**Введение**

Цементами называют искусственные, порошкообразные вяжущие материалы, которые при взаимодействии с водой, с водными растворами солей или другими жидкостями образовывают пластичную массу, которая со временем затвердевает и превращается в прочное камневидное тело – цементный камень.

Первым природным вяжущим была глина. Глина и жирная земля после смешивания с водой и высыхания приобретали некоторую прочность. Однако в виду низких потребительских качеств данных материалов (с использованием глины возводились постройки, не требующие значительной прочности) – люди занимались поиском более совершенных вяжущих.

Известь является древнейшим искусственным минеральным вяжущим веществом после гипса, есть сведения, что египтяне использовали смешанные известково-гипсовые растворы при строительстве пирамид. Однако гипс долгое время не терял своих позиций – вследствии меньшей энергоёмкости при производстве, в том же Египте топливо было чрезвычайно дефицитным.

Впервые широко известь стала применяться в Греции для облицовочных работ и в гидротехнических сооружениях

Римляне развили строительное искусство, оставив после себя знаменитые памятники древнего мира. Римляне так же составили первые рекомендации по изготовлению и применению известковых растворов.

В Англии в 1796 году Джеймсом Паркером было получено гидравлическое вяжущее вещество – романцемент – измельченный продукт обжига природных мергелей. Примерно до середины XIX века романцемент был основным вяжущим веществом, применяемым в гидротехническом строительстве.

В Росси изобретателеп цемента считается военный инженер Егор Челиев. В 1822 г. в Петербурге вышла книга Е.Г. Челиева «Трактат об искусстве приготовлять хорошие строительные растворы», а в 1825 году книга «Полное наставление, как приготовлять дешевый и лучший мергель или цемент, весьма прочный для подводных строений».

В 1824 году Джозеф Aспдин, британский каменщик, получил патент на «Усовершенствованный способ производства искусственного камня», который он создал на собственной кухне. Aспдин назвал полученный продукт – портландцементом, потому что при производстве он использовал камни с карьера, который находился на острове Портланд.

Среди строительных материалов цементу принадлежит ведущее место. В современной строительной практике цемент применяют для изготовления монолитного и сборного бетона, железобетона, асбестоцементных изделий, строительных растворов, многих других искусственных материалов, скрепления отдельных элементов (деталей) сооружений, и др. Цемент и получаемые на его основе прогрессивные строительные материалы успешно заменяют в строительстве дефицитную древесину, кирпич, известь и другие традиционные материалы. Наша страна занимает ведущее место в мире по производству цемента, строительной извести, сборного железобетона, листовых асбестоцементных изделий и труб, оконного стекла.

Для получения портландцемента с заданными специальными свойствами используют следующие основные меры:

1) регулирование минерального состава и структуры цементного клинкера, оказывающего решающее влияние на все строительно-технические свойства цемента;

1. введение минеральных и органических добавок позволяющих направленно изменять свойства вяжущего, экономить клинкер, уменьшать расход цемента в бетоне;
2. оптимизацию тонкости помола и зернового состава цемента, влияющих на скорость твердения, активность, тепловыделение и другие свойства цемента.

**1. Расчет состава сырьевой шихты и клинкера**

Химический состав исходного материала, %

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Компонент | Естеств. влажность | SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | CaO | MgO | SO3 | Ппп | Сумма |
| Известняк | 13,4 | 7,57 | 1,94 | 1,14 | 47,41 | 1,68 | 0,58 | 39,03 | 99,35 |
| Глина | 20,1 | 49,74 | 15,08 | 4,55 | 10,14 | 3,89 | 0,28 | 12,78 | 96,46 |

k1 =100/99,35=1,0065;

k2 =100/96,46=1,0367

nизв= SiO2/ (Al2O3+ Fe2O3)= 7,57/ (1,94+1,14)= 2,46

nглина= SiO2/ (Al2O3+ Fe2O3) =49,74/ (15,08+4,55)= 2,53

ризв= Al2O3/ Fe2O3 =1,94/1,14= 1,7

рглина= Al2O3/ Fe2O3= 15,08/4,55= 3,31

Перерасчет сырьевой смеси на 100%

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Компонент | SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | CaO | MgO | SO3 | Ппп | Сумма |
| Известняк | 7,62 | 1,95 | 1,15 | 47,72 | 1,69 | 0,58 | 39,28 | 100,00 |
| Глина | 51,56 | 15,63 | 4,72 | 10,51 | 4,03 | 0,29 | 13,25 | 100,00 |

Определяем соотношение между двумя сырьевыми компонентами, задаваясь величиной КН:

2,8\*S2\*KH+1,65\*A2+0,35\*F2-C2 2,8\*51,56 \*0,86+1,65\*15,63+0,35\*4,72–10,51

C1-2,8\*S1\*KH – 1,65\*A1-0,35\*F1 47,72–2,8\*7,62\*0,86–1,65\*1,95–0,35\*1,15

6,48 – 100% Известняк: 5,48\*100%

=84,56%

5,48-х% 6,48

Глина: 100% – 84,56% = 15,44%

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Известняк | Глина |
| В долях | 1 | 5,48 |
| В процентах | 84,56 | 15,44 |

Химический состав сырьевой смеси и клинкера

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Компонент | SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | CaO | MgO | SO3 | Ппп | Сумма |
| Известняк,  84,56 вес. ч. | 6,44 | 1,65 | 0,97 | 40,35 | 1,43 | 0,49 | 33,23 | 84,56 |
| Глина,  15,44 вес. ч. | 7,96 | 2,41 | 0,73 | 1,62 | 0,63 | 0,04 | 2,05 | 15,44 |
| Состав сырьевой смеси, % | 14,4 | 4,06 | 1,7 | 41,97 | 2,06 | 0,53 | 35,27 | 100,00 |
| Состав клинкера, % | 22,25 | 6,27 | 2,63 | 64,84 | 3,18 | 0,82 | - | 100,00 |

Z= 100/ (100 – п.п.п)= 100/ (100–35,27)= 1,54487

Коэффициент насыщения

CaO – 1,65\*Al2O3-0,35\*Fe2O3 64,84–1,65\*6,27–0,35\*2,63

=0,86

KH=

=

2,8\*SiO2 2,8\*22,25

Силикатный модуль

SiO2 22,25

= 2,50

=

n =

Al2O3+ Fe2O3 6,27+2,63

Глиноземный модуль

Al2O3 6,27

= 2,38

=

p =

Fe2O3 2,63

**2. Виды портландцемента**

**Портландцемент**

Портландцемент и его разновидности являются основными вяжущими веществами в строительстве. Портландцементом называют гидравлическое вяжущее вещество, получаемое тонким помолом портландцемнтного клинкера с гипсом, а также со специальными добавками.

Порталандцементный клинкер – продукт обжига до спекания тонкодисперсной однородной сырьевой смеси, состоящей из известняка и глины или некоторых материалов (мергеля, доменного шлака и прочие). При обжиге обеспечивается преимущественное содержание в клинкере высокоосновных силикатов кальция. Для регулирования сроков схватывания портландцемента в клинкер при помоле добавляют двуводный гипс в количестве 1,5–3,5% (по массе цемента в пересчете на SO3).

По составу различают: портландцемент без добавок; портландцемент с минеральными добавками; шлакопортландцемент и другие.

**Белый портландцемент**

Обыкновенный портландцемент имеет зеленовато-серый цвет из-за относительно высокого содержания в нем окрашивающих окислов: окиси железа и окиси марганца. Клинкер же, не содержащий этих окислов или содержащий их в незначительном количестве имеет белый цвет. Это достигается применением соответствующего сырья – белых частиц глин, каолинов и известняков с минимальным содержанием указанных окислов.

Белый портландцемент в отличие от обыкновенного имеет повышенный силикатный модуль (3,0–3,8) и высокий глиноземистый модуль (10 и более), а коэффициент насыщения низкий – 0,80–0,87. Обжиг клинкера белого портландцемента производится при более высокой температуре 1600–1650 0С, в связи с чем производительность печей снижается, а стоимость цемента увеличивается. Белый портландцемент делится на марки 300,400 и 500, а по степени белизны подразделяется на три сорта: высший, БЦ-1 и БЦ-2. Остальные свойства как у обычного портландцемента.

**Цветной портландцемент**

Цветной портландцемент изготовляют совместным тонким измельчением белого маложелезистого или цветного клинкера, активной минеральной добавки (белого диатомита), красящей добавки (пигмента) и гипса. Цветные клинкеры получают, вводя в сырьевые смеси минеральные красители: мумию или сурик (красный пигмент), умбру (коричневый), охру (желтый), окись хрома (зеленый), сажу (черный), ультрамарин (синий). Красящие пигменты для цветных цементов должны обладать большой красящей способностью, высокой стойкостью к щелочам (в частности, к Са(ОН)2, образующемуся при твердении цемента), солнечному свету и атмосферным воздействиям, не должны содержать вредных примесей и растворимых солей.

**Сульфатостойкие портландцементы**

Такие портландцементы изготовляют на основе клинкера нормированного минерального состава и применяют для изготовления бетонных и железобетонных конструкций, обладающих коррозионной стойкостью при воздействии сред, агрессивных по содержанию в них сульфатов.

Одним из основных путей получения сульфатостойкого цемента является уменьшение содержания в клинкере трехкальциевого алюмината не < 5%. По вещественному составу эти цементы подразделяют на следующие виды: сульфатостойкий портландцемент марки 400, сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками марок 400 и 500, сульфатостойкий шлакопортландцемент марок 300 и 400

Сульфатостойкий портландцемент предназначается для изготовления бетонов, подвергающихся действию сульфатной коррозии и для бетонов повышенной морозостойкости.

**Пуццолановый портландцемент**

Пуццолановый цемент собирательное название группы цементов в состав которых входит не менее 20% активных минеральных добавок.

В современном строительстве основной вид пуццоланового цемента – пуццолановый портландцемент получаемый совместным помолом портландцементного клинкера (60–80%) активной минеральной добавки (20–40%) и небольшого количества гипса. От обычного портландцемента он отличается повышенной коррозионной стойкостью (особенно в мягких и сульфатных водах) меньшей скоростью твердения и пониженной морозостойкостью. Пуццолановый цемент применяют в основном для получения бетонов используемых в подводных и подземных сооружениях.

**Пластифицированный портландцемент**

Пластифицированный портландцемент изготовляют путем введения при помоле клинкера около 0,15–0,25% сульфитно-дрожжевой бражки (в расчете на сухое вещество). Оптимальное содержание добавки для данного цемента устанавливается опытным путем и зависит от минералогического состава клинкера, тонкости помола цемента и содержания в нем гидравлических добавок. Он отличается от обычного портландцемента способностью придавать растворным и бетонным смесям повышенную подвижность.

Пластифицирующий эффект используется для уменьшения водоцементного отношения и повышения плотности, морозостойкости и водонепроницаемости бетона. Если же сохранить В/Ц, то можно снизить расход цемента (примерно на 10–15%) без ухудшения качества бетона.

Пластифицированные портландцементы рекомендуются для бетонных и железобетонных конструкций и сооружений, подвергающихся систематическому замерзанию и оттаиванию или увлажнению в пресной воде и высыханию.

**Гидрофобный портландцемент**

Гидрофобный портландцемент изготовляют, вводя в мельницу при помоле клинкера 0,1–0,2% мылонафта, асидола, синтетических жирных кислот, их кубовых остатков и других гидрофобизующих добавок. Эти вещества, адсорбируясь на частицах цемента, понижают его гигроскопичность, поэтому гидрофобный цемент при хранении даже в очень влажных условиях не портится, т.е. не комкуется и сохраняет свою активность. В связи с этим гидрофобные портландцементы рекомендуется поставлять в районы с высокой влажностью воздуха, а также в тех случаях, когда неизбежно длительное хранение цемента.

При изготовлении бетонных смесей, когда происходит смешивание гидрофобного цемента с заполнителями и водой, целостность адсорбционных пленок на частицах цемента нарушается, и он нормально реагирует с водой. Гидрофобизующие вещества, введенные при помоле клинкера, действуют и как пластификаторы, т.е. пластифицируют бетонные смеси. Такие вещества сохраняются в отвердевших материалах, существенно повышая их водо- и морозостойкость и увеличивая сопротивляемость агрессивным воздействиям среды.

**Тампонажный портландцемент**

Тампонажный портландцемент изготовляют измельчением клинкера, гипса и добавок. Он предназначен для цементирования нефтяных и газовых скважин. Цемент для холодных скважин испытывают при температуре 22±2 °С, для горячих скважин – при 75±3 °С. Предусматривается выпуск специальных разновидностей тампонажного портландцемента: утяжеленного, песчанистого, солестойкого низкогигроскопичного.

**Быстротвердеющий портландцемент**

Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ) отличается от обычного более быстрым нарастанием прочности: через 3 суток твердения его прочность на сжатие не менее 25 – 28 МПа, т.е. более половины его марочной 28-суточной прочности (40 и 50 МПа). БТЦ получают совместным тонким измельчением специального портландцементного клинкера и гипса. При помоле допускается введение не более 10% активных минеральных добавок осадочного происхождения и не более 15% доменных и электротермофосфорных гранулированных шлаков, глиежей.

В настоящее время БТЦ – основной вид вяжущего для изготовления сборного железобетона. Применение БТЦ в заводском производстве железобетонных конструкций позволяет снизить расход цемента в бетоне на 10 – 15%, ускорить тепловую обработку при меньших энергозатратах, увеличить оборот металлических форм и тем самым сэкономить металл.

Разновидностью быстротвердеющего портландцемента является особо быстротвердеющий портландцемент (ОБТЦ). Получают ОБТЦ так же, как и БТЦ Особо быстротвердеющий портландцемент марки 600 должен в односуточном возрасте иметь предел прочности при сжатии 20–25 МПа, а в трехсуточном – 30–35 МПа.

**Шлакопортландцемент** – гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путем тонкого измельчения портландцементного клинкера совместно с гранулированным доменным и электротермофосфорным шлаком, а также с двуводным гипсом. Для получения быстротвердеющего шлакопортландцемента порошок портландцемента иногда размалывают с гранулированным шлаком. Шлака в шлакопортландцементе должно быть не менее 21% и не более 80% по массе (ГОСТ 10178 -85). Гипс вводят в шлакопортландцемент для регулирования сроков схватывания, а также в качестве активизатора твердения шлака.

По своим физико–механическим свойствам шлакопортландцемент близок к обычному портландцементу, но выгодно отличается от него более низкой стоимостью. При прочих равных условиях стоимость его на 10 – 15% ниже стоимости портландцемента.

Схематически твердение шлакопортландцемента можно себе представить как результат ряда процессов, протекающих одновременно, а именно:

гидролиза и гидратации клинкерных минералов;

взаимодействие гидрата окиси кальция с глиноземом и кремнеземом, находящимися в шлаковом стекле, с образованием гидросиликатов, гидроалюминатов, а также гидросиликоалюминатов кальция;

взаимодействие трехкальциевого гидроалюмината кальция клинкера с сульфатом кальция с образованием гидросульфоалюмината кальция.

Шлакопортландцемент твердеет несколько медленнее, чем портландцемент, в особенности при пониженных положительных температурах. Это объясняется значительным содержанием шлака. Однако при тончайшем помоле, в особенности двухступенчатом, и содержании шлака около 30–35% скорость твердения шлакопортландцемента такая же.

B зависимости от прочности на сжатие шлакопортландцемент выпускают четырех марок: 300, 400, 500 и 600.

Вследствие меньшего содержания гидрата окиси кальция продукты гидрации шлакопортландцемента более устойчивы, что обусловливает повышенные солестойкость и водостойкость.

По морозостойкости шлакопортландцемент уступает портландцементу в различной степени в зависимости от содержания в нем шлака и химико-минералогического состава исходного клинкера.

Шлакопортландцемент характеризуется пониженным или умеренным тепловыделением при твердении, а также меньшими объемными деформациями в растворе и бетоне – усадкой (на воздухе) и набуханием (в воде).

Строительно-технические свойства шлакопортландцемента обусловливают и области его практического применения – те же, что и портландцемента аналогичных марок. Его целесообразно использовать для производства монолитных и сборных железобетонных конструкций и деталей, в особенности с применением тепловлажностной обработки, а также для изготовления строительных растворов. Шлакопортландцемент предназначен в основном для бетонных и железобетонных наземных, а также подземных и подводных конструкций, подвергающихся воздействию пресных, а также минерализированных вод с учетом норм агрессивности воды – среды.

Вследствие пониженного тепловыделения при твердении и малой усадки шлакопортландцемента его можно весьма эффективно применять для внутримассивного бетона гидротехнических сооружений. В силу пониженной морозостойкости шлакопортландцемента его нельзя применять для бетонных и железобетонных конструкций, подвергающихся систематическому попеременному замораживанию и оттаиванию или увлажнению и высыханию.

Для бетона дорожных и аэродромных покрытий, железобетонных напорных и безнапорных труб, железобетонных шпал, мостовых конструкций, стоек опор высоковольтных линий электропередач, контактной сети железнодорожного транспорта и освещения следует поставлять цемент, изготовляемый на основе клинкера **нормированного состава** с содержанием трехкальциевого алюмината (С3А) в количестве не более 8% по массе.

Начало схватывания портландцемента для бетона дорожных и аэродромных покрытий должно наступать не ранее 2 ч, портландцемента для труб – не ранее 2 ч 15 мин от начала затворения цемента. Удельная поверхность должна быть не менее 280 м2/кг.

**3. Характеристика сырьевых материалов**

Известняк

Для производства портландцемента можно применять различные виды карбонатных пород: известняк, мел, известковый туф, известняк–ракушечник, мергелистый известняк, мергель и т.п. Углекислый кальций в известняках представлен минералом кальцитом. Кальцит имеет твердость 3. Известняки – осадочные породы. По происхождению различают известняки органогенные – продукты деятельности микроорганизмов, химические – полученные осаждением из растворов и обломочные – продукты переотложения разрушенных известковых пород. Известняки содержат примесные минералы – алюмосиликатные минералы глин, примеси кварца, халцедона, опала, окиси железа, пирита (FeS2), гипса, фосфорита (апатита), барита (BaSO4). Известняки обычно загрязнены карбонатом магния, который образует с карбонатом кальция двойную соль – доломит. Примеси в известняках находятся в виде самостоятельных соединений, и известняк представляет собою механическую смесь минералов (кроме MgCO3). При содержании глинистых минералов до 30% известняк называют глинистым, при содержании более 30% – мергелем.

По физическим свойствам различают кристаллический известняк (мрамор), плотные известняки, землисто-рыхлые известняки или мелы. Кроме того, встречаются известковый туф, известняк-ракушечник. Мрамор – плотная порода (продукт перекристаллизации известняков) с объемной массой 2650–2900 кг/м3 и прочностью 50 – 200 МПа. Плотные известняки имеют объемную массу 2200–2600 кг/м3 и прочность 8–200 МПа. Мел сложен из частиц скрытокристаллической структуры с размером частиц менее 0,1 мим.

Глинистые породы

Из глинистых пород используют обычно глину, суглинок, глинистый сланец, мергелистую глину, лесс, лессовидный суглинок. Основой глины являются водные алюмосиликатные минералы в виде тонких частиц (< 2 мкм), причем встречаются мономинеральные и полиминеральные глины. Глинистое вещество – это в основном гидроалюмосиликаты m Al2O3 \* n SiO2 \* p H2O, где значения коэффициентов при окислах для отдельных глинистых минералов различны. В кристаллическую решетку гидроалюмосиликатов могут также входить K, Na, Mg, Ca, Fe.

К глинистым минералам относится каолинит – слоистый минерал состава Al2O3·2SiO2·2H2O, в глинах он присутствует в виде частиц размером 0,3–0,4 мкм; монтмориллонит – слоистый минерал состава Al2O3·2SiO2·2H2O, в котором в твердом растворе находится до 5% Fe2O3, 4 – 9% MgO, до 3,5% СаО. Бентонитовые глины состоят из очень тонких частиц (~ 2·10-9 м) монтмориллонита. Гидрослюды – минералы, близкие по составу и структуре к монтмориллонитам, однако в состав последних входят щелочные ионы, содержание которых может достигнуть 4 – 10%. Аргиллиты – твердые породы, продукт дегидратации, прессования и перекристаллизации глин. Сланцы – скальная порода, продукт перекристаллизации глин. Лесс – землистая порода, сложенная из слюд, каолинита, полевых шпатов, кальцита, кварца. Суглинки – глины, содержащие значительное количество кварца (до 40%).

Глинистые породы содержат нужные для производства портландцемента кислотные окислы SiO2, Al2O3 и Fe2O3, в известняках находится основной окисел СаО. Главным признаком пригодности глины для производства портландцемента, являются значения ее силикатного и глиноземного модулей, которые определяют величину этих модулей в портландцементе, так как карбонатный компонент сырьевой смеси обычно содержит немного глинистых примесей.

Карбонатное и глинистое (алюмосиликатное) сырье должно быть возможно более однородным по составу и структуре, не содержать включений крупных зерен кварца и других обломочных пород, затрудняющих помол сырья и трудно усваиваемых в процессе обжига.

Доменные шлаки

Железные руды наряду с оксидами железа содержат то или иное количество примесей (кварцевый песок, глина, карбонаты кальция и магния, соединения фосфора и серы и др.), называемых в совокупности пустой породой. Некоторые из них (соединения фосфора и серы) вредно отражаются на качестве чугуна. Неорганические примеси есть и в топливе, загружаемом в домну для плавления руды. Поэтому в процессе доменного производства необходимо не только восстановить из оксидов железо, но и освободить его от примесей, вносимых с рудой и топливом.

Так как пустая порода в руде редко бывает легкоплавкой, то для ее удаления в шихту вводят специальные добавки – плавни (флюсы), способные образовывать с ней легкоплавкие соединения. В качестве плавней применяют обычно карбонатные породы – известняк, доломит и т.п.

В процессе плавки карбонаты вступают в химическое взаимодействие с компонентами пустой породы и минеральной части топлива, причем образуются легкоплавкие силикаты и алюмосиликаты кальция и магния. При 1400–1500 °С эти соединения плавятся и в виде шлакового расплава, скапливающегося вследствие меньшей плотности над слоем чугуна, выпускаются из доменной печи. При выплавке 1 т чугуна на коксе в среднем получается 0,5–0,7 т шлака.

Химический состав доменных шлаков зависит от состава руды, плавней, вида применяемого топлива и выплавляемого чугуна.

Обычно в состав доменных шлаков входят оксиды CaO, Si02, А1203, MgO, FeO и сернистые соединения CaS, MnS, FeS, а иногда Ti02 и соединения фосфора. В незначительных количествах встречаются в шлаках и другие оксиды, существенно не влияющие на их свойства. Преобладающими в доменных шлаках являются CaO, Si02, A1203 и отчасти MgO, суммарное содержание которых достигает 90–95%.

По химическому составу доменные шлаки отличаются от портландцементного клинкера лишь соотношением некоторых компонентов. Шлаки содержат повышенное количество кремнезема, частично глинозема и меньше оксида кальция.

Гипс вводят в состав портландцемента для регулирования сроков схватывания. Он замедляет начало схватывания и повышает прочность цементного камня в ранние сроки. Количество гипса в цементе нормируется по содержанию SO3. В обычных цементах оно должно быть не менее 1,0 и не более 3,5%, а в высокопрочных и быстротвердеющих – не менее 1,5 и не более 4,0%.

**4. Способы производства портландцементов**

В настоящее время применяют три способа подготовки сырьевой смеси из исходных материалов: мокрый (помол и смешение сырья осуществляются в водной среде), сухой (материалы измельчаются и смешиваются в сухом виде) и комбинированный.

Каждый из этих способов имеет свои положительные и отрицательные стороны. В водной среде облегчается измельчение материалов, при их совместном помоле быстро достигается высокая однородность смеси, но расход топлива на обжиг сырьевой смеси при мокром способе в 1,5–2 раза больше, чем при сухом. Кроме того, значительно возрастают размеры обычных вращающихся печей при обжиге в них мокрой сырьевой смеси, так как эти тепловые агрегаты в значительной мере выполняют функции испарителей воды.

Сухой способ, несмотря на его технико-экономические преимущества по сравнению с мокрым, длительное время ограниченно применялся вследствие пониженного качества получаемого клинкера. Однако успехи в технике тонкого измельчения и гомогенизации сухих смесей обеспечили возможность получения высококачественных портландцементов и по сухому способу. Это предопределило рост производства цемента по этому способу.

Сущность комбинированного способа заключается в том, что сырьевую смесь готовят по мокрому способу, затем шлам обезвоживается на пресс-фильтрах, просушивается, гранулируется и направляется в печь, при этом влажность гранул 16–20%. Комбинированный способ по ряду данных почти на 20–30% снижает расход топлива по сравнению с мокрым способом, но при этом возрастают трудоемкость производства и расход электроэнергии.

При производстве портландцемента мокрым способом применяют следующую технологическую схему. Поступающий из карьера твердый известняк с размерами кусков до 1 м подвергается одно-, двух- или трехстадийному дроблению в дробилках с доведением кусков до 8–10 мм. Поступающую из карьера мягкую глину с размерами кусков до 500 мм измельчают в вальцовых дробилках до кусков размером 0–100 мм, а затем отмучивают в болтушках. Получаемый глиняный шлам с влажностью 60–70% подают в сырьевую мельницу, где он размалывается совместно с раздробленным известняком.

Полученный шлам, влажность которого находится в пределах 32–40%, центробежными насосами транспортируется в вертикальные шламовые бассейны, где он корректируется. Это необходимо для того, чтобы обеспечить постоянство заданного заводской лабораторией химического состава шлама. Откорректированный шлам поступает из вертикальных бассейнов в горизонтальные, где и хранится до подачи в печь для обжига. В вертикальных бассейнах шлам перемешивается сжатым воздухом, а в горизонтальных – механическим путем и сжатым воздухом. Перемешивание предотвращает возможность осаждения шлама и позволяет достичь полной его гомогенизации. При использовании сырьевых компонентов, имеющих постоянный химический состав, корректирование шлама производят не в вертикальных, а непосредственно в горизонтальных бассейнах большой емкости. Обжиг шлама на клинкер осуществляется во вращающихся печах. Они представляют собой стальной барабан, который состоит из обечаек, соединенных методом сварки или клепки, и имеет внутреннюю футеровку из огнеупорного материала. Профиль печей может быть как строго цилиндрическим, так и сложным с расширенными зонами. Расширение определенной зоны производят для увеличения продолжительности пребывания в ней обжигаемого материала.

Печь, установленная под углом 3…4 к горизонту, имеет частоту вращения 0,5…1,5 мин-1. Вращающиеся печи в основном работают по принципу противотока. Вращающуюся печь можно разделить на 5 рабочих зон:

Зона испарения – Сырье поступает в печь с верхнего (холодного) конца, а со стороны нижнего (горячего) конца вдувается топливно-воздушная смесь, сгорающая на протяжении 20…30 м длины печи. Горячие газы, перемещаясь со скоростью 2…13 м/с навстречу материалу, сначала подогревают его до 100 °С, а в конце он приобретает температуру 200°С. В начале шлам разжижается, затем комкуется. Печи оснащены цепными завесами засчет чего материал налипает на звенья, подсыхает и распадается на гранулы. Длительность пребывания материала в печи зависит от ее частоты вращения и угла наклона, составляя, например, в печи размером 5 \* 185 м около 2 ч.

Зона подогрева – здесь материал нагревается до температуры 500°С-600°С. На этом этапе выгорают органические примеси и начинаются реакции. Происходит дегидратация глиняных минералов и образование оксидов алюминия, кремния и железа, начинается частичное разложение карбонатов с образованием СаО и МgО.

Зона кальценирования – здесь протекает реакция разложения карбоната Са при температуре 900°С -1200°С.

СаО→ СаО+СО2↑

Мощные вентиляторы удаляют СО2↑ из зоны обжига. На этом этапе начинают образовываться соединения типа СаО\*Аl2О3, появляется небольшое количество белита 2СаО\*SiO2, оксиды СаО, Fe2O3, SiO2 находятся в активном состоянии.

Зона экзотермических реакций – реакции происходят при температуре 1200°С – 1300°С и с выделением тепла 100 ккал. В этой зоне происходит образование двухкальциевого силиката (белита) 2СаО\*SiO2, однокальциевый алюминат насыщается известью до образования трехкальциевого алюмината 3саО\* Аl2О3, образуется четырехкальциевый алюмоферрит (целит) 4СаО\*Аl2О3\*, Fe2O3. В большом количестве содержится свободная известь. Образование минералов происходит в твердо-фазовом состоянии.

Зона спекания (зона усвоения извести) – при температуре 1300°С – 1450°С происходит частичное плавление материала с образованием жидкой фазы. Чтобы поучить качественный клинкер материал должен находиться в зоне определенное время 6–30 мин (время зависит от размера гранул). За это время 3саО\* Аl2О3 и 4СаО\*Аl2О3\*, Fe2O переходит в расплав 2СаО\*SiO2. В результате происходит взаимодействие белита 2СаО\*SiO2 с СаО и образуется алит 3СаО\*SiO2. Процесс его образования постепенно замедляется и известь нацело практически не связывается. Содержание свободных оксидов кальция около 1%, т. к. будет иметь место запоздалая гидратация обожжённой извести при которой цемент характеризуется неравномерным изменением объёма.

Зона охлаждения- с температурой 1100°С – 1200°С клинкер выходит из печи, после чего сразу попадает в холодильник. В холодильнике клинкер подвергается резкому охлаждению для:

1. Сохранения жидкой фазы в стекловидном состоянии, которая является более реакционноспособной.
2. Сохранения мелкокристаллического строения остальных клинкерных минералов.
3. Для помола клинкера его температура должна быть 45°С – 50°С для предотвращения износа мельниц.

После обжига и охлаждения клинкер направляется на склад для магазинирования – вылеживания с целью гашения свободной извести, при этом клинкер может специально обрызгиваться водой. При этом он становится более рыхлым, облегчается помол и уменьшаются сроки схватывания. Полученный клинкер дозируется и отправляется в цементную мельницу. На механизированном шихтовальном дворе складируются также гидравлические добавки и гипс, которые по мере надобности подаются в бункеры цементных мельниц для совместного помола с клинкером.

Полученный портландцемент транспортируется из мельниц пневматическим путем в силосы для хранения. После определения качества цемента часть его поступает в упаковочную машину. Здесь он автоматически насыпается в бумажные мешки, которые затем отгружаются с завода железнодорожным, автомобильным или водным транспортом. Остальную часть цемента отправляют навалом в специальных железнодорожных вагонах или в контейнерах цементовозах**.**

**5. Расчет производительности и определение годового фонда рабочего времени основных технологических цехов**

Расчет производительности основных цехов начинается с определения годового фонда рабочего времени.

Расчетный годовой режим работы цехов определяется по формуле:

Тгод=(Nгод – Nпр – Nвых)\*Тсут,

где Nгод – количество календарных дней в году, 365;

Nпр – количество праздничных дней в году, 12;

Nвых – количество выходных дней в году, 100;

Тсут – суточный фонд рабочего времени.

Таблица 5.1 Основные режимы работы цехов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | Наименование цеха | Суточный фонд рабочего времени, ч | Тгод, ч |
| 1 | Складское хозяйство | 16 | 4048 |
| 2 | Цех дробления | 16 | 4048 |
| 3 | Цех сушки | 24 | 6072 |
| 4 | Цех обжига | 24 | 8040 |
| 5 | Цех помола клинкера | 24 | 6072 |

Расчет производительности технологической линии начинается с основного оборудования. Производительность вычисляется по формуле:

Пгод = Пчас \* Тгод \* n \* Кисп,

где Пчас – часовая производительность основного оборудования, 80;

n – количество единиц оборудования, 2;

Кисп – коэффициент использования оборудования, 0,95.

Пгод =80\*6072\*2\*0,95= 922944 т/г.

**7. Подбор основного технологического оборудования**

Расчет производительности производят на каждой технологической операции, данные приводят в сводной ведомости Табл. 5.2

Таблица 5.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Наименование оборудования | Годовой  фонд  рабочего  времени,  Тгод, ч | | Потребная  производительность, т/ч | | | |
| Часовая | Суточная | | Годовая |
| Линия известняка | | | | | | | |
| 1 | Экскаватор | 4048 | | 147,16 | 2354,56 | | 595705 |
| 2 | Ж/Д транспорт | 4048 | | 147,01 | 2352,21 | | 595110 |
| 3 | Бункер известняка | 4048 | | 146,87 | 2349,87 | | 594516 |
| 4 | Мостовой грейферный кран | 4048 | | 146,72 | 2347,52 | | 593922 |
| 5 | Щековая дробилка | 4048 | | 146,57 | 2345,17 | | 593328 |
| 6 | Элеватор | 4048 | | 146,43 | 2342,83 | | 592736 |
| 7 | Питатель | 6072 | | 97,52 | 2340,49 | | 592143 |
| Линия глины | | | | | | | |
| 8 | Экскаватор | 4048 | | 26,87 | 429,92 | | 108771 |
| 9 | Ж/Д транспорт | 4048 | | 26,84 | 429,50 | | 108663 |
| 10 | Склад глины | 4048 | | 26,82 | 429,07 | | 108554 |
| 11 | Ленточный транспортер | 4048 | | 26,79 | 428,64 | | 108446 |
| 12 | Глиноболтушка | 4048 | | 26,76 | 428,21 | | 108337 |
| 13 | Питатель пластинчатый | 4048 | | 26,74 | 427,78 | | 108229 |
| 14 | Питатель | 6072 | | 17,81 | 427,36 | | 108121 |
| Линия помола сырья  сырья | | | | | | | |
| 15 | Шаровая мельница | 6072 | | 192,02 | 4608,46 | | 1165941 |
| 16 | Питатель | 6072 | | 191,06 | 4585,53 | | 1160140 |
| Линия обжига | | | | | | | |
| 17 | Ленточный транспортер | 8040 | | 144,15 | 3459,64 | | 1158981 |
| 18 | Вертик. шламбассейн | 8040 | | 144,01 | 3456,19 | | 1157823 |
| 19 | Горизонт. шламбассейн | 8040 | | 143,86 | 3452,74 | | 1156667 |
| 20 | Вращающаяся печь | 8040 | | 143,72 | 3449,29 | | 1155511 |
| 21 | Холодильник колосниковый | 8040 | | 75,14 | 1803,34 | | 604120 |
| 22 | Дозатор клинкера | 6072 | | 99,39 | 2385,44 | | 603516 |
| Линия шлака  тшса | | | | | | | |
| 23 | Ж/Д транспорт | 4048 | | 75,06 | 1200,98 | | 303849 |
| 24 | Прирельсовый склад | 4048 | | 74,99 | 1199,78 | | 303545 |
| 25 | Ленточный транспортер | 6072 | | 49,94 | 1198,58 | | 303242 |
| 27 | Валковая дробилка | 6072 | | 49,89 | 1197,39 | | 302939 |
| 28 | Сушильный барабан | 6072 | | 49,84 | 1196,19 | | 302637 |
| 29 | Ленточный транспортер | 6072 | | 45,92 | 1102,07 | | 278825 |
| 30 | Дисковый питатель | 6072 | | 45,87 | 1100,97 | | 278546 |
| Линия гипса | | | | | | | |
| 31 | Экскаватор | 4048 | 11,54 | | 184,60 | 46703 | |
| 32 | Ж/Д транспорт | 4048 | 11,53 | | 184,41 | 46657 | |
| 33 | Прирельсовый склад | 4048 | 11,52 | | 184,23 | 46610 | |
| 34 | Ленточный транспортер | 4048 | 11,50 | | 184,05 | 46564 | |
| 35 | Валковая дробилка | 4048 | 11,49  , | | 183,86 | 46517 | |
| 36 | Тарельчатый питатель | 4048 | 11,48 | | 183,68 | 46471 | |
| 37 | Весовой дозатор | 6072 | 7,65 | | 183,49 | 46424 | |
| Линия помола цемента | | | | | | | |
| 38 | Шаровая мельница | 6072 | 152 | | 3648 | 922944 | |
| 39 | Пневматический насос | 6072 | 151,85 | | 3644,35 | 922021 | |
| 40 | Силос | 4048 | 227,54 | | 3640,71 | 921099 | |
| Склад готовой продукции | | | | | | | |
| 41 | Весовой дозатор | 4048 | 90,93 | | 1454,83 | 368072 | |
| 42 | Упаковочная машина | 4048 | 90,84 | | 1453,37 | 367703 | |
| 43 | Автотранспорт | 4048 | 136,53 | | 2184,42 | 552659 | |

**Список литературы**

1. Сулименко Л.М. Технология минеральных вяжущих материалов и изделий на их основе: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2000 – 303 с., ил.
2. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине  
   «Минеральные вяжущие вещества». Эталон пояснительной записки. -  
   Ростов н/Д: Рост. гос. строит, ун-т, 2004
3. ГОСТ 10178–85 (2002) «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия»
4. www.bibliotekar.ru
5. www.rim-beton.ru-cement