настоящее время минеральных вяжущих. Нормальная густота ВНВ составляет 16%, тогда как обычного портландцемента 24...30%.

ВНВ получают по новой технологии путем совместного помола (механо-химической активации) клинкера портландцемента и суперпластификатора С-3.

ВНВ получают трех видов: ВНВ-100 – без минеральной добавки; ВНВ-50 – совместным помолом компонентов следующего состава: 50% портландцемента М400, 50% активной минеральной добавки, С-3; ВНВ-30 – 30% портландцемента М400, 70% активной минеральной добавки, С-3.

В качестве активной минеральной добавки можно использовать гранулированные шлаки, золуунос, диатомиты, туфы, пемзы, трасы, песок.

Прочность ВНВ существенно зависит от количества вводимой минеральной добавки.

Вяжущее	ВНВ-100	ВНВ-50	ВНВ-30
Прочность при сжатии, Мпа	90...100	60	40...50

Удельная поверхность зерен ВНВ 4800...5200 см²/г. Морозостойкость бетонных образцов на основе ВНВ составляет более 500 циклов. Сроки схватывания ВНВ можно широко регулировать от 30 мин до 24 ч при нормальных условиях твердения.

Цветной портландцемент выпускают М300, 400 и 500 светло-желтого, желто-золотистого, оранжевого, светло-розового, розового, красного, светло-коричневого, зеленого, голубого и черного цветов. Цветной портландцемент изготавливают совместным измельчением белого и цветного клинкеров, минеральных и органических красителей, гипса и минеральной добавки. В цветном цементе должно содержаться не более 15% красковой руды, минеральных, природных или синтетических пигментов.

Для расширения палитры цветные цементы подкрашивают органическими красителями. Подкрашенные цементы имеют разнообразную по тону окраску. Пигменты должны иметь тонкость помола не менее 3000 см²/г, а их количество вместе с разбеливающими добавками не должно снижать активности цемента. В табл. 1.4 приведено влияние вида и количества пигмента на цвет окрашиваемого цемента.

Таблица 1.4

Содержание пигментов в цветном цементе

Цветной цемент	Пигменты	Содержание пигмента, % от массы вяжущего	
		белого	серого
Светло-желтый	Охра светлая	5..7	15..20
Желтый	Охра светлая + мумия	6 + 6	10 + 4
Розовый	Мумия	4..6	7..8
Красный	Красный марс	4	7
Темно-красный	Редоксайд	8	10
Светло-коричневый	Жженая кость + мумия	1+2	1+5
Коричневый	Пиrolюзит 4- сурик железный	-	2 + 8
Светло-зеленый	Оксид хрома	2...3	3...4
Зеленый	То же	6..8	5..8
Бирюзовый	Оксид хрома + ультрамарин	4+1	-

Сульфатостойкий портландцемент получают из клинкера нормированного минералогического состава. Содержание в этом цементе трехкальциевого силиката должно быть не более 50%, трехкальциевого алюминия – не более 5% и сумма трехкальциевого алюмината и четырехкальциевого алюмоферрита – не более 22%. Введение инертных и активных минеральных добавок не допускается. Этот цемент, являясь по существу белитовым, обладает несколько замедленным твердением в начальные сроки и низким тепловыделением. Сульфатостойкий портландцемент выпускают М400. Его применяют для получения бетонов, работающих в минерализованных и пресных водах.

Белый портландцемент получают из сырьевых материалов, имеющих минимальное содержание окрашивающих оксидов (железа, марганца, хрома). В качестве сырьевых материалов используют «чистые» известняки или мраморы и белые каолиновые глины. Помол цемента производят более тонкий, остаток на сите с сеткой № 008 должен быть не более 12%. Основным свойством белого цемента, определяющим его качество, является степень белизны. Белый портландцемент выпускают М400 и 500. По степени белизны белый портландцемент различают трех сортов: при коэффициенте яркости по $BaSO_4$ не менее 80% – первый сорт, 75% – второй, 68% – третий.

Транспортировку и хранение белого цемента производят только в закрытой таре. Вследствие особых требований к сырью и технологическому процессу стоимость белого портландцемента выше стоимости обычного цемента. Его используют для декоративных и отделочных работ.

Алинитовый цемент получают на основе алинитового клинкера низкотермального синтеза (обжигом при температуре 1000...1200 °С), содержащего хлорид кальция (хлорид магния) и обеспечивающего в клинкере преимущест-

венное содержание высокоосновного хлорсиликата кальция (алинита), а также ортосиликата, хлоралюмината, хлоралюмоферрита и хлорферрита кальция. Низкотемпературный обжиг клинкера позволяет снизить энергозатраты и себестоимость цемента. Алинитовый портландцемент получают совместным измельчением алинитового кальция и гипса, добавляемого для регулирования процесса твердения. Допускается содержание в цементе минеральных добавок до 10...15% и гранулированных доменных шлаков до 20%.

Алинитовый цемент выпускается М400, 500, 550. Предел прочности при изгибе от 5,5 до 6,2 МПа. Начало схватывания цемента должно наступать не ранее 45 мин, а конец не позднее 10 ч с момента затворения. Алинитовый портландцемент не рекомендуется в железобетонных конструкциях с напрягаемой арматурой, а также эксплуатируемых во влажностных условиях и подвергающихся знакопеременным и динамическим нагрузкам. Алинитовый цемент отличается от портландцемента более интенсивным набором прочности, особенно в ранние сроки. Он эффективно начал применяться в гидротехническом строительстве для облицовки каналов, для монолитного домостроения и цементирования скважин.

Применение каталитической добавки хлорида кальция для синтеза цементного клинкера позволяет снизить температуру обжига на 200...300 °С, уменьшить затраты топлива на 25...30%, увеличить производительность агрегатов на 30...40%, снизить расход цемента для получения бетона того же класса на 15...20%. Промышленное производство алинитового цемента освоено на промышленном объединении «Ахангаранцемент», годовая мощность линии 450 тыс. т.

Шлакопортландцемент – гидравлическое вяжущее вещество, получаемое при совместном помоле портландцементного клинкера, доменного гранулированного шлака и гипса или при тщательном смешении тех же компонентов, раздельно измельченных. В первом случае качество шлакопортландцемента несколько выше, так как при раздельном измельчении и последующем смешивании исходных материалов не удается получить конечный продукт такой же однородности. Содержание доменного гранулированного шлака в шлакопортландцементе должно составлять не менее 21% и не более 60% от всей массы. Допускается не более 10% шлака заменять природными гидравлическими добавками (трепелом, диатомитом и др.)-

Сульфатостойкий шлакопортландцемент получают путем совместного тонкого помола клинкера (21...60%), гранулированного доменного шлака и небольшого количества гипса. В этом цементе ограничивается содержание в клинкере трехкальциевого алюмината до 8% и оксида марганца до 5%, его производят М300 и 400.

Низкощелочной гидротехнический портландцемент (НГЦ) – гидравлическое вяжущее вещество, отличающееся от обычного портландцемента тем, что в сырьевой смеси для получения клинкера часть глины заменена диатомитом.

Клинкер имеет следующее минералогическое содержание: не менее 50% C_3S ; 25...27% C_2S , менее 5% C_3A , 15...18% C_4AF , допустимое содержание щело-

чей в пересчете на 0,6% Na₂O и не более 3,5% MgO. Теплота гидратации через 7 сут не более 251 Дж/г. Количество SO₃ не более 3,5%; тонкость помола (остаток на сите № 008) не более 15%, по остальным показателям отвечает требованиям ГОСТ 10178–76*, расход диатомита на 1 т клинкера 330 кг.

Низкощелочной гидротехнический портландцемент выпускают М400, он предназначен для строительства массивных гидротехнических сооружений.

Напрягающийся цемент – быстросхватывающееся и быстротвердеющее вяжущее вещество, получаемое путем тонкого измельчения смеси, состоящей из 65...75% портландцемента, 13...20% глиноземистого цемента и 6...10% гипса. Содержание SO₃ должно быть не менее 3,5% и не более 7%.

Напрягающий цемент предназначен для получения самоупрагающего железобетона. В процессе расширения он сообщает арматуре независимо от ее расположения и конструкции предварительное напряжение без применения механического или термического натяжения арматуры.

Напрягающие цементы различают с малой энергией самоупражения – не менее 2 МПа (НЦ-20), со средней – 4 МПа (НЦ-40), с высокой энергией самоупражения – 6 МПа (НЦ-60). Начало схватывания напрягающего цемента должно наступать не ранее чем через 30 мин, а конец – не позднее чем через 4 ч после затворения. Прочность при сжатии должна быть для НЦ-20 и НЦ-40 через 1 сут 15 МПа, через 28 сут – 50 МПа. Относительное линейное расширение НЦ-20 через 28 сут должно быть не более 2% и НЦ-40 – не более 2,5%.

Напрягающий цемент успешно применяют для изготовления напорных железобетонных труб, резервуаров для воды, оболочек покрытий, при строительстве спортивных сооружений (трибун, плавательных бассейнов и др.), для строительства дорог и аэродромов. Его применение обеспечивает водо-, бензо- и газонепроницаемость конструкций, повышает их трещиностойкость.

Водонепроницаемый расширяющийся цемент – быстросхватывающееся и быстротвердеющее гидравлическое вяжущее вещество, получаемое помолом или смешиванием в шаровой мельнице тонко измельченных глиноземистого цемента, гипса и высокоактивного алюмината кальция. Высокоосновный алюминат кальция (4CaO·Al₂O₃) получают гидротермической обработкой в течение 5...6 ч при температуре 120...150 °С смеси глиноземистого цемента с известью 1:1, затворенной 30% воды. Полученный продукт высушивают и измельчают. Начало схватывания цемента – не ранее 4 мин, а конец – не позднее 10 мин. Схватывание можно замедлить добавкой СДБ, уксусной кислоты и бургы. Линейное расширение через 1 сут твердения цемента должно быть не менее 0,2% и не более 1%. Применяют водонепроницаемый расширяющийся цемент при восстановлении разрушенных бетонных и железобетонных конструкций, для гидроизоляции туннелей, стволов шахт, в подземном и подводном строительстве, при создании водонепроницаемых швов.

Глиноземистый цемент – быстротвердеющее гидравлическое вяжущее вещество, получаемое при тонком измельчении обожженной до плавления сырьевой смеси бокситов и извести с преобладанием в готовом продукте низ-

коосновных алюминатов кальция. Глиноземистые цементы выпускают без добавок или с добавками до 2% различных веществ, которые улучшают некоторые свойства цемента и снижают его стоимость. Глиноземистый цемент, согласно требованиям ГОСТ 969–77, производят трех марок: 400, 500 и 600.

Глиноземистый цемент является быстротвердеющим, но не быстрохватывающимся вяжущим веществом. Начало схватывания его должно наступать не ранее 30 мин, а конец – не позднее 12 ч. Наиболее благоприятными для твердения глиноземистого цемента являются влажные условия и нормальная температура ($20 \pm 5^\circ \text{C}$). При температуре свыше 25°C нарастание прочности уменьшается, возможно даже падение достигнутой прочности и разрушение бетона в результате перекристаллизации двухкальциевого гидроалюмината в трехкальциевый. Поэтому пропаривание изделий на глиноземистом цементе не допускается. В связи с большим тепловыделением при твердении применение глиноземистого цемента в массивных конструкциях ограничивается, так как разогрев бетона внутри массива и охлаждение его снаружи вызывает растягивающие напряжения в наружных слоях и образование трещин.

Бетоны на глиноземистом цементе отличаются стойкостью в условиях пресных и сульфатных вод, однако разрушаются в щелочных. Высокая воздухо-стойкость глиноземистого цемента объясняется уплотнением и кристаллизацией продуктов гидратации цемента и их незначительной деформативной способностью при изменении влажности воздуха. Бетоны на глиноземистом цементе обладают значительной плотностью, что и определяет их высокую морозостойкость.

Применение глиноземистого цемента существенно ограничивается его стоимостью (он в 3...4 раза дороже портландцемента), хотя по своим физико-химическим свойствам (скорости твердения, стойкости в различных средах) он превосходит все другие вяжущие вещества. Поэтому рациональное использование его в особых условиях, например при срочных восстановительных работах (ремонт плотин, дорог, мостов). Химическая стойкость данного цемента делает целесообразным его использование для тампонирования нефтяных и газовых скважин, на предприятиях пищевой промышленности, на травильных и красильных предприятиях, для футеровки шахтных колодцев и туннелей.

Глиноземистый цемент по сравнению с другими вяжущими обладает стойкостью против действия высоких температур ($1200 \dots 1400^\circ \text{C}$ и выше). Это свойство учитывается при изготовлении жаростойких бетонов, применяемых в качестве футеровки тепловых аппаратов.

Гипсоглиноземистый расширяющийся цемент – быстротвердеющее вяжущее, получаемое в результате совместного тонкого помола высокоглиноземистого доменного шлака и природного двуводного гипса в соотношении 0,7:0,3 (по массе). При этом содержание SO_3 не должно превышать 17%. Такой состав создает условия для кристаллизации этtringита в виде коротких и широких игл.

Гипсоглиноземистый расширяющийся цемент должен удовлетворять следующим основным требованиям (ГОСТ 11052–74): начало схватывания – не ранее чем через 10 мин, конец схватывания – не позднее чем через 4 ч после затворения. При просеивании через сито № 008 должно проходить не менее 90% от массы пробы. Предел прочности при сжатии через 3 сут. образцов из раствора 1:3 должен быть не менее 30 МПа.

Этот цемент применяют для получения безусадочных и расширяющихся водонепроницаемых бетонов и гидроизоляционных штукатурок, для заделки стыков сборных бетонных и железобетонных конструкций, зачеканки швов и раструбов водопроводных линий при рабочем давлении до 1,1 МПа.

Белитошламовый цемент (БШЦ) является быстротвердеющим вяжущим, не содержащим алита (трехкальциевого силиката $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), наиболее подверженного коррозии в цементном камне. Основными компонентами БШЦ является белит (двухкальциевый силикат $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), который наиболее стоек к действию агрессивной среды. Это вяжущее получают путем совместного помола обожженного при $650\text{...}700^\circ\text{C}$ белого шлама – отхода металлургического производства – и $12\text{...}15\%$ гипса. Недостатком БШЦ, сдерживающим более широкое применение, является неоднородность его состава и свойств.

Шлакощелочные вяжущие получают на основе смешанного щелочно-щелочноземельного алюмосиликатного состава. Для таких вяжущих по сравнению с портландцементом характерны: более низкие (в $2\text{...}3$ раза) экзотермия и контракция; более высокая активность, быстрый набор прочности, стойкость в ряде агрессивных сред; более низкая температура начала морозной деструкции (-50°C); более высокие пределы прочности на растяжение; способность твердеть при отрицательных ($-5\text{...}-15^\circ\text{C}$) температурах.

Шлакощелочные вяжущие в зависимости от щелочного компонента и шлака изготовляют следующих типов: высокопрочные, быстротвердеющие, жаростойкие, безусадочные, сульфатостойкие, тампонажное. Составы шлакощелочных вяжущих приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

**Расход компонентов (на 1 т шлакощелочного вяжущего)
в зависимости от щелочного компонента и марки вяжущего**

Основные компоненты вяжущего	Шлакощелочное вяжущее марок					
	M500	M800			M1000	
	Виды щелочного компонента					
	содоше- лочной плав	сода каль- циниро- ванная	диси- ли- кат натрия	диси- ли- кат натрия	метасили- кат натрия	метаси- ликат натрия
Щелочной компонент	0,07	0,08	0,08	0,11	0,08	0,11
Гранулиро- ванный шлак	0,93	0,92	0,92	0,89	0,92	0,89

Основными продуктами гидратации шлакощелочных вяжущих являются низкоосновные гидросиликаты кальция тоберморитовой группы, кремниевая кислота, щелочные и щелочнощелочноземельные гидроалюмосиликаты (аналоги природных порообразующих минералов – цеолитов и слюд), кальцит и т.п. В них отсутствуют свободная известь, высокоосновные гидросиликаты, гидроалюминаты, гидроферриты кальция. Низкая основность продуктов гидратации шлакощелочных вяжущих и отсутствие в их составе высокоосновных гидратов определяют высокие физико-механические свойства бетонов. Шлакощелочные бетоны относятся к классам В10...В110 и превосходят бетоны на портландцементе по плотности, однородности, долговечности, прочности на сжатие и растяжение, а также по предельной сжимаемости и растяжимости. Такие бетоны характеризуются высокой морозостойкостью (F300...F1000), водонепроницаемостью (W8...W3 0) и атмосферостойкостью.

Эксплуатационные преимущества бетонов на основе шлакощелочных вяжущих обусловлены возможностью их применения с высокой степенью надежности в особо ответственных конструкциях, а также в конструкциях специального назначения без использования дефицитных специальных цементов.

1.2. Экономика производства цемента

Россия занимает одно из ведущих мест в мире (9 место) по производству цемента. Увеличение выпуска этого важнейшего строительного материала за последнее десятилетие.

Улучшилось качество и расширился ассортимент цемента. В общем объеме выпуска снизилась доля низкомарочных цементов. Значительно увеличилось производство быстротвердеющего, а также специальных видов цемента (сульфатостойкого, тампонажного и др.).

Производство цемента связано с большой топливо- и энергоемкостью оборудования и сравнительно высоким уровнем отчислений на его амортизацию. Одна из наиболее значительных статей затрат на производство цемента, которую необходимо систематически снижать, – топливо и ремонт оборудования. На некоторых заводах эти затраты приближаются к расходам на сырье на 1 т продукции. На производство клинкера по сухому способу топлива идет примерно на 20% меньше, чем при мокром.

Снижение расхода топлива на производство 1 т клинкера достигается благодаря внедрению новых высокопроизводительных печей, экономичных в теплотехническом отношении. Так, в печах длиной более 150 м расход топлива на 1 т цемента в 1,5 раза ниже, чем в малопроизводительных. Кроме того, на сокращении расхода топлива сказались следующие технические мероприятия: внедрение рациональных теплообменных устройств и высокостойких огнеупоров; применение разжижителей шлама для снижения его влажности, что обеспечивает снижение расхода топлива на 2,5...3%; интенсификация обжига и внедрение его автоматического регулирования; перевод предприятий на газообразное топливо.

Дальнейшее улучшение показателей экономической эффективности в цементной промышленности обеспечивается применением наиболее эффективных технологических способов и совершенного оборудования, широким внедрением катализаторов и интенсификаторов процессов обжига клинкера, помола цемента и усовершенствованиями процессов пылеулавливания.

1.3. Хранение и транспортирование цемента

Приемку всех видов цемента осуществляют по ГОСТ 22236–85 с учетом требования СНиП 1-В.2–69. Изготовленный цемент должен быть принят отделом технического контроля (ОТК) предприятия-изготовителя и отгружен партиями, размер которых устанавливают в зависимости от годовой мощности предприятия. Для портландцемента и шлакопортландцемента (ГОСТ 10178–85), сульфатостойких цементов и их разновидностей (ГОСТ 22266–76)*, глиноземистого цемента (ГОСТ 969–77) партия составляет:

При мощности завода до 200 тыс. т/год	300 т
То же до 1 млн т/год	1000 т
» до 2 млн т/год	2000 т
» свыше 2 млн т/год	4000 т

Для пуццолановых портландцементов, предназначенных для производства асбестоцементных изделий (ГОСТ 9835–77), и напрягающего цемента размер партии составляет 1000 т, ГГРЦ – 300 т и для ПЦ цветного – 200 т.

По требованию потребителя поставщик обязан сообщить ему результаты физико-механических или химических испытаний цемента в 10-дневный срок после их окончания. При контрольной проверке качества цемент должен соответствовать всем требованиям, указанным в стандарте или ТУ для данного вида и марки. При несоответствии прочности цемента на изгиб или сжатие марку, указанную в паспорте, не изменяют в соответствии с фактической прочностью.

Проверка качества цемента (без права предъявления рекламации) может производиться лабораторией потребителя по ГОСТ 310.1–76*...310.4 – 81* или испытанием бетона с целью определения качества цемента и возможности более рационального его использования в бетоне.

Упаковку, маркировку, транспортирование и хранение всех видов цемента осуществляют по ГОСТ 22237–85. Цемент отгружают навалом или в пяти-, шестислойных бумажных мешках. Отклонение средней массы мешков с цементом нетто от указанной на упаковке не должно превышать ± 1 кг.

Одновременно с отгрузочными реквизитами каждому потребителю направляют паспорт, в котором указывают название завода-изготовителя или его товарный знак, дату отгрузки, номер паспорта, партии, наряда и вагонов, полное наименование цемента и его гарантированную марку, вид и количество добавки, нормальную плотность цементного теста, стандарт или ТУ, по которым поставляют продукцию, среднюю активность при пропаривании. Кроме того, в каждую транспортную единицу вкладывают ярлык с названием завода-

СОДЕРЖАНИЕ

ЧАСТЬ I. РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ	3
ГЛАВА 1. Цемент и резервы его экономии в строительстве	3
1.1. Цемент	3
1.2. Экономика производства цемента	15
1.3. Хранение и транспортирование цемента	16
1.4. Потери и резервы экономии цемента	19
1.5. Химические добавки, улучшающие физико-механические и технологические показатели бетонов и растворов. Экономия цемента в строительном производстве.....	29
1.6. Резервы экономии цемента в строительном производстве.....	34
ГЛАВА 2. Эффективные виды бетонов	36
2.1. Золошлаковые бетоны.....	36
2.2. Шлакощелочные бетоны	40
2.3. Жаростойкие бетоны на основе вяжущих из природных и техногенных стекол	43
2.4. Бесцементный бетон на основе стеклобоя	47
2.5. Высокопрочный бетон	50
2.6. Бетон для гидротехнических сооружений	51
2.7. Бетон для дорожных и аэродромных покрытий	53
2.8. Мелкозернистый бетон	55
2.9. Фибробетон и стеклоцемент.....	57
2.10. Полимерцементные бетоны.....	63
2.11. Полимербетоны	65
ГЛАВА 3. Легкие заполнители и бетоны на их основе	71
3.1. Общие сведения.....	71
3.2. Азерит и бетоны на его основе.....	71
3.3. Новые искусственные пористые заполнители с развитой аморфной фазой.....	74
3.4. Керамзит из слабовспучивающихся глин и бетоны на его основе	75
3.5. Пути экономии топлива в керамзитовой промышленности	79
3.6. Шунгизит и шунгизитобетон	81
3.7. Природные пористые заполнители	83
ГЛАВА 4. Вторичное использование бетонов	86
4.1. Способы переработки вторичных бетонов	86
ГЛАВА 5. Гипс, гипсоцементно-пуццолановое вяжущее, гаж и изделия на их основе	93
5.1. Технология и свойства гипса. Гипсоцементно-пуццолановое вяжущее и гаж.....	93
5.2. Строительные изделия из гипса и гипсоцементно-пуццоланового вяжущего.....	103
ГЛАВА 6. Известь и изделия на ее основе автоклавного твердения	111
6.1. Известковые вяжущие.....	111
6.2. Изделия на основе извести автоклавного твердения.....	114
6.3. Ячеистые силикатные материалы	117

ГЛАВА 7. Керамические материалы и изделия на их основе	125
7.1. Классификация и сырье	125
7.2. Керамические камни и кирпич	126
7.3. Лицевой керамический кирпич	131
7.4. Поризованные керамические изделия на основе легкоплавких глин	133
7.5. Плитки керамические	135
7.6. Керамические пористые изделия	140
7.7. Керамические трубы	141
7.9. Керамические теплоизоляционные и огнеупорные материалы	142
ГЛАВА 8. Строительные изделия из стекла.....	149
8.1. Светопропускающие изделия из стекла	149
8.2. Облицовочные изделия из стекла	157
8.3. Стеклокремнезит	162
8.4. Шлакоситалл	163
8.5. Плитки облицовочные из базальтового стекла.....	165
8.6. Экономия стекла и стеклоизделий в строительстве.....	165
ГЛАВА 9. Металл в строительстве и проблемы его экономии.....	167
9.1. Общие сведения.....	167
9.2. Стальная арматура.....	168
9.3. Закладные детали	172
9.4. Антикоррозионная защита закладных деталей и арматуры	173
9.5. Металлические формы.....	177
9.6. Применение металлического проката для ограждающих конструкций.....	181
9.7. Применение алюминия в строительстве	188
9.8. Строительные конструкции из алюминиевых сплавов.....	192
9.9. Сендвич-панели для быстровозводимых зданий в качестве ограждающих конструкций	197
9.10. Экономия металла при производстве строительных конструкций	204
Глава 10. Отделочные и защитные материалы повышающие долговечность строительных конструкций.....	208
10.1. Малярные и лакокрасочные материалы	208
10.2. Отделочные материалы для стен и полов	239
10.3. Химически стойкие материалы для защиты строительных конструкций от коррозии	257
ГЛАВА 11. Деревянные конструкции и изделия.....	280
11.1. Пиломатериалы и фанерные изделия	280
11.2. Плитные изделия на основе древесно-полимерной композиции	285
11.3. Изделия на основе древесно-цементной композиции.....	292
11.4. Деревянные клееные конструкции	328
11.5. Экономия материалов при производстве клееных деревянных конструкций.....	342
ГЛАВА 12. Теплоизоляционные и акустические материалы	346
12.1. Минераловатные изделия	346
12.2. Теплоизоляционные и акустические изделия из стекла	352
12.3. Материалы на основе вспученного жидкого стекла	356
12.4. Вспученный перлит и изделия на его основе.....	359

ГЛАВА 13. Хранение и транспортирование строительных материалов, изделий и конструкций.....	371
13.1 Склады временного хранения и определение запасов материалов.....	371
13.2. Классификация складов.....	372
13.3. Расчет складов.....	373
13.4. Устройство приобъектных складов.....	374
13.5. Хранение и транспортирование деревянных материалов, изделий и конструкций.....	375
13.6. Транспортирование деревянных конструкций и изделий.....	376
13.7. Специфика монтажа деревянных конструкций и изделий.....	379
ЧАСТЬ II. РАСХОД СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	385
ГЛАВА 14. Расход строительных материалов	385
14.1. Расчет потребности и нормы расхода древесины, деревянных изделий и конструкций.....	385
14.2. Расчет потребности и нормы расхода керамических и бетонных блоков, бетона для устройства стен, перегородок и фундаментов.....	397
14.3. Расход материалов при выполнении штукатурных работ.....	426
14.4. Расход материалов при выполнении кровельных, гидроизоляционных и теплоизоляционных работ.....	437
14.5. Расход материалов при устройстве полов.....	448
14.6. Расход лакокрасочных материалов и обоев.....	457
14.7. Расход материалов при остеклении столярных изделий.....	469
ЧАСТЬ III. ПРИЛОЖЕНИЕ. СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ	478

Исаак Хискович Наназашвили
Вадим Исаакович Наназашвили

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Справочное пособие

Редактор **В.П. Бурмакин**
Компьютерная верстка **В.П. Бурмакин**
Дизайн обложки **Н.С. Романова**

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.

Формат 70×100/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Подписано в печать 20.03.2012. Усл. п. л. 30,5. Тираж 500 экз. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511.
Тел., факс: (499) 183-56-83. E-mail: iasv@mgsu.ru. Сайт: www.iasv.ru