Министерство образования Российской Федерации

ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Строительный факультет

Кафедра строительных материалов и специальных технологий

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

**по дисциплине «Вяжущие вещества»**

**НА ТЕМУ : Технологическая линия по производству общестроительных портландцементов.**

**Выполнил: студент группы ПСК 07-1**

**Духно Алексей Владиславович**

**Проверил: Катаева Людмила Ивановна**

Дата выдачи задания на курсовой

проект\_\_\_\_3.09.09\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Дата защиты курсового

проекта \_\_1.12.09\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Оценка за курсовой

проект\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Пермь 2009

**Содержание:**

1. **Теоретический раздел**

1.1. Вещественный, химический и минералогический состав вяжущего…………......…… 3

1.2. Физико-химические процессы, проходящие при твердении вяжущего.

Температура условия твердения………………………………………..……...……….... 6

1.3. Условия разрушения (коррозии) композита на рассматриваемом

вяжущем. Области применения продукта……………………………………………… 9

1.4. Сырьевые материалы для производства вяжущего: вещественный,

химический и минералогический состав вяжущего. Показатели качества

сырьевых материалов. Правила приемки, маркировки, транспортирования и

хранения сырьевых материалов…………………………………………………………. 12

1.5. Показатели качества вяжущего:

- Основные

- Вспомогательные

и методы их определения………………………………………………………………… 21

1.6. Анализ существующих технологических схем производства продукта………….….. 27

1.7. Технологические факторы, влияющие на качество продукта…………………….…... 32

1.8. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения продукта.

Гарантии производителя……………………………………………………………….... 33

1. **Расчетно-проектный раздел**
   1. 2.1. Расчетная функциональная технологическая схема производства продукта………..37

2.2. Расчет производственных шихт…………………………………………………………..38

2.3. Расчет производственной программы технологической линии……………………..... 39

2.4. Подбор основного механического оборудования…………………………………….... 40

2.5. Расчет удельных энергетических нагрузок и оценка эффективности

подобранного механического и теплотехнического оборудования по энергозатратам….42

Список литературы……………………………………………………………………………….43

**1. Теоретический раздел**

**1.1. Вещественный, химический и минералогический состав вяжущего.**

***Цемент*** - порошкообразный строительный вяжущий материал, который обладает гидравлическими свойствами, состоит из клинкера и, при необходимости, гипса или его производных и добавок

***Общестроительный цемент*** - цемент, основным требованием к которому является обеспечение прочности и долговечности бетонов или растворов. **[ 5 ]**

***Портландцементом*** называется гидравлическое вяжу­щее вещество, получаемое тонким измельчением ПЦ клинкера с гипсом, а иногда и со специ­альными добавками.

***Клинкер*** получают обжигом до спекания тонкодис­персной однородной сырьевой смеси, состоящей из из­вестняка и глины и некоторых других материалов (мергеля, доменного шлака и пр.). При этом обеспечи­вается преимущественное содержание в нем высокоос­новных силикатов кальция (70—80 %). Клинкерный порошок без гипса при смешивании с водой быстро схватывается и затвердевает в цементный камень, который характе­ризуется пониженными техническими свойствами.

***Гипсовый камень*** в портландцемент вводят для регулирования сроков схватывания и повышения прочности. **[ 2 ]**

По вещественному составу цемент подразделяют на следующие типы (ГОСТ 10178-85):

- портландцемент (без минеральных добавок);

- портландцемент с добавками (с активными минеральными добавками не более 20 %);

- шлакопортландцемент (с добавками гранулированного шлака более 20 %).

По прочности при сжатии в 28-суточном возрасте цемент подразделяют на марки:

- портландцемент - 400, 500, 550 и 600;

- шлакопортландцемент - 300, 400 и 500;

- портландцемент быстротвердеющий - 400 и 500;

- шлакопортландцемент быстротвердеющий - 400.

Массовая доля в цементах активных минеральных добавок должна соответствовать значениям, указанным в табл. 1.

**Таблица 1 [ 6 ]**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Обозначение цемента | Активные минеральные добавки, % по массе | | | |
| Всего | В том числе | | |
| Доменные гранулированные и электротермофосфорные шлаки | Осадочного происхождения, кроме глиежа | Прочие активные, включая глиеж |
| ПЦ-Д0 | Не допускаются | | | |
| ПЦ-Д5 | До 5 включ. | До 5 включ. | До 5 включ. | До 5 включ. |
| ПЦ-Д20,  ПЦ-Д20-Б | Св.5 до 20 | До 20 включ. | До 10 включ. | До 20 включ. |
| ШПЦ, ШПЦ-Б | Св. 20 до 80 | Св. 20 до 80 | До 10 включ. | До 10 включ. |

При производстве цемента для интенсификации процесса помола допускается введение технологических добавок, не ухудшающих качества цемента, в количестве не более 1 %, в том числе органических не более 0,15 % массы цемента. Добавки не должны вызывать коррозию арматуры или ухудшать свойства цемента или изготовленного на его основе бетона или раствора.

По вещественному составу (ГОСТ 31108-2003), приведенному в таблице 2, цементы подразделяют на пять типов:

- ЦЕМ I - портландцемент;

- ЦЕМ II - портландцемент с минеральными добавками;

- ЦЕМ III - шлакопортландцемент;

- ЦЕМ IV - пуццолановый цемент;

- ЦЕМ V - композиционный цемент.

Примечание: Цемент типа ЦЕМ I не содержит минеральных добавок в качестве основного компонента.

Таблица 2 **[ 9 ]**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип цемента | Наименование цемента | Сокращенное обозначение цемента | Вещественный состав цемента, % от массы <\*> | | | | | | | | |
| Основные компоненты | | | | | | | | Вспомогательные компоненты |
| Портландцементный  клинкер | Доменный или  электротермофосфорный  гранулированный шлак | Пуццолана | Зола - уноса | Глиеж или  обожженный сланец | Микрокремнезем | | Известняк |
| Кл | Ш | П | З | Г | МК | | И |
| ЦЕМ I | Портландцемент | ЦЕМ I | 95-100 | - | - | - | - | - | | - | 0-5 |
| ЦЕМ II | Портландцемент с минеральными добавками: <\*\*> |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |
| Шлаком | ЦЕМ II/ А-Ш | 80-94 | 6-20 | - | - | - | - | | - | 0-5 |
| ЦЕМ II/ В-Ш | 65-79 | 21-35 | - | - | - | - | | - | 0-5 |
| Пуццоланом | ЦЕМ II/ А-П | 80-94 | - | 6-20 | - | - | - | | - | 0-5 |
| Золой - уноса | ЦЕМ II/ А-З | 80-94 | - | - | 6-20 | - | - | | - | 0-5 |
| Глиежем или обожженным сланцем | ЦЕМ II/ А-Г | 80-94 | - | - | - | 6-20 | - | | - | 0-5 |
| Микрокремнеземом | ЦЕМ II/ А-МК | 90-94 | - | - | - | - | 6-10 | | - | 0-5 |
| Известняком | ЦЕМ II/ А-И | 80-94 | - | - | - | - | - | | 6-20 | 0-5 |
| Композиционный портландцемент <\*\*\*> | ЦЕМ II/ А-К | 80-94 | 6-20 | | | | | | | 0-5 |
| ЦЕМ III | Шлакопортландцемент | ЦЕМ III/ А | 35-64 | 36-65 | - | - | - | - | | - | 0-5 |
| ЦЕМ IV | Пуццолановый цемент <\*\*\*> | ЦЕМ IV/ А | 65-79 | - | 21-35 | | | | | - | 0-5 |
| ЦЕМ V | Композиционный цемент <\*\*\*> | ЦЕМ V/ А | 40-78 | 11-30 | 11-30 | | - | | - | - | 0-5 |
| <\*> Значения относятся к сумме основных и вспомогательных компонентов цемента, кроме гипса, принятой за 100%.  <\*\*> В наименовании цементов типа ЦЕМ II (кроме композиционного портландцемента) вместо слов "с минеральными добавками" указывают наименование минеральных добавок – основных компонентов.  <\*\*\*> Обозначение вида минеральных добавок - основных компонентов - должно быть указано в наименовании цемента.  Примечание. В таблице приведен вещественный состав портландцемента со шлаком подтипов А и В; для остальных цементов типа ЦЕМ II и цементов типов ЦЕМ Ш - ЦЕМ V приведен вещественный состав подтипа А. | | | | | | | | | | | |

По содержанию ПЦ клинкера и добавок цементы типов ЦЕМ II-ЦЕМ V подразделяются на подтипы А и В.

По прочности на сжатие в возрасте 28 сут. цементы подразделяют на классы: 22,5; 32,5; 42,5; 52,5.

По прочности на сжатие в возрасте 2 (7) сут (скорости твердения) каждый класс цементов, кроме класса 22,5, подразделяют на два подкласса: Н (нормальнотвердеющий) и Б (быстротвердеющий).

***Быстротвердеющий портландцемент* (БТЦ**) - цемент на основе портландцементного клинкера, обеспечивающий получение (в нормальных условиях твердения) нормативных значений прочности образцов в ранние сроки (2-3 суток), наряду с прочностью в возрасте 28 суток.

БТЦ получают совместным тонким измельчением специального портландцементного клинкера и гипса. По ГОСТ 10178-85 при помоле допускается введение не более 10 % активных минеральных добавок осадочного происхождения и не более 20 % доменных гранулированных и электротермофосфорных шлаков, глиежей. Суммарное содержание трехкальциевого и двухкальциевого силикатов () в клинкере по ГОСТ 31108-2003 (данный стандарт гармонизирован с EN 197-1 и действует параллельно с ГОСТ 10178-85) должно быть не менее 67 % от массы клинкера и ограниченное (до 0,5 %) количество CaOсвоб, а массовое отношение оксида кальция к оксиду кремния () - не менее 2,0. Содержание оксида магния MgO в клинкере не должно быть более 5,0 % от массы клинкера. Допускается содержание оксида магния MgO до 6,0 % от массы клинкера при условии положительных результатов испытаний цемента из данного клинкера на равномерность изменения объема в автоклаве по ГОСТ 310.3. Гипс в БТЦ вводят в обычной дозировке: в пересчете на SO3 не более 4,5 % в зависимости от минерального состава клинкера (содержания C3A) и от тонкости помола цемента.



**1.2. Физико-химические процессы, проходящие при твердении вяжущего.**

**Температура условия твердения вяжущего.**

Твердение портландцемента, как и других вяжущих, является сложным комплексом взаимосвязанных химических, физико-химических и физических процессов. С химической точки зрения твердение – это переход безводных клинкерных минералов в гидраты в результате реакций гидролиза и гидратации, с физической – постепенное загустевание цементного теста и возникновение единого конгломерата из гидратированных и негидратированных частичек. [**3]**

Взаимодействие портландцемента с водой приводит к образованию новых гидратных веществ, обусловливающих схватывание и твердение теста, растворной или бетонной смеси. Состав новообразований зависит от химического и минерального составов цементов, а также от ряда других факторов и в первую очередь от температуры, при которой взаимодействуют компоненты.

Цементное тесто, приготовленное путем смешивания цемента с водой, имеет три периода твердения. Вначале, в течение 1 – 3 ч. после затворения цемента водой, оно пластично и легко формуется. Потом наступает схватывание, заканчивающееся через 5 – 10 ч. после затворения; в это время цементное тесто загустевает, утрачивая подвижность, но его механическая прочность еще не велика. Переход загустевшего цементного теста в твердое состояние означает конец схватывания и начало твердения, которое характерно заметным возрастанием прочности. Твердение бетона при благоприятных условиях длится годами – вплоть до полной гидратации цемента.

Сразу после затворения цемента водой начинаются химические реакции. Уже в начальной стадии процесса гидратации цемента происходит быстрое взаимодействие алита с водой с образованием гидросиликата кальция и гидроксида:

2(3CaO\*SiO2) + 6H2O = 3CaO\*2SiO2\*3H2O + 3Ca(OH)2.

После затворения гидроксид кальция образуется из алита, так как белит гидратируется медленнее алита и при его взаимодействии с водой выделяется меньше Ca(OH)2, что видно из уравнения химической реакции:

2(2CaO\*SiO2) + 4H2O = 3Ca\*2SiO2\*3H2O + Ca(OH)2.

Взаимодействие трехкальциевого алюмината с водой приводит к образованию гидроалюмината кальция:

3CaO\*Al2O3 + 6H2O = 3CaO\*Al2O3\*6H2O.

Для замедления схватывания при помоле клинкера добавляют небольшое количество природного гипса (3 – 5 % от массы цемента). Сульфат кальция играет роль химически активной составляющей его в гидросульфоалюминат кальция (минерал эттрингит) в начале гидратации портландцемента:

3CaO\*Al2O3 + 3(CaSO4\*2H2O) + 26H2O = 3CaO\*Al2O3\*3CaSO4\*32H2O.

В насыщенном растворе Ca(OH)2 эттрингит сначала выделяется в коллоидном тонкодисперсном состоянии, осаждаясь на поверхности частиц 3Ca\*Al2O3, замедляет их гидратацию и затягивает начало схватывания цемента. Кристаллизация Ca(OH)2 из пересыщенного раствора понижает концентрацию гидроксида кальция в растворе, и эттрингит уже образуется в виде длинных иглоподобных кристаллов. Кристаллы эттрингита и обуславливают раннюю прочность затвердевшего цемента. Эттрингит, содержащий 31 – 32 молекулы кристаллизационной воды, занимает примерно вдвое больший объем по сравнению с суммой объемов реагирующих веществ (C3A и сульфат кальция). Заполняя поры цементного камня, эттрингит повышает его механическую прочность и стойкость. Структура затвердевшего цемента улучшается еще и потому, что предотвращается образование в нем слабых мест в виде рыхлых гидроалюминатов кальция.

Четырехкальциевый алюмоферрит при взаимодействии с водой расщепляется на гидроалюминат и гидроферрит:

4CaO\*Al2O3\*Fe2O3 + m\*H2O = 3CaO\*Al2O3\*6H2O + CaO\*Fe2O3\*nH2O.

Гидроалюминат связывается добавкой природного гипса, как указано выше, а гидроферрит входит в состав цементного геля.

Температура оказывает очень большое влияние на твердение портландцемента. При температурах от 0 до 8 оС происходит значительное (в 2 – 3 раза) по сравнению с твердением при обычных температурах замедление этих процессов, а ниже 0 оС они почти полностью прекращаются. Повышение же температуры твердеющих растворов и бетонов сопровождается большим ускорением роста прочности. Оно становится достаточно заметным уже при температуре бетонных смесей 30 – 40 оС при их твердении в теплые периоды года. В больших же массивах эти температуры могут держаться и в холодное время.

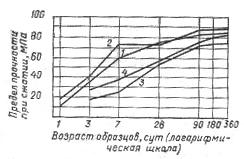


Рисунок 1**.[2]** Изменение прочности по времени образцов из цементного теста, твердевших при 20 оС

1 и 2 – тонкость помола 3000 и 5000 см2/г, В/Ц = 0,25;

3 и 4 – тонкость помола 3000 и 5000 см2/г, В/Ц = 0,35.

Резкое ускорение процессов твердения цементов и бетонов наступает при 70 – 95 оС и особенно при 175 – 200 оС и выше. Однако такое интенсивное воздействие температуры на твердение цементов, а, следовательно, и бетонов проявляется лишь при наличии в них воды в жидком состоянии. Недостаток воды во время твердения при повышенных температурах не только замедляет процессы гидратации, но и снижает прочность и стойкость бетонов. При полном испарении воды процессы твердения прекращаются.

Тепловлажная обработка ПЦ при повышенных температурах (80 – 200 оС) вызывает не только ускорение, но и большие изменения в химическом составе и структуре новообразований. При повышенных температурах клинкерные минералы образуют гидратные соединения с пониженным количеством молекул воды. Тепловлажностная обработка способствует увеличению размеров частичек новообразованием и тем в большей степени, чем выше температура и длительнее ее воздействие на твердеющий цемент. Все это снижает прочностные характеристики и повышает пористость цементного камня при одинаковой степени гидратации исходного вяжущего.

Тепловлажная обработка цемента при твердении тем слабее отражается на его прочности, пористости и некоторых других свойствах, чем раньше она проведена после затворения вяжущего водой при прочих равных условиях.

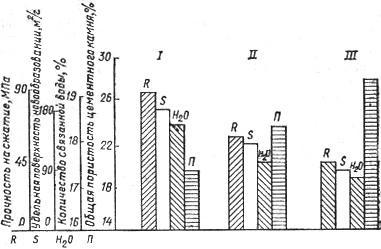


Рисунок 2.**[2]** Влияние условий твердения на некоторые свойства цементного камня

I – твердение в воде при 20 оС в течение 28 сут, степень гидратации 0,66;

II – твердение в воде при 20 оС в течение 28 сут, затем в воде при 90 оС в течение 8 ч, степень гидратации 0,7;

III – твердение в воде при 20 оС в течение 28 сут, затем в воде при 174,5 оС в течение 8 ч, степень гидратации 0,75.

Таким образом, Тепловлажная обработка, способствуя ускорению твердения, может приводить к некоторому недоиспользованию потенциальных возможностей цементов, полнее проявляющихся при обычном твердении. Лишь автоклавная обработка, способна компенсировать отрицательное влияние и обеспечить получение бетонов высокой прочности.

БТЦ отличается от обыкновенного цемента прежде всего более интенсивным твердением в первые 3 сут. Интенсивное твердение цемента в первые сроки возможно при достаточном количестве в нем зерен клинкера тонких фракций (0- 20 мкм). Суточная прочность цемента в основном зависит от содержания зерен клинкера размером менее 10 мкм, а 3-суточная – до 30 мкм. Процентное содержание указанных фракций клинкера в цементе определяет примерно ожидаемую его 1- и 3-суточную прочность.

Через 3 сут твердения в нормальных условиях прочность БТЦ обычно достигает 60 – 70 % марочной. В последующие сроки твердения интенсивность нарастания прочности замедляется и через 28 сут и более прочностные показатели быстротвердеющего цемента становятся такими же, как и у обычных высококачественных портландцементов.

**1.3. Условия разрушения (коррозии) композита на рассматриваемом вяжущем. Области применения продукта. [2]**

Портландцемент и различные его производные, а, сле­довательно, и бетоны на их основе характеризуются от­носительно высокой стойкостью против действия многих агрессивных факторов, наиболее часто встречающихся при эксплуатации зданий и сооружений. Тем не менее, при неблагоприятных условиях они могут быстро разрушаться, и необходимы мероприятия, защищающие бетонные и железобетонные конструкции от преждевременно­го износа.

Различные виды цементов характеризуются различ­ной стойкостью против действия тех или иных агрессив­ных факторов.

Можно разделить коррозионные процессы, возникающие в цементных бетонах при действии водной среды, по основным признакам на три группы.

К первой группе (*коррозия I вида*) относятся процессы, протека­ющие в бетоне под действием вод с малой временной жесткостью. При этом некоторые составляющие цемент­ного камня растворяются в воде и уносятся при ее филь­трации сквозь толщу бетона.

Ко второй группе (*коррозия II вида*) относятся про­цессы, развивающиеся в бетоне под действием вод, со­держащих вещества, вступающие в химические реакции с цементным камнем. Образующиеся при этом продукты реакций либо легко растворимы и уносятся водой, либо выделяются на месте реакции в виде аморфных масс, не обладающих вяжущими свойствами. К этой группе могут быть отнесены, например, процессы коррозии, свя­занные с воздействием на бетон различных кислот, маг­незиальных и других солей.

В третьей группе (*коррозия III вида*) объединены процессы коррозии, вызванные обменными реакциями с составляющими цементного камня, дающими продукты, которые, кристаллизуясь в порах и капиллярах, разрушают его. К этому же виду относятся процессы коррозии, обусловленные отложением в порах камня солей, выделяющихся из испаряющихся растворов, насыщающих бетон (*солевая форма коррозии*).

Отложе­ние солей в порах цементного камня возможно и при хи­мической коррозии, сопровождающейся, в частности, об­разованием гидротрисульфоалюмината кальция (зттрингита), а также двуводного гипса. Этот процесс сопровождается силь­ным давлением кристаллов на стенки пор и капилляров и возникновением напряжений, вызывающих деформации в цементном камне и бетоне и даже их разрушение.

При подсосе растворов разных солей 5 %-ной концентрации в течение 3 мес. кри­сталлизационное давление может достигать: при Na2SO4 **-** 4,4; MgSO4 - 3,6; NaCl - 2,7; CaSO4 - 0,09 МПа.

При особенно неблагоприятных температурных и влажностных условиях в порах цементного камня такие соли, как Na2SO4, MgSO4\*H2O из безводных или маловодных форм могут переходить в соединения с большим количеством молекул воды (N2SO4\*10H2O, MgSO4\*7H2O) переход сопровождается увеличением объема твердой фазы в 1,5 - 3 раза и возникновением напряжений в десятки МПа, вызывающих большие деформации.

***Классификация основных видов коррозии*** под действием природ­ных вод:

1. ***Коррозия выщелачивания (I)****,* вызываемая рас­творением гидроксида кальция, содержащегося в цемент­ном камне, и выносом его из бетона.

Обусловливается тем, что составляющие цементного камня и, в первую очередь, гидроксид кальция в той или иной степени растворимы в воде. Содержание его в цементном камне через 1 - 3 мес твердения достигает 10-15%, считая на СаО, а растворимость при обычных температурах 1,2 г/л. После вымывания свобод­ного гидроксида кальция и уменьшения его концентра­ции в фильтрующейся через бетон воде до значения ме­нее 1,1 г/л начинается разложение ЗСаО\*SiO2\*ЗН2О с выделением из него гидроксида кальция.

При дальнейшем уменьшении концентрации СаО в воде до значений менее 0,56 г/л и завершении гидроли­за указанных соединений начинается разложение СзАН12 и СзАН6 и переход их в С2АН8, который в свою очередь гидролизуется при концентрациях СаО в растворе ниже 0,36 г/л. При длительном воздействии мягких вод на цементный камень воз­можно полное вымывание гидроксида кальция с разложением остальных гидратных соединений до аморфных рыхлых гидратов кремнезема, глинозема и оксида железа. Но и частичное вымывание гидроксида кальция из цементного камня приводит к значительному снижению прочности.

Присутствие в водном растворе NaCl и Na2SO4 повы­шает растворимость Са(ОН)2 в воде, который следова­тельно, быстрее вымывается из цементного камня.

2. ***Кислотная коррозия (II)*** - результат действия кислот при значениях показателя рН менее 7.

Возникает под действием раз­личных неорганических и органических кислот, вступа­ющих в химическое взаимодействие с гидроксидом каль­ция, а также с другими соединениями цементного кам­ня. Этот вид коррозии в зависимости от силы той или иной кислоты, определяемой показателями концентрации ионов водорода рН, может протекать очень интенсивно. Значения рН для водных растворов различных ве­ществ следующие:

|  |  |
| --- | --- |
| Насыщенная известковая вода при 25 0С | 12,4 |
| Насыщенный раствор Mg(OH)2 при 25 0С | 10,5 |
| Нейтральный раствор | 7 |
| Вода насыщенная СО2 при 25 °С | 5,72 |
| 1 %-ный раствор уксусной кислоты | 3,5 |
| 0,1н раствор серной кислоты | 1 |

Под действием той или иной кислоты на цементный камень образуются кальциевая соль и аморфные бес­связные массы SiO2\*aq, A1(OH)3, Fe(OH)3.

Образовавшиеся продукты, растворимые в воде, выносятся из цементного камня, нерастворимые же в виде рыхлых масс остаются. Все это сопровождается снижением прочности цементного камня, а в последующем и полным его разрушением.

3. ***Углекислотная коррозия (II)****,* обусловленная действием на цементный камень, углекислоты и являющаяся частным случаем кислотной корро­зии.

Углекислая коррозия развивается при действии на цементный камень, содержащей углекис­лый газ СО2. При этом вначале идет реакция между Са(ОН)2 цемента и углекислотой с образованием мало­растворимого СаСО3 по схеме:

Ca(OH)2 + CO2 + H2O = CaCO3 + 2H2O

Дальнейшее воздействие Н2СО3 на це­мент приводит, однако, к образованию более раствори­мого гидрокарбоната:

CaCO3 + H2CO3 ↔ Ca(HCO3)2.

Углекислая коррозия воздействует на цементный камень тем слабее, чем больше в водном растворе гидрокарбонатов кальция и магния.

4. ***Сульфатная коррозия (III)****,* подразделяемая на сульфоалюминатную, вызываемую действием на цемент ио­нов при их концентрации от 250—300 до 1000 мг/л; сульфоалюминатно-гипсовую, также возникающую главным образом под действием сульфатных ионов , но при концентрации их в растворе более 1000 мг/л, и гипсовую, которая происходит под действием воды, содер­жащей большое количество Na2SO4 или K2SO4.

Сульфоалюминатная коррозия (разновидность сульфатной) является следствием взаимодействия гипса с высокоосновными алюминатами кальция, содержащимися в цементном камне, по схеме:

3CaO\*Al2O3\*6H2O + 3CaSO4 + 25H2O = 3CaO\*Al2O3\*3CaSO4\*31H2O.

Образование малорастворимой трехсульфатной формы гидросульфоалюмината кальция (эттрингита) из твердого C3AH6 и растворенного в воде гипса сопровождается увеличением твердой фазы (по сравнению с C3AH6) примерно в 4,76 раза. Это вызывает возникновение сильных напряжений в цементном камне, приводящих к нарушению его структуры, деформациям и снижению прочности.

5*.* ***Маг­незиальная коррозия (II)*,** подразделяемая на собственно маг­незиальную, вызываемую действием катионов магния при отсутствии в воде ионов SO4 и сульфатно-магнези­альную, происходящую в цементном камне при совмест­ном действии на него ионов Mg2+ и .

Магнезиальная кор­розия цементного камня наступает под действи­ем на них растворимых солей магния, кроме MgSO4. В этом случае между гидроксидом кальция цементного кам­ня и, например, хлористым магнием происходит реакция по схеме:

Ca(OH)2 + MgCl2 = CaCI2 + Mg(OH)2,

вызывая разрушение цементного камня.

В случае сульфатно-магнезиальной коррозии реакция идет по схеме:

Ca(OH)2 + MgSO4 + 2H2O = CaSO4\*2H2O + Mg(OH)2.

Влияние на цементный камень растворов хлоридов натрия, калия и кальция (но не аммония) при умерен­ных их концентрациях не сказывается отрицательно, од­нако растворы СаС12 высокой концентрации действуют агрессивно.

***Области применения БТЦ.***

БТЦ в настоящее время широко применяются в промышленности. Они повышают марку бетона, что приводит к уменьшению массы изделий и экономии бетона на 8 – 30 %, стали – до 15 % и снижению стоимости изделий – на 3 – 15 %. При использовании БТЦ появляется реальная возможность сократить производственный цикл, увеличить оборачиваемость форм.

БТЦ целесообразно применять при изготовлении высокопрочных, обычных и преднапряженных железобетонных изделий и конструкций. Это дает возможность значительно сократить потребность в металлических формах.**[3]**

Применение БТЦ в строительстве имеет исключительно важное значение. Они позволяют отказаться от самого длительного и дорогого процесса – тепловлажностной обработки железобетонных изделий на заводах, требующей значительного расхода топлива и больших производственных площадей для размещения тепловых установок (камер, котельных установок и др.). Они позволяют особенно эффективно решать проблемы возведения зданий и сооружений из монолитного бетона с применением скользящих и переставных опалубок.

При их использовании значительно экономичнее должны решаться задачи зимнего бетонирования. Предпосылкой для этого является то обстоятельство, что бетоны на БТЦ уже через 4 – 10 ч твердения при 10 – 15 оС могут набирать до 30 – 50 % марочной прочности. Как известно, последующее замерзание бетона почти не отражается на конечной его прочности после оттаивания.

**1.4. Сырьевые материалы для производства продукта:**

**вещественный, химический и минералогический состав.**

**Показатели качества сырьевых материалов.**

**Правила приемки, маркировки, транспортирования и**

**хранения сырьевых материалов.**

Для производства цементов применяют портландцементный клинкер, минеральные добавки, указанные в таблицах 1 и 2, гипс или другие материалы, содержащие сульфат кальция, для регулирования сроков схватывания. В цемент могут быть введены специальные добавки для регулирования отдельных строительно-технических свойств цемента и технологические добавки для улучшения процесса помола и (или) облегчения транспортирования цемента по трубопроводам.

*ПЦ клинкер.*

*Химический состав ПЦ клинкера.* ПЦ клинкер обычно получают в виде спекшихся мелких и более крупных гранул и кусков размером до 10 – 20 или до 50 – 60 мм в зависимости от типа печи.

Химический состав клинкера колеблется в сравнительно широких пределах. Главные оксиды цементного клинкера – оксид кальция CaO, двуоксид кремния SiO2, оксиды алюминия Al2O3, железа Fe2O3, суммарное содержание которых 95 – 97 %. Кроме них в состав клинкера в виде различных соединений в небольших количествах могут входить оксиды магния MgO, серный ангидрит SO3, двуоксид титана TiO2, оксиды хрома Cr2O3, марганца Mn2O3, щелочи Na2O и K2O, фосфорный ангидрит P2O5 и др. Содержание этих оксидов в клинкере колеблется в пределах, указанных в таблице 3.

Таблица 3 **[2]**

|  |  |
| --- | --- |
| CaO | 63 – 66 % |
| SiO2 | 21 – 24 % |
| Al2O3 | 4 – 8 % |
| Fe2O3 | 2 – 4 % |
| MgO | 0,5 – 5 % |
| SO3 | 0,3 – 1 % |
| Na2O + K2O | 0,4 – 1 % |
| TiO2 +Cr2O3 | 0,2 – 0,5 % |
| P2O5 | 0,1 – 0,3 % |

О качестве клинкера в определенной степени можно судить по дан­ным его химического анализа. Химический анализ готового портланд­цемента не является показательным, так как введенные при помоле добавки изменяют его состав.

При анализе клинкера определяют не только общее количество от­дельных оксидов, но и степень связывания СаО и SiO2, т. е. узнают, сколько СаО и SiO2 осталось в свободном состоянии.

Как уже указывалось, первым по содержанию и значению является *СаО*. Чем больше в цементе СаО, тем более высокопрочным и быстротвердеющим он будет. Однако обязательное условие получения высококачественного клинкера — полное связывание СаО кислотными оксидами. СаО, остающийся в свободном состоянии, вызывает неравномерность изменения объема, поскольку при обжиге клинкера в результате высокой температуры он получается намертво обожженным и не га­сится при затворении цемента водой, а гидратируется в уже за твердеющем цементе, вызывая появление опасных напряжений. Цементы с повышенным содержанием СаО во время твердения выделяют большое количество теплоты, обладают пониженной водостойкостью.

*Кремнезем -* одна из важнейших составных частей клинкера. Он связывает СаО в силикаты, способные к гидравлическому твердению. Увеличенное содержание SiO2 в клинкере ведет к замедлению схватывания и твердения. Однако цементы с повышенным содержанием SiO2, обладают высокой прочностью поздние сроки твердения. При их гидратации выделяется умеренное количество теплоты, они отличаются повышенными водо- и сульфатостойкостью.

*Глинозем* - основном компонент алюминатов, повышение его содержания обусловливаетбыстрое схватывание и ускоренное твердение (Rcж. 3 суток).

*Fe2O3* служит плавнем и улучшает спекание клинкера, а также является красящим оксидом. Цементы с высоким содержанием Fe2O3 и малым содержанием глинозема характеризуются повышенной сульфатостойкостью.

*MgO* нежелательная примесь в клинкере. Источник этого оксида — доломитизированные известняки. Поскольку клинкер обжигается при 1450 °С, значительное количество MgO при обычном химическом соста­ве клинкера получается в виде намертво обожженного периклаза, который гидратируется в уже затвердевшем цементе, вызывая снижение прочности и даже разрушение его. По ГОСТ 10178 - 85 портландцемент должен содержать не более 5 % MgO.

*ТiО2* попадает в клинкер из глинистого сырья, его содержание в клинкере редко превышает 0,3 %. Этот оксид — полезный компонент клинкера, способствует улучшению его кристаллизации.

*Mn2O3* содержится в клинкере в заметных количествах лишь тогда, когда в сырьевую смесь вводят вместо глинистого компонента доменный шлак.

*Cr2O3* также может попадать в клинкер при использовании в каче­стве сырья различных вторичных продуктов. В количестве 0,1 - 0,3 %, он является легирующей добавкой, увеличивает скорость твердения в начальные сроки, в количестве 1 - 2 % - замедляет интенсивность роста прочности.

Ангидрид серной кислоты *SO3* необходим для регулирования сроков схватывания.

Фосфорный ангидрид *P2O5* и оксид хрома *Cr2O3* оказывают легирующее действие на клинкер, увеличивая интенсивность твердения цемента в первые сроки и повышая его конечную прочность. **[2]**

***Минералогический состав клинкера.***Основными фазами портландцементного клинкера являются *алит* (C3S), *белит* (C2S), *трехкалъциевый алюминат* (С3А) и *алюмоферрит* (C4AF).

Основными минералами цементного клинкера явля­ются алит ЗСаО\*SiO или C3S и белит 2CaO\*SiO2 или C2S.

***Алит***— важнейший клинкерный минерал-силикат, оп­ределяющий высокую прочность, быстроту твердения и ряд других свойств портландцемента. В клинкере он со­держится обычно в количестве 45—60%.

Алит является твердым раствором наиболее насыщенного известью соединения в системе СаО – SiO2. Чистый С3S плавиться инконгруентно при 2070 оС. Ниже температуры 1250 оС С3S нестабилен и разлагается на СаО и 2СаО\* SiO2. Термодинамический расчет энергии Гиббса ∆G показывает, что С3S → С2S +CaO протекает при температуре более 1000 оС, скорость ее с повышением температуры сначала возрастает, а потом снижается.

Максимальная скорость разложения чистого минерала наблюдается при 1100 °С, а минерала с добавками — при 1200 °С. Особенно ускоря­ют процесс ионы F-, а также СаSO4. Частичное разложение C3S про­исходит и в цементном клинкере. При этом возникают свободные валент­ные связи и появляются дополнительные вакансии в решетке, что по­вышает гидравлическую активность. В интервале 20—1100 °С чистый С3S существует в шести полиморфных модификациях:

Температура, °С 600 920 980 990 1050

Модификация Т1 ↔ Т11 ↔ Т111 ↔ М1 ↔ М11 ↔ R

Алит ПЦ клинкера является твердым раствором, содержащим ионы Mg2+, A13+, Fe3+ и некоторые другие. Количество MgO в алите зависит от температуры и не превышает 2,2%. Mg2+ всегда замещает Са2+ в октаэдрических позициях.

Предельное содержание А13О3 в алите — до 1,7 %. Если концен­трация А12О3 невелика, то ионы А13+ замещают ионы Si4+ и для обеспе­чения электронейтральности один из четырех ионов А13+ размещается в октаэдрической пустоте решетки:



Если концентрация A12O3 больше 0,45 %, то происходит гетеровалентный изоморфизм с одновременным замещением Si4+ + Ca2+:



Оксида железа Fe2O3 растворяется в алите до 1,1 *%.* Ионы Fe3+ ведут себя в решетке С3S аналогично ионам Аl3+. Ионы хрома в решетке C3S могут иметь валентность 5+ или 4+ и замещать кремний по схеме:

 ; 

В первом случае создаются катионные вакансии ( Са- ). Наиболее изу­чен алит состава

54 СаО\*16 SiO2\*MgO\*Al 2O3. При нормальной температуре он является моноклинным, свыше 830 оС переходит в тригональный. В медленноохлажденном клинкере может содержаться и триклинный алит.

Выделен также хлорсодержащий алит Ca3\*SiO4\*Cl2 в виде игольчатых кристаллов, плавящихся при 1040 оС.

В твердых растворах могут содержаться Мn3+, Ti4+, которые заме­щают Si4+ , а также комплексный ион *.*

Алит является основным носителем прочности. Он схватывается в течение нескольких часов и относительно быстро наращивает прочность. Установлено, что моноклинный алит гидратируется быстрее, а триклинный приобретает более высокую прочность в поздние сроки твердения.

***Белит***— второй основной минерал ПЦ клинкера, отличается медленным твердением, но обес­печивает достижение высокой прочности при длительном твердении портландцемента.

Белит, как и алит, представляет собой твердый раст­вор β-двухкальциевого силиката (β-2CaO\*SiO2) и не­большого количества (1—3%) таких примесей, как AI2O3, Fe2O3, Сг2О3. Он содержится в клинкерах обычных ПЦ в количестве 15—30 % и обозначается формулой β-C2S.

Чистый двух кальциевый силикат существует в пяти модификациях, интервалы стабильности некоторых из них при наг­реве и охлаждении не совпадают. При охлаждении из расплава при температуре 2130 °С кристаллизуется α-C3S, который при 1425 ± 10 °С переходит в α-C2S. Переход άн  а άL - форму осуществляется при 1160 ±10 °С. В интервале температур 680—630 °С άL - превращается в β-С2S, который ниже 500°С переходит в γ-C3S. При нагреве свыше 700oC γ - C2S переходит в άL.

В высокотемпературной форме α-C2S может растворяться значитель­ное количество добавок некоторых оксидов, которые выделяются при охлаждении в результате перехода α-формы в низкотемпературную. При этом значительно изменяется температура перехода α- в ά - C2S этих добавок одновременно являются и стабилизатора­ми α-C2S. Наилучшая стабилизация получается при введении в a-C2S щелочных алюминатов или ферритов.

*Физическое торможение* перехода в цементном клинкере или шлаке происходит вследствие того, что при резком охлаждении стекло­видная фаза обволакивает зерна, предотвращая начало необходимого расширения.

*Кристаллохимическая стабилизация* β-С2Sпроисходит при введении добавок, высокотемпературные формы которых изоморфны с высоко­температурными формами C2S, а низкотемпературные не изоморфные с низкотемпературными формами C2S, либо добавок вызывающих изменения в решетке высокотемпературных форм.

Белит не имеет определенных сроков схватывания и при затворении водой твердеет очень медленно. В зависимости от наличия тех или примесей гидравлическая активность белита колеблется в широ­ких пределах. По данным японских исследователей, прочность α -формы примерно и три раза выше прочности β - формы. Стечением времени (1-2 года) цементный камень из белита приобретает большую прочность, чем камень из алита.

Более важной характеристикой клинкера является соотношение между отдельными оксидами и содержание клинкерных минералов. Соотношение между основными оксидами в клинкере и сырьевой смеси определяется соответствующими модулями.

Клинкер (сырьевая смесь) характеризуется *тремя модулями*:

1. *гидравлическим* или *основным *

2. *кремнеземистым* или *силикатным*  

3. *глиноземистый* или *алюмосиликатный* 

Чем выше гидравлический модуль, тем более быстротвердеющим будет цемент. Сырьевые смеси с высоким кремнеземистым модулем спекаются труднее, чем с низким. При одинаковым кремнеземистом модуле легче спекаются смеси с низким глиноземистым модулем, так как они содержат повышенное количество Fe2O3. Цементы с высоким кремнеземистым и низким глиноземистыми модулями будут наиболее стойкими в сульфатных водах. Твердеют они относительно медленно, но спустя длительное время приобретают высокую прочность. Силикатный модуль характеризует количество образующегося расплава, а глиноземистый — вязкость расплава.

В связи с этим при расчетах цементной шихты используют коэффи­циент насыщения (КН) кремнезема оксидом кальция, в котором учиты­вается, что при обжиге клинкера сначала образуются алюминаты, алюмоферриты, сульфат кальция и двух кальциевыйсиликат и лишь потом трехкальциевый силикат.

*Коэффициент насыщения* представляет собой отношение количества оксида кальция, остающегося после полного насыщения Аl2О3, Fe2Оз и SO3 до С3А, C4AF и CS, к количеству оксида кальция, необходимому для полного насыщения кремнезема до C 3 S:



При производстве БТЦ сырьевые смеси готовят с по­вышенным по сравнению с обычным портландцементом коэффициентом насыщения кремнезема оксидом каль­ция (КН = 0,9...0,92), их более тонко измельчают и тща­тельно гомогенизируют. Клинкер обжигают при несколь­ко более высоких температурах. **[3]**

*Гипсовый камень 111 сорта.* **[7]**

*Технические требования*:

**-** Гипсовый камень, используемый для производства вяжущих материалов должен соответствовать требованиям ГОСТ 4013-82. Добыча и переработка камня производиться по техническому регламенту, утвержденному в установленном порядке.

- Гипсовый камень по содержанию гипса и гипсоангидритовый камень по суммарному содержанию гипса и ангидрита в пе­ресчете на гипс подразделяют на сорта, указанные в таблице 4.

Содержание гипса в гипсовом камне определяют по кристал­лизационной воде, а в гипсоангидритовом камне — по серному ангидриту (SO3 )

Таблица 4 **[7]**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Сорт | Содержание в гипсовом камне % | |
| Гипс ( Са2SO4\*H2O) | Воды |
| 1 | 95 | 19.88 |
| 2 | 90 | 18.83 |
| 3 | 80 | 16.74 |
| 4 | 70 | 14.64 |

- Для производства цемента должны использовать гипсовый и гипсоангидритовый камень. В гипсоангидритовом камне должно быть не менее 30 % гипса (CaSO4\*2H2O).

- Гипсовый и гипсоангидритовый камень применяют в зависимости от размера фракции.: 0 - 60 мм - гипсоангидритовый и гипсовый камень для про­изводства цемента.

- Фракции размером 0 - 60 мм не должны содержать камня размером 0 - 5 мм более 30 %.

В отдельных случаях по согласованию с потребителем доля со­держания фракции размером 0 - 5 мм допускается более 30 %, но не должна превышать 40 %.

***Приемка камня***

1. Камень должен быть принят техническим контролем предприятия изготовителя.

2. Приемку и поставку камня осуществляют партиями. В состав партии включают камень одного вида, сорта и фракции.

3. При отгрузке камня железнодорожным и водным видами транспорта. Размер партии устанавливают в зависимости от годовой мощности карьера:

1000т – при годовой мощности до 1000000т.

2000т – свыше 1000000т.

Допускается отгружать партии камня меньшей массы.

4. При отгрузке камня автомобильным транспортом партией считают количество камня одного сорта, одной фракции, отгружаемого одному потребителю в течение суток.

5. Количество поставляемого камня определяют по массе. Камень отгруженный в вагонах или автомобилях, взвешивают на железнодорожных или автомобильных весах. Массу камня отгруженного в судах, определяют по осадке судна.

6. Изготовитель должен определять фракционный состав камня не менее одного раза в квартал, также при замене технологического оборудования или при переходе от одного забоя в другой при разработке пласта гипсового камня.

7. Потребитель имеет право контрольную проверку соответствия камня требованием стандарта, применяя при этом порядок подбора и метода испытания. Потребитель приобретает пробы после загрузки транспортных средств, изготовитель - перед и во время погрузки.

8. Пробы отбирают не менее чем из 10 мест равными частями на различной глубине, при отгрузке ж/д и водным транспортом, а при отгрузке автомобильным не менее чем 5 машин.

9. Минимальную массу общей пробы определяют в зависимости от максимального размера фракции:

50 кг – при максимальном размере фракции 60 мм.

300 кг – при максимальном размере фракции 300 мм

10. Если при испытании пробы получены неудовлетворительные результаты, проводят повторные испытания, пробы камня, отобранные из той же партии. При неудовлетворительном результате повторных испытаний, партия приемке не подлежит.

***Требования к транспортированию и хранению.***

1. Гипсовый и гипсоангидритовый камень поставляют нава­лом всеми видами транспортных средств.

2. Камень транспортируют железнодорожным транспортом в соответствии с Правилами перевозок грузов и Техническими ус­ловиями погрузки и крепления грузов, утвержденными Министер­ством путей сообщения.

3. Предприятие-изготовитель должно сопровождать каждую отгружаемую партию документом о качестве установленной фор­мы, в котором указывают:

- наименование и адрес предприятия-изготовителя;

- наименование камня;

- номер партии, дату отправки и объем партии;

- сорт, размер фракции;

- обозначение настоящего стандарта.

4. Гипсовый камень, предназначенный для производства гип­совых вяжущих, применяемых в фарфорофаянсовой, керамичес­кой к медицинской промышленности, а также белого, декоратив­ного и гипсоглиноземистого расширяющегося цемента, должен храниться у потребителя в закрытых складах.

5. При транспортировании и хранении камень должен быть защищен от загрязнения посторонними примесями.

***Минеральные добавки****.* **[8]**

Активными минеральными добавками называют тонкоизмельченные природные или искусственные материалы, вводимые в известковые вяжущие и цементы для улучшения их свойств и придания специальных качеств.

Требования к шлакам по ГОСТ 3476 – 74:

Оценка гидравлических свойств доменного гранулиро­ванного шлака определяется при помощи коэффициента качества (К), который определяется по формулам:

при содержании окиси магния до 10 %:

;



при содержании окиси магния более 10 %:



В зависимости от коэффициента качества и химического состава доменные гранулированные шлаки подразделяются на три сорта, указанные в таблице 5.

Таблица 5 **[8]**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование показателей | Нормы для сортов | | |
| 1-го | 2-го | 3-го |
| Коэффициент качества, не менее | 1,65 | 1,45 | 1,20 |
| Содержание окиси алюминия (Аl2О3), %, не менее | 8,0 | 7,5 | Не норми­руется |
| Содержание окиси магния (MgO), %,  не более | 15,0 | 15,0 | 15,0 |
| Содержание двуокиси титана (TiO2), %,  не более | 4,0 | 4,0 | 4,0 |
| Содержание закиси марганца (МnO), %, не более | 2,0 | 3,0 | 4,0 |

Степень гидравлической активности шлаков по анало­гии с портландцементным клинкером может быть в неко­торой мере охарактеризована модулем основности и мо­дулем активности.

Модуль основности Мо доменного шлака представляет собой отношение содержащихся.в. нем основных оксидов (%) к сумме кислотных оксидов:



В зависимости от численного значения этого модуля различают шлаки основные, модуль основности которых равен или больше единицы, и кислые с модулем основности меньше единицы.

Модуль активности Ма выражает отношение количества глинозема в шлаке к содержанию кремнезема, %:



Гидравлическая активность доменных шлаков в боль­шинстве случаев с увеличением модуля основности и осо­бенно модуля активности возрастает. Однако роль от­дельных оксидов в формировании гидравлической актив­ности шлаков иная, чем в портландцементном клинкере.

Электротермофосфорные гранулированные шлаки по своему химическому составу должны удовлетворять следующим требованиям:

- содержание двуокиси кремния (SiO2), %, не менее – 38

- содержание суммы окиси кальция (СаО) и окиси магния (MgO), %, не менее – 43

- содержание пятиокиси фосфора (P2O5), %, не более - 2,5

Влажность шлаков устанавливается по договоренности между поставщиком и потребителем.

Количество камневидных кусков шлака (не подвергшихся грануляции) в партии не должно быть более 5 % по весу. Размеры таких кусков не должны превышать 100 мм по наибольшему измерению.

Активные минеральные добавки при испытаниях по ГОСТ 25094-94 должны удовлетворять требованиям таблицы 6.

Таблица 6 **[10]**

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование показателя | Значение показателя |
| Значимость различия между прочностью на сжатие цемента с активной минеральной добавкой и с песком (значение t – критерия), более | 2,07 |
| Конец схватывания, сут, не позднее | 7 |
| Водостойкость, сут, не менее | 3 |

В качестве вспомогательных компонентов цемента могут применяться любые минеральные добавки. Вспомогательные компоненты не должны существенно повышать Водопотребность цемента, а также снижать долговечность бетона или защиту арматуры от коррозии.

***Правила приемки.***

1. Шлаки должны быть приняты службой технического контроля предприятия-изготовителя.

2. Поставку и приемку шлаков производят партиями.

3. Размер партии устанавливают в количестве 500 т. Поставку шлака в количестве менее 500 т считают целой партией.

4. Определение количества поставляемого шлака производят по массе (в пересчете на сухой шлак). Взвешивание шлака, отгружаемого в вагонах или автомашинах, производят на железнодорожных и автомобильных весах. Массу шлака, отгружаемого в судах, определяют по осадке суда.

5. Потребитель имеет право производить контрольную проверку соответствия шлака требованиям настоящего стандарта, применяя при этом указанный ниже порядок отбора проб.

6. Для контрольной проверки качества шлака от каждой партии отбирают среднюю пробу в количестве 10 кг.

7. Отобранную от партии пробу тщательно перемешивают, квартуют и делят на две равные части. Одну из этих частей (0,5 кг) подвергают испытаниям по показателям, предусмотренным в разд. 1, другую, в количестве 1 кг, хранят в течение одного месяца в герметически закрытой таре на случай повторного испытания.

8. Для контрольной проверки качества шлака каждой партии, отгружаемой железнодорожным транспортом, отбирают щупом не менее чем из пяти разных мест вагона (по углам и в центре) из среднего слоя шлака пробы примерно по 2 кг каждая.

9. Для контрольной проверки качества шлака каждой партии, отгружаемого водным транспортом, отбирают от каждой части партии размером не более 10 т шлака одну пробу, затем все пробы тщательно смешивают и отбирают среднюю пробу весом около 10 кг. Отбор проб производится при погрузке или выгрузке судна с транспортных лент или другого вида погрузочно-разгрузочных средств.

10. Для контрольной проверки качества шлака, отгружаемого автомобильным транспортом, отбирают от каждой части партии размером не более 100 т шлака одну пробу. Каждую пробу отбирают не менее чем из пяти автомобилей.

11. При получении неудовлетворительных результатов испытаний хотя бы по одному из показателей проводят повторное испытание по этому показателю, для чего отбирают удвоенное количество шлака. Результаты повторных испытаний являются окончательными.

12. Химический анализ шлака производят по ГОСТ 5382-73.

***Транспортирование и хранение****.*

1. Шлаки транспортируют навалом.

2. Партия поставляемого шлака сопровождается паспортом, в котором указывают:

- наименование и адрес предприятия-изготовителя;

- номер и дату выдачи;

- номер вагонов и накладных;

- номер партии и ее массу;

- сорт доменного шлака;

- химический состав и влажность;

- обозначение настоящего стандарта.

3. Шлаки должны транспортироваться и храниться раздельно по сортам.

**1.5. Показатели качества продукта (основные, вспомогательные) и методы их определения**

Цементы должны соответствовать требованиям ГОСТ 31108-2003 и ГОСТ 10178-85 и изготавливаться по технологической документации , утвержденной предприятием-изготовителем.

Вещественный состав цементов должен соответствовать значениям, указанным в таблицах 1 и 2.

Требования к физико-механическим свойствам цементов приведены в таблице 7.

Таблица 7 **[9]**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Класс прочности цемента | Прочность на сжатие, МПа, в возрасте | | | | Начало схватывания, мин, не ранее | Равномерность изменения объема (расширение), мм, не более |
| 2 сут,  не менее | 7 сут,  не менее | 28 сут | |
| не менее | не более |
| 22,5Н | - | 11 | 22,5 | 42,5 | 75 | 10 |
| 32,5Н | - | 16 | 32,5 | 52,5 |
| 32,5Б | 10 | - |
| 42,5Н | 10 | - | 42,5 | 62,5 | 60 |
| 42,5Б | 20 | - |
| 52,5Н | 20 | - | 52,5 | - | 45 |
| 52,5Б | 30 | - |

Требования к химическим показателям цементов приведены в таблице 8.

Таблица 8 **[9]**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование показателя | Тип цемента | Класс прочности цемента | Значение показателя |
| Потеря массы при прокаливании, не более | ЦЕМ I  ЦЕМ III | Все классы | 5,0 |
| Нерастворимый остаток, не более | ЦЕМ I  ЦЕМ III | Все классы | 5,0 |
| Содержание оксида серы (VI) SO3, не более | ЦЕМ I  ЦЕМ II  ЦЕМ IV  ЦЕМ V | 22,5Н  32,5Н  32,5Б  42,5Н | 3,5 |
| 42,5Б  52,5Н  52,5Б | 4,0 |
| ЦЕМ III | Все классы |
| Содержание хлорид-иона Cl-, не более | Все типы <\*> | Все классы | 0,10 <\*\*> |
| <\*> В цементе типа ЦЕМ III содержание хлорид-иона Cl- может быть более 0,10 %, но в этом случае оно не должно быть указано на упаковке и в документе о качестве.  <\*\*> В отдельных случаях по специальным требованиям в цементах для преднапряженного бетона может быть установлено более низкое значение максимального содержания хлорид-иона Cl-. | | | |

**Основными характеристиками цемента являются: [3]**

* Тонкость помола.

Тонкостью помола называется отношение массы остатка при просеивании на сите с ячейками размером на свету 0,2 мм к массе всей навески, выраженное в процентах. По тонкости помола вещества делятся на:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Классы | Индекс | Остаток на сите 0,2 мм, % |
| Грубый помол | I | 23 |
| Средний помол | II | 14 |
| Тонкий помол | III | 2 |

* Нормальная густота (водопотребность).

Водопотребность цемента определяется количеством воды (в % от массы цемента), которое необходимо для получения цементного теста нормальной густоты. Нормальной густотой цементного теста считаю такую его подвижность, при которой цилиндр-пестик прибора Вика, погруженный в кольцо, заполненное тестом, не доходит на 5-7 мм до пластинки, на которой установлено кольцо.

* Сроки схватывания.

По ГОСТ 10178-76 начало схватывания цемента должно наступать не ранее чем

через 45 мин, а конец — не позднее чем через 10 ч с момента затворения. Если размолоть клинкер без добавки и затворить его водой, он схватится почти мгновенно. Для регулирования сроков схватывания в цемент вводят гипсовый камень, который, взаимодействуя с гидроалюминатами, дает высоко­сульфатную форму гидросульфоалюмината. Через 3-6 ч эти экранирующие пленки разрушаются и начи­нается дальнейшее взаимодействие цемента с водой и нарастание прочности. В цементах без добавки гипса взаимодействие с водой на­чинается сразу, образуется особенно много гидроалюминатов кальция, вызывающих схватывание системы.

* Активность и марка портландцемента.

Активность и марку определяют испытанием стандартных образцов-балочек размером 4х4х16 см, изготовленных из цементно-песчаной растворной смеси состава 1:3 (по массе) и В/Ц = 0,4 при консистенции раствора по расплыву конуса 106 – 115 мм. Через 28 сут твердения (первые сутки образцы твердеют в формах во влажном воздухе, а затем 27 сут – в воде комнатной температуры), образцы-балочки сначала испытывают на изгиб, затем получившиеся половинки балочек – на сжатие.

Предложены методы определения активности цемента ускоренными методами с пропариванием образцов. Такие методы дают возможность судить о марке цемента уже через 16—38 ч после изготов­ления.

* Прочность цемента

Ценность цемента как строительного материала определяется, в первую очередь, его механической прочностью в за­твердевшем виде. Прочность — это результат когезии частичек цемента между собой и адгезии их к заполнителю. Так как цемент применяется в основном в бетонах и растворах, стандарты всех стран предусматри­вают испытания растворных образцов.

При производстве БТЦ сырьевые смеси готовят с по­вышенным по сравнению с обычным портландцементом коэффициентом насыщения кремнезема оксидом каль­ция (КН= 0,9...0,92), их более тонко измельчают и тща­тельно гомогенизируют.

Повышенная прочность быстротвердеющего цемента в первые сроки твердения в значительной мере обуслов­лена не только минеральным составом, но и тонкостью измельчения цемента. Быстротвердеющий цемент разма­лывают до удельной поверхности 3500—4000 см2/г (вмес­то 2800—3000 см,2/г для обычного портландцемента).

По свойствам быстротвердеющий портландцемент от­личается от обычного прежде всего более интенсивным твердением в первые 3 сут. Интенсивное твердение це­мента в первые сроки возможно при достаточном коли­честве в нем зерен клинкера тонких фракций (0-20 мкм). Суточная прочность цемента в основном зависит от содержания зерен клинкера размером менее 10 мкм, а 3-суточная - до 30 мкм. Процентное содержание указан­ных фракций клинкера в цементе определяет примерно ожидаемую его 1- и 3-суточную прочность. Через 3 сут твердения в нормальных условиях проч­ность БТЦ обычно достигает 60 - 70 % марочной. В по­следующие сроки твердения интенсивность нарастания прочности замедляется и через 28 сут. и более прочност­ные показатели быстротвердеющего цемента становятся такими же, как и у обычных высококачественных ПЦ. По ГОСТ 10178—85 предел прочности БТЦ при испытании балочек из малопла­стичных растворов через 3 сут должен быть при изгибе не менее 4 и 4,5, а при сжатии не менее 25 и 28 МПа со­ответственно для марок 400 и 500.

Таблица 9

|  |  |
| --- | --- |
| Длительность твердения, сут ( лет) | Коэффициент нарастания прочности |
| 3 | 0,35 |
| 7 | 0,65 |
| 28 | 1,00 |
| 90 | 1,25 |
| 180 | 1,4 |
| 1 год | 1,5 |
| 5 лет | 1,8 |
| 10 лет | 1,9 |

* Равномерность изменения объема

Вяжущие вещества, в том числе и цементы, при твердении должны характеризоваться равномерностью изменения объема. Цементы с неравномерным изменения объема приводят не только к снижению прочности бетонов при их твердении, но даже к их разрушению. Неравномерность изменения объема цементов может быть вызвана: гидратацией СаОсвоб при содержании его в клинкере более 1,5—2%; гидратацией MgOсвоб., при­сутствующего в клинкере в виде высокотемпературной медленно гасящейся формы - периклаза; образованием в твердеющем цементе трехсульфатной формы гидросульфоалюмината кальция при повышенном содержании в клинкере С3А и при избыточном введении гипса в порт­ландцемент при его помоле.

Содержание СаОсвоб в цементе стандартом не регла­ментировано. При избыточном его количестве отрица­тельное влияние легко определяется по поведению це­ментных образцов-лепешек (диаметр 7-8 см, толщина в середине около 1 см) при их нагревании в кипящей во­де в течение 3 ч. Испытание проводится через 1 сут. пос­ле изготовления образцов. Отсутствие на лепешках ра­диальных, доходящих до краев трещин или сетки мелких трещин, видимых невооруженным глазом или в лупу, а также искривлений и увеличения объема - свидетельство равномерного изменения объема цемента.

**Вспомогательными характеристиками цемента являются**: **[3]**

* Плотность и объемная масса.

Плотность портландцемента обычно колеблется в пределах 3,0—3,2 г/см3. Она зависит от минералогического состава клинкера и вида гидравлической добавки.

Плотность играет, важную роль в цементе, применяемом для тампонирования нефтяных и газовых скважин, возведения защитных устройств от радиоактивного излучения. Для её повышения в составе клинкера должно быть больше алюмоферритов (плотность C4AF - 3,77, а плотность С2S — 3,28 г/см3). Иногда для таких цементов изготовляют специальные клинкера с до­бавкой ВаО, который реагирует с кремнеземом, образуя 2ВаО\*SiO2 (плотность — 5,4 г/см3), обладающий гидравлическими свойствами.

Истинная плотность ПЦ (без минеральных добавок) колеб­лется в пределах 3,05-3,15 г/см3. Плотность в рыхло насыпном состоянии 1100 кг/м3, а в уплотненном - 1600 кг/м3.

По сравнению с другими вяжущими материалами цемент обладает наиболее низкой водопотребностью. Нормальная густота цементного теста, определенная по ГОСТ 310.3-76, составляет 24 - 28 %, тогда как нормальная густота гипсового теста колеблется в пределах 50 - 70 %.

* Тепловыделение.

Гидратация цемента сопровождается определен­ным тепловым эффектом, величина которого зависит от структуры, минералогического состава цемента, тонкости помола, содержания гипса, активных и инертных добавок. Установлено, что наибольшее количество теплоты выделяется при гидратации С3А, наименьшее — при гидратации C2S. Теплота гидратации цемента несколько отличается от теплоты гидратации клинкерных минералов. Это связано прежде всего с тем, что трехкальциевый алю­минат в цементе вступает во взаимодействие с гипсом, и теплота образо­вания эттрингита значительно выше, чем гидроалюминатов. Влияет на теплоту гидратации также степень кристаллизации.

Примерное тепловыделение в разные сроки твердения цемента можно подсчитать по коэффициентам, характеризующим долю участия клинкерных минералов в этом процессе.

Тепловыделение повышается увеличением расхода цемента на 1 м2 бетона и с повышением В/Ц у алитовых цементов. Для белитовых цементов эта зависимость выражена не четко. Ускорители твердения увеличивают тепловыделение, а замедлители - уменьшают его. Теп­ловыделение может играть как положительную, так и отрицательную роль в зависимости от конкретных условий. При бетонировании зимой оно является положительным фактором, так как способствует даль­нейшему протеканию процессов твердения. При бетонировании боль­ших массивов, особенно летом, температура может повышаться на 30 - 40 °С по сравнению с температурой при укладке, что вызывает внутренние напряжения и даже трещины.

* Усадка и набухание цементного камня.

В первый период после затворения объем це­ментного камня несколько уменьшается вследствие испарения воды и седиментации. Затем он набухает. В дальнейшем объемные деформации цементного камня определяются относительной влажностью среды, в которой происходит твердение. Цементный камень набухает при хранении в воде, причем линейные деформации состав­ляют 0,1 - 0,3 мм/м. Через несколько лет на­бухание стабилизируется. Если же образец высушивают, то он дает усадку. Усадка обрат­но пропорционально зависит от влажности окружающей среды. Однако, как прави­ло, усадку определяют при относительной влажности 50 – 60 %.

* Трещиностойкость.

С усадкой цементного камня тесно связана и с его трещиностойкость при высыхании. Появление трещин зависит не только от величины усад­ки, но и от других факторов: предельной растяжимости материала, модуля упругости, величины и формы изделия или образца. Как, правило, цементы с пониженной скоростью твердения обладают большей трещиностойкостью, хотя величина их усадки может быть значительной. Введение в цемент большого количества добавок осадочного происхождении, повышение тонкости помола, увеличение содержания А12О3 и МgO в клинкере снижает его трещиностойкость. Доменные гранулированные шлаки, наоборот, увеличиваю ее.

* Ползучесть.

Ползучестью называется свойство цементного камня или бетона необратимо деформироваться под влиянием длительно действующих в них напряжений, возникающих вследствие внешних на­грузок. В первые 3 - 4 месяца происходит наиболее интенсивный рост деформаций ползучести. Затухает ползучесть через 1 - 2 года. По абсо­лютной величине деформации ползучести значительно больше уса­дочных деформаций.

* Водонепроницаемость.

Затвердевший цемент обладает высокой водо­непроницаемостью. Водонепроницаемость цементного камня с В/Ц = 0,4 примерно равна водонепроницаемости мрамора, хотя пористость цементного камня составляет около 50 %, а мрамора — около 2 %. При одинаковой степени гидратации и одинаковом В/Ц водонепроницаемость цементного камня не зависит от тонкости помола цемента. С ростом В/Ц водонепроницаемость падает. Особенно резкий спад ее наблюдается при В/Ц > 0,5.

Высокая водонепроницаемость объясняется тонким капиллярным строением и заполнением пор цементным гелем. Высушивание цемента ведет к резкому уменьшению водонепроницаемости, что связано с на­рушением тонкой структуры цементного камня.

* Морозостойкость.

Морозостойкость цементного камня - важное свойство, имеющее первостепенное значение при использовании цементных бетонов в гидротехническом, дорожном, водохозяйственном строительстве. При замерзании вода увеличивается в объеме примерно на 9 % . Однако не вся вода, содержащаяся в цементном камне, замерзает одновремен­но. Сначала при температуре немного ниже 0 °С замерзает вода, на­ходящаяся в пустотах и макропорах цементного камня, так называе­мая «свободная» вода. Потом замерзает вода в капиллярах, в наиболее тонких из них при - 25 °С. Вода в гелевых порах замерзает при еще более низкой температуре. По данным некоторых исследователей, часть ее не замерзает даже при - 78 °С.

Под давлением льда на стенки пор и капилляров цементный камень значительно увеличивается в объеме. Максимальное увеличение объема наблюдается в области температур от – 5 - 20 °С и достигает при­мерно 1 - 2 мм/м. При попеременном замораживании и оттаивании в цементном камне возникают необратимые линейные деформации.

**1.6. Анализ существующих технологических схем производства продукта. [13]**

Процесс производства портландцемента складывается из следующих основных технологических операций:

1. добыча сырьевых материалов и доставка их на завод;
2. дробление и помол сырьевых материалов;
3. приготовление и корректирование сырьевой смеси;
4. обжиг смеси (получение клинкера);
5. помол клинкера с добавками (получение цемента).

В зависимости от вида подготовки сырья на обжиг различают мокрый, сухой, полусухой и комбинированный способы производства портландцементного клинкера. При мокром способе производства помол сырьевых материалов, их смешивание и корректирование сырьевой смеси осуществляются в присутствии определенного количества воды, а при сухом способе все перечисленные операции производятся с сухими материалами. В некоторых случаях сухую сырьевую смесь гранулируют, добавляя при грануляции необходимое для образования прочных гранул количество воды. Такой способ производства портландцементного клинкера называется полусухим.

Каждый из этих способов имеет достоинства и недостатки. Например, в присутствии воды облегчается измельчение материалов и проще достигается однородность смеси, но расход тепла на обжиг сырьевой смеси при мокром способе на 30 - 40 % больше, чем при сухом. Кроме того, значительно возрастает необходимый объем печи при обжиге мокрой сырьевой смеси (шлама), так как значительная часть ее выполняет функции испарителя воды.

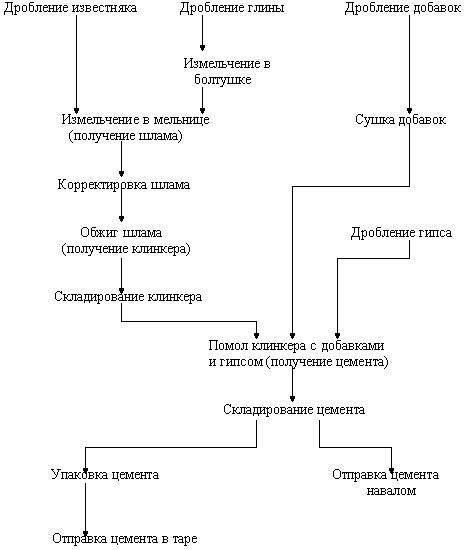
Сущность комбинированного способа заключается в том, что сырьевую смесь приготовляют по мокрому способу, а затем ее максимально обезвоживают (фильтруют) на специальных установках и в виде полусухой массы обжигают в печи.

Выбор способов производства портландцементного клинкера определяется рядом факторов технологического и технико-экономического характера: свойствами сырья, его однородностью и влажностью, наличием достаточной топливной базы в районе строительства и др.

В природной влажности сырья более 8 - 10% оказывается целесообразным мокрый способ. Мокрый способ более выгодно применять также при использовании двух мягких компонентов (глины и мела), так как измельчение их легко достигается разбалтыванием в воде. Сухим способом рационально получать портландцементный клинкер при однородном по составу сырье в случае, если влажность его не превышает 8 - 10%. Полусухой дает хорошие результаты при изготовлении клинкера из достаточно пластичных сырьевых материалов, когда при грануляции смеси образуются прочные и термостойкие гранулы. При хорошей фильтруемости сырьевых шламов предпочтение следует отдавать комбинированному способу.

***Мокрый способ производства:***

На цементных заводах, работающих по мокрому способу, в качестве сырьевых материалов для производства портландцементного клинкера обычно используют мягкий глинистый и твердый известняковый компоненты. В этом случае технологическая схема производства цемента выглядит следующим образом:



Начальной технологической операцией получения клинкера является измельчение сырьевых материалов. Необходимость тонкого измельчения сырьевых материалов определяется тем, что однородный по составу клинкер можно получить лишь из хорошо перемешанной сырьевой смеси, состоящей из мельчайших частичек ее компонентов.

Куски исходных сырьевых материалов нередко имеют размеры до 1200 мм. Получить из таких кусков материал в виде мельчайших зерен можно только за несколько приемов. Вначале куски подвергаются грубому измельчению, дроблению, а затем тонкому помолу. Для грубого измельчения материалов применяют различные дробилки, а тонкое измельчение в зависимости от свойств исходных материалов производят в мельницах или в болтушках в присутствии большого количества воды.

При использовании в качестве известкового компонента мела, его измельчают в болтушках. Если применяют твердый глинистый компонент, то после дробления его направляют в мельницу.  
Из болтушки глиняный шлам перекачивают в мельницу, где измельчается известняк. Совместное измельчение двух компонентов позволяет получать более однородный по составу сырьевой шлам.  
В сырьевую мельницу известняк и глиняный шлам подают в определенном соотношении, соответствующем требуемому химическому составу клинкера. Однако даже при самой тщательной дозировке исходных материалов не удается получить из мельницы шлам необходимого химического состава из-за колебаний химического состава сырья одного и того же месторождения. Чтобы получить шлам заданного химического состава, его корректируют в бассейнах. Для этого в одной или нескольких мельницах приготовляют шлам с заведомо низким или высоким содержанием CаCO3 (называемым титром) и этот шлам в определенной пропорции добавляют в корректирующий шламовый бассейн.

Приготовленный таким образом шлам, представляющий собой сметанообразную массу с содержанием воды до 35 – 45 %, насосами подают в расходный бачок, откуда равномерно сливают в печь.

Для обжига клинкера при мокром способе производства используют *вращающиеся печи*. Они представляют собой стальной барабан длиной до 150-230 м и диаметром до 7 м, футерованный внутри огнеупорным кирпичом; производительность таких печей достигает 1000-3000 т клинкера в сутки.

Барабан печи устанавливают с уклоном 3-40о, шлам подают с поднятой стороны печи холодного конца, а топливо в виде газа, угольный пыли или мазута вдувают в печь с противоположной стороны (горячего конца). В результате вращения наклонного барабана находящиеся в нем материалы продвигаются по печи в сторону ее горячего конца. В области горения топлива развивается наиболее высокая температура: материала - до 15000 оС, газов - до 17000 оС, и завершаются химические реакции, приводящие к образованию клинкера.  
Дымовые газы движутся вдоль барабана печи навстречу обжигаемому материалу. Встречая на пути холодные материалы, дымовые газы подогревают их, а сами охлаждаются. В результате, начиная от зоны обжига, температура газа вдоль печи снижается с 1700 до 150-2000 оС.  
Из печи клинкер поступает в холодильник, где охлаждается движущимся навстречу ему холодным воздухом.

Охлажденный клинкер отправляют на склад. В ряде случаев клинкер из холодильника направляют непосредственно на помол в цементные мельницы.  
Перед помолом клинкер дробят до зерен размером 8 - 10 мм, чтобы облегчить работу мельниц. Измельчение клинкера производится совместно с гипсом, гидравлическими и другими добавками. Совместный помол обеспечивает тщательное перемешивание всех материалов, а высокая однородность цемента является одной из важных гарантий его качества.

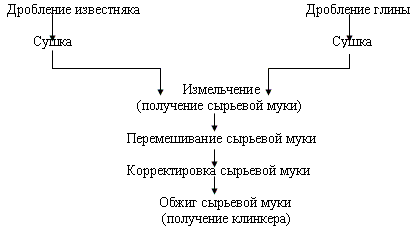
Гидравлические добавки, будучи материалами сильно пористыми, имеют, как правило, высокую влажность (до 20 - 30% и более). Поэтому перед помолом их высушивают до влажности примерно 1%, предварительно раздробив до зерен крупностью 8 - 10 мм. Гипс только дробят, так как его вводят в незначительном количестве и содержащаяся в нем влага легко испаряется за счет тепла, выделяющегося в мельнице в результате соударений и истирания мелющих тел друг с другом и с размалываемым материалом.

Из мельницы цемент транспортируют на склад силосного типа, оборудованный механическим (элеваторы, винтовые конвейеры), пневматическим (пневматические насосы, аэрожелоба) или пневмомеханическим транспортом.

Отгружают цемент потребителю либо в таре - в многослойных бумажных мешках по 50 кг, либо навалом в контейнерах, автомобильных или железнодорожных цементовозах, в специально оборудованных судах. Каждая партия цемента снабжается паспортом.  
Для выполнения всех технологических операций производства портландцемента применяется разнообразное оборудование - дробилки, мельницы, печи и т.д., которое объединяется в поточную линию.

***Сухой способ производства.***

Производство портландцементного клинкера по сухому способу складывается из следующих операций:



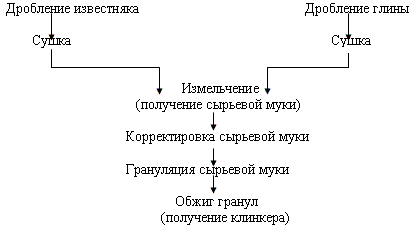
Известняк и глину предварительно дробят, затем высушивают до влажности примерно 1% и измельчают в сырьевую муку. Сушат известняк и глину либо раздельно, используя для этой цели сушильные барабаны или другие тепловые аппараты, либо совместно в сырьевых сепараторных мельницах, в которых одновременно осуществляются помол и сушка материалов. Последний способ более эффективен и применяется на большинстве новых заводов, работающих по сухому способу.

Для получения сырьевой муки определенного химического состава мельниц ее направляют сначала в смесительные, а затем в корректирующие силосы, куда дополнительно подается сырьевая мука с заведомо низким или высоким титром (содержанием CаCO3). В силосах мука перемешивается сжатым воздухом.

Подготовленная сырьевая смесь поступает в систему циклонных теплообменников, состоящую из нескольких (обычно четырех) степеней циклонов, соединенных между собой и с короткой (40 - 70 м) вращающейся печью газоходами. Проходя последовательно через все циклоны, сырьевая мука нагревается движущимися ей навстречу дымовыми газами, выходящими из печи. Время пребывания смеси в циклонных теплообменниках не превышает 25-30 с. Несмотря на это, сырьевая мука не только успевает нагреться до температуры 700-800 оС, но и полностью дегидратируется и частично (на 20 – 25 %) декарбонизируется. Из циклонов материал поступает в печь, где происходят дальнейшие реакции образования цементного клинкера. Из печи клинкер пересыпается в холодильник, и после охлаждения направляется на клинкерный склад.  
Другие технологические операции при сухом способе производства - подготовка гидравлических добавок и гипса, помол цемента, его хранение и отправка потребителю - такие же, как и при мокром способе.

***Полусухой способ производства****.*

Схема получения портландцементного клинкера при полусухом способе производства состоит из следующих операций:



Приготовление сырьевой муки в этом случае производится как и при сухом способе производства. Полученная мука проходит стадию грануляции в барабанных или тарельчатых грануляторах, и в виде гранул размером 10 - 20 мм и влажностью 11 – 16 % поступает на обжиг.  
Гранулированную сырьевую смесь обжигают в коротких вращающихся печах, оборудованных конвейерными кальцинаторами (эти установки для получения клинкера называют печами Леполь).  
Гранулы сначала поступают на конвейерный кальцинатор - бесконечную, заключенную в неподвижный кожух колосниковую решетку, движущуюся со скоростью 25 - 50 м/ч. Выходящие из печи газы проходят через слой гранул, лежащий на решетке, и нагревают материал до температуры около 900 оС, полностью высушивая его и частично на 20 - 30% декарбонизируя.

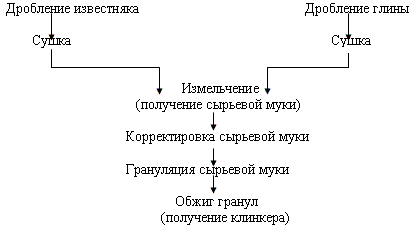
Подготовленный таким образом материал поступает во вращающуюся печь, в которой завершается образование цементного клинкера.

Гранулированную или брикетированную сырьевую смесь можно обжигать в шахтных печах, которые представляют собой вертикальную шахту, футерованную внутри огнеупорным кирпичом. В этом случае гранулирование или брикетирование сырьевой смеси производится совместно с частицами угля, которые добавляют в муку при ее помоле (способ "черного брикета").  
Гранулы или брикеты поступают в шахтную печь сверху, нагреваются горячими дымовыми газами и за счет сгорания запрессованных в них частичек угля. Образовавшийся клинкер выгружается внизу шахты и направляется на склад.

Остальные операции производства портландцемента не отличаются от соответствующих стадий мокрого способа производства.

***Комбинированный способ производства.***

Комбинированный способ производства портландцемента заключается в подготовке сырьевых материалов по мокрому способу, а обжиге смеси - по схеме полусухого. Основные технологические операции и последовательность их выполнения при комбинированном способе получения клинкера следующие:



Приготовленный в сырьевой мельнице шлам влажностью 35 - 45% после его корректировки поступает в дисковый или барабанный вакуумфильтр, где он обезвоживается до влажности 16 - 20 %. Образующийся при этом сухарь смешивается затем с пылью, уловленной электрофильтрами из дымовых газов печи; добавка пыли предотвращает слипание "сухаря" и снижает остаточную влажность в нем до 12 – 14 %.

Приготовленная таким образом сырьевая смесь поступает на обжиг, который может осуществляться в печах полусухого способа производства.

Остальные операции производства портландцемента по комбинированному способу не отличаются от соответствующих стадий мокрого способа производства.

**1.7. Технологические факторы, влияющие на качество продукта.**

Как показывают результаты многочисленных экспериментов, самонапряжение и линейные расширение цемента находиться в прямой зависимости от содержания гипса в цементе. Увеличение его количества в цементе обусловливает значительное повышение величины расширения и самонапряжения.

Статическая обработка многочисленных экспериментов с учетом содержания алюминатов кальция, вносимых в ПЦ клинкера, показала уменьшение величины расширения с увеличением соотношения Al 2SO3/SO3 . Увеличение соотношения с 0,8 до 3 сопровождается уменьшением расширения цементного камня от 2 до 0,1 % . Для того чтобы увеличить прочность цементного камня нужно более мелко измельчить сырьевые материалы (в нашем случае мин. добавки и гипсовый камень). Чем больше содержится С3А, тем больше расширение цемента.

**1.8. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения продукта.**

**Гарантии производителя.[5]**

***Правила приемки***

1. Приемку цемента осуществляет служба технического контроля изготовителя. Поставка цемента, не прошедшего приемку, не допускается.

2. Приемку цемента производят партиями. Объем партии, за исключением отгрузки в судах, не должен превышать вместимости одного силоса. При отгрузке цемента в судах объем партии может превышать вместимость одного силоса. В этом случае объем партии устанавливают по согласованию изготовителя с потребителем.

3. Служба технического контроля проводит приемку цемента на основании данных производственного контроля и приемосдаточных испытаний.

4. Результаты испытаний фиксируют в журнале. Журнал приемосдаточных испытаний должен быть пронумерован, прошнурован и опечатан печатью изготовителя. Журнал является официальным документом изготовителя, удостоверяющим качество продукции.

5. Партия цемента может быть принята и поставлена, если результаты испытаний по всем показателям соответствуют требованиям нормативного документа, если иное в части рекомендуемых показателей не предусмотрено договором (контрактом) на поставку цемента.

6. Приемку и поставку партии цемента проводят до окончания испытаний на прочность. Если после завершения испытаний на прочность будет установлен значительный дефект, данная партия цемента считается не соответствующей требованиям нормативного документа по классу прочности (марке).

7. Каждая партия цемента или ее часть, поставляемая в один адрес, должна сопровождаться документом о качестве.

8. Документ о качестве должен быть отмечен знаком контроля изготовителя, подписан руководителем службы технического контроля или его заместителем и выслан потребителю одновременно с цементом или не позднее трех суток, не считая даты отгрузки цемента.

9. По требованию потребителя изготовитель обязан сообщать ему результаты всех приемосдаточных испытаний данной партии цемента.

***Маркировка***

1. Маркировку цемента в мешках производят на каждом мешке в любой его части. При упаковке цемента в мягкие контейнеры маркировку наносят на этикетку, вкладываемую в специальный карман, имеющийся на мягком контейнере. Допускается наносить маркировку несмываемой краской на боковую поверхность мягкого контейнера в любой ее части.

2. При мелкой расфасовке цемента маркировку наносят на этикетку, которую наклеивают на банку или пакет, либо вкладывают между внешними и внутренними слоями пакета, либо маркировку наносят непосредственно на банку или пакет. Вкладывать этикетку в пакет разрешается только в том случае, если наружный слой пакета изготовлен из прозрачного материала.

3. Маркировка должна быть отчетливой и содержать:

- наименование изготовителя и его товарный знак;

- условное обозначение цемента и (или) его полное наименование в соответствии с нормативным документом;

- класс прочности (марку) цемента, если нормативным документом предусмотрено деление по классам прочности (маркам);

- обозначение нормативного документа, по которому поставляют цемент;

- среднюю массу нетто цемента в упаковке или массу нетто цемента в транспортном средстве;

- знак соответствия при поставке сертифицированного цемента (если это предусмотрено системой сертификации).

4. При поставке цемента в мелкой расфасовке каждая упаковка должна иметь краткую инструкцию по его применению, которая может быть воспроизведена на упаковке или прилагаться к ней.

При поставке цветного цемента на упаковку должна быть нанесена полоса соответствующего цвета.

5. При формировании транспортных пакетов из мешков с цементом верхний ряд мешков должен быть уложен так, чтобы была отчетливо видна маркировка на мешках. На мешки верхнего ряда дополнительно наносят транспортную маркировку по ГОСТ 14192.

6. При поставке цемента в мелкой расфасовке, помещенной в укрупненную тару, этикетку наклеивают также и на тару. При этом на этикетке дополнительно указывают число упаковок в таре.

7. Каждое транспортное средство (в том числе при поставке цемента без упаковки) снабжают ярлыком, в котором указывают все сведения и дополнительно номер партии цемента и дату отгрузки. Ярлык прикрепляют к транспортному средству в доступном месте любым способом, обеспечивающим его сохранность при транспортировании.

***Упаковка***

1. Цемент отгружают в упаковке или без нее. При поставке без упаковки цемент должен быть отгружен в специализированном транспорте.

2. Для упаковки цемента применяют:

- бумажные пяти- или шестислойные мешки по ГОСТ 2226, сшитые или склеенные с закрытой горловиной с клапаном марок НМ, БМ или БМП. Могут быть использованы бумажные мешки зарубежного производства, показатели качества которых не ниже требований ГОСТ 2226;

- мягкие контейнеры с водонепроницаемым вкладышем или другая упаковка, надежно защищающая цемент от увлажнения и загрязнения, по соответствующим нормативным документам.

Для мелкой расфасовки применяют полиэтиленовые банки, пакеты, а также другую упаковку, обеспечивающую сохранность цемента, по соответствующим нормативным документам.

3. Предельная масса брутто мешка с цементом не должна быть более 51 кг.

4. Среднюю массу брутто мешка с цементом определяют взвешиванием 20 мешков, выбранных методом случайного отбора из партии, и делением результата на 20.

Среднюю массу мешка определяют взвешиванием 20 мешков, выбранных методом случайного отбора из партии полученных мешков, и делением результата на 20.

Среднюю массу нетто цемента в мешке определяют, вычитая из средней массы брутто мешка с цементом среднюю массу мешка.

Отклонение средней массы нетто цемента в мешках данной партии от массы нетто, указанной на упаковке, не должно быть более  кг.

Отклонение массы нетто цемента в отдельном мешке от указанной на упаковке не должно быть более 1 кг.

5. Массу брутто мягкого контейнера с цементом определяют непосредственно после его заполнения.

Среднюю массу нетто цемента в мягком контейнере определяют, вычитая из массы брутто мягкого контейнера с цементом среднюю массу мягкого контейнера, определенную аналогично средней массе бумажного мешка.

Отклонение средней массы нетто цемента в мягком контейнере от указанной на упаковке не должно быть более (+ ;- ) 3% .

1. Масса нетто цемента в отдельной упаковке при мелкой расфасовке должна быть (3; 5) ±0,05 кг, (10; 20) ±0,3 кг.

***Транспортирование и хранение***

1. Транспортирование

1.1 Цемент транспортируют всеми видами транспорта с соблюдением Правил перевозок грузов, установленных для транспорта данного вида, и требований другой документации, утвержденной в установленном порядке.

1.2 Цемент без упаковки транспортируют в специализированных вагонах-цементовозах, автоцементовозах и судах.

1.3 Цемент в упаковке транспортируют в универсальных транспортных средствах (крытых вагонах, автомобилях и судах) транспортными пакетами, в контейнерах или поштучно (мешками).

1.4 Цемент в мелкой расфасовке транспортируют в крытых вагонах или автомобильным транспортом в специальных емкостях.

1.5 Транспортирование цемента пакетами в термоусадочной пленке железнодорожным транспортом осуществляют в соответствии с Техническими условиями на размещение и крепление пакетов, сформированных из мешков цемента с использованием термоусадочной пленки, в четырехосных полувагонах.

1.6 Транспортные пакеты формируют с применением плоских поддонов по ГОСТ 9078, термоусадочной полиэтиленовой пленки по ГОСТ 25951 или других средств пакетирования по соответствующим нормативным документам.

1.7 Пакеты в термоусадочной пленке должны быть герметичны и плотно обжаты пленкой со всех сторон. Габариты пакета должны быть следующими: длина — 1260—1290 мм, ширина — 1030—1060 мм, высота — 880 — 950 мм. Ширина проема на уступе цокольной части должна быть не менее 100 мм с каждой стороны пакета, высота — не менее 90 мм. Масса пакета нетто — не более 2000 кг.

1.8 Цемент в мягких контейнерах транспортируют железнодорожным транспортом в полувагонах или на платформах; в судах в трюме или на открытой палубе; в бортовых автомобилях.

1.9 Контейнеры, применяемые для транспортирования цемента, должны соответствовать требованиям нормативных документов на них.

1.10 Изготовитель обязан поставлять цемент в исправном и очищенном транспортном средстве.

1.11. При транспортировании цемента без упаковки или в мешках он должен быть защищен от воздействия влаги и загрязнения.

***2. Хранение***

2.1. Цемент должен храниться раздельно по типам (видам) и классам прочности (маркам): в неупакованном виде — в силосах или других закрытых емкостях, а цемент в упаковке — в сухих помещениях.

Смешивание цементов различных типов (видов) и классов прочности (марок), а также загрязнение его посторонними примесями и увлажнение не допускаются.

Не допускается хранить цемент без упаковки в складах амбарного типа.

2.2. При хранении мешки с цементом укладывают вплотную на поддоны в штабели по высоте не более 1,8 м с обеспечением свободного подхода к ним.

2.3. Допускается хранение цемента в мягких контейнерах и пакетах, изготовленных с применением водонепроницаемых материалов, под навесом или на открытых площадках при условии целостности водонепроницаемой упаковки.

Для предотвращения примерзания мягких контейнеров и пакетов их следует укладывать на поддоны в штабели высотой не более трех ярусов.

***Гарантии изготовителя***

Изготовитель гарантирует соответствие цемента всем требованиям настоящего стандарта при соблюдении правил его транспортирования и хранения при поставке в таре в течение 45 сут. После отгрузки для быстротвердеющих и 60 сут., для остальных цементов, а при поставке навалом - на момент получения цемента потребителем, но не более чем 45 сут после отгрузки для быстротвердеющих и 60 сут. для остальных цементов.

1. **Расчетно-проектный раздел**.

**2.1. Расчетная функциональная технологическая схема производства продукта**

|  |
| --- |
| Клинкер ПЦ |

|  |
| --- |
| Доменный шлак |

|  |
| --- |
| Гипсовый камень III сорт |

фр. < 100 мм фр. < 80 мм

фр. 40-60 мм W < 25 % W < 1 %

W < 3,5%

|  |
| --- |
| Бункер с дозатором |

|  |
| --- |
| Бункер с дозатором |

|  |
| --- |
| Бункер с дозатором |

|  |
| --- |
| Сушка |

|  |
| --- |
| Дробление |

|  |
| --- |
| Дробление |

фр. < 100 мм

W< 0%

фр. < 10мм

Дробление

фр. < 10мм W < 1 %

W < 3,5 % фр. < 10 мм W = 0 %

|  |
| --- |
| Бункер с дозатором |

|  |
| --- |
| Бункер с дозатором |

|  |
| --- |
| Бункер с дозатором |

m1 = 8,6 % m2 = 18,28 % m3 = 73,12 %

m = 1,5 – 3,5 % m = 0 – 20 % m = 80 – 100 %

|  |
| --- |
| Помол |

W=0%

|  |
| --- |
| Хранение в силосе |

фр. = 0,08 мм

m∑ = 100 %

|  |
| --- |
| Вагон |

**2.2. Расчет производственных шихт**

Исходя из выбранной технологической схемы, производим расчет производственной программы, то есть, определяем потери материалов при производстве, рассчитываем годовой фонд времени, находим производительность оборудования.

***Материальный баланс на помольную установку:***

Вещественный состав продукта:

|  |  |
| --- | --- |
| Компоненты | По ГОСТ 31108 |
| ЦЕМ II/ А - Ш |
| Клинкер, % | 80 - 94 |
| Мин. Добавка, % | 6 - 20 |
| 100 |
| Гипсовый камень  III сорта, % | 3 – 3,5 |

MM1=172 MM3=80

СаSO4\*2H2O + примеси →CaO + SO3 + 2H2O

80% 20% 3,5%

X = ?

X = (MM1\* SO3)/MM3 = (172\*3,5)/80 = 7,525 %; SO3% = 7,525/0,8 = 9,406%

Определим процентное содержание каждого из компонентов в готовом продукте.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Компонент | Вход | | | Выход | |
| % | % | т/ч | % | т/ч |
| 1. Клинкер | 80 | 73,12 | 37,13 | 73,12 | 36,41 |
| 2. Мин. добавка  ( доменный гранулированный шлак) | 20 | 18,28 | 18,28 |
| 3. Гипсовый камень III сорта | 9,406 | 8,60 | 8,60 |
| ∑ | 109,406 | 100 |  | 100 |  |
| 4. Физическая влага |  | 0,97 |  | 0,97 |  |

W = 73,12\*(1/100)+18,28\*(25/100)+8,60\*(3,5/100) = 5,6> 2% => мин. добавку нужно сушить.

W =73,12 \*(1/100)+ 8,60\*(3,5/100) = 1,03 < 2% => другие компоненты сушить не надо.

**2.3. Расчет производственной программы технологической линии:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование оборудован.  операций | G  т/год | Потери, % | | | Расчет годового фонда времени | | | | | Часовая производительность | | |
| мех. | физ. | хим. | Кисп | n дней  в году | n смен/сутки | n часов/смену | фонд раб. времени | т/ч | ρ | м3/ч |
| Вагон  фр. < 0,08 мм | 300000 |  |  |  | 0,95 | 365 | 3 | 8 | 8322 | 36,05 | 1,2 | 30,04 |
| Силос  фр. < 0,08 мм | 303000 | +1 |  |  | 0,95 | 365 | 3 | 8 | 8322 | 36,41 | 1,2 | 30,34 |
| Помол  фр. < 0,08 мм | 308969,1 | +1 | +0,97 |  | 0,95 | 365 | 3 | 8 | 8322 | 37,13 | 1,1 | 33,75 |
| **Клинкер ПЦ**  **W=1%, m=73,12%**  **фр. < 10 мм** | 225918,21 |  |  |  | 0,95 | 365 | 3 | 8 | 8322 | 27,15 | 1,5 | 18,1 |
| Бункер +  Дозатор  фр. < 10 мм | 225918,21 |  |  |  | 0,95 | 365 | 3 | 8 | 8322 | 27,15 | 1,5 | 18,1 |
| Дробление  фр. < 10 мм | 225918,21 |  |  |  | 0,95 | 365 | 3 | 8 | 8322 | 27,15 | 1,5 | 18,1 |
| Склад сырья  фр. < 80 мм | 228177,39 | +1 |  |  | 0,95 | 365 | 3 | 8 | 8322 | 27,42 | 1,3 | 21,09 |
| **Мин. Добавка**  **W=0%, m=18,28%**  **фр. < 10 мм** | 56479,55 |  |  |  | 0,95 | 365 | 3 | 8 | 8322 | 6,79 | 1,5 | 4,53 |
| Бункер +  Дозатор  фр. < 10 мм | 56479,55 |  |  |  | 0,95 | 365 | 3 | 8 | 8322 | 6,79 | 1,5 | 4,53 |
| Дробление  фр. < 10 мм | 56479,55 |  |  |  | 0,95 | 365 | 3 | 8 | 8322 | 6,79 | 1,5 | 4,53 |
| Сушка  фр. < 100 мм | 71164,23 | +1 | +25 |  | 0,95 | 365 | 3 | 8 | 8322 | 8,55 | 1,3 | 6,58 |
| Склад сырья  фр. < 100 мм | 71875,87 | +1 |  |  | 0,95 | 365 | 3 | 8 | 8322 | 8,64 | 1,3 | 6,65 |
| **Мод. Добавка**  **W=3,5%, m=8,6%**  **фр. < 10 мм** | 26571,34 |  |  |  | 0,95 | 365 | 3 | 8 | 8322 | 3,19 | 1,5 | 2,13 |
| Бункер +  Дозатор  фр. < 10 мм | 26571,34 |  |  |  | 0,95 | 365 | 3 | 8 | 8322 | 3,19 | 1,5 | 2.13 |
| Дробление  фр. < 10 мм | 26571,34 |  |  |  | 0,95 | 365 | 3 | 8 | 8322 | 3,19 | 1,5 | 2,13 |
| Склад сырья  фр. < 60 мм | 26837,05 | +1 |  |  | 0,95 | 365 | 3 | 8 | 8322 | 3,22 | 1,35 | 2,4 |

m1 = 0,7312\*308969,1=225918,21

m2 = 0,1828\*308969,1=56479,55

m3 = 0,086\*308969,1=26571,34

**2.4. Подбор основного механического оборудования [1]**, **[4], [11],[13],[14]**

На основании производственной программы с помощь каталогов на оборудование подберём технологическое оборудование:

**1. Подберем дробилку для доменного шлака (фр. < 100 мм , W < 25%)**

По производственным расчетам производительность дробилки для доменного шлака должна составлять 6,79 т/ч или 4,53 м3/ч.

Таким образом, наиболее оптимальной дробилкой, будет являться следующая дробилка: Конусная дробилка (КСД - 600 Б)

Производительность, т/ч – 32-56

Диаметр основания подвижного конуса, мм - 600

Наибольший размер загружаемого материала, мм - 65

Размер выходной щели, мм 10-25

Частота вращения эксцентрической втулки, об/сек – 8,32

Мощность эл. двигателя, кВт – 40

Габаритные размеры, м:

длина – 1,57

ширина – 1,25

высота – 1,41

Масса (без электрооборудования), т - 3,725.

**2. Подберем дробилку для клинкера ПЦ (фр. < 80 мм , W < 1)**

По производственным расчетам производительность дробилки для клинкера ПЦ должна составлять 27,15 т/ч или 18,1 м3/ч.

Таким образом, наиболее оптимальной дробилкой, будет являться следующая дробилка: Конусная дробилка (КСД – 1200 А)

Производительность, т/ч – 50-135

Диаметр основания подвижного конуса, мм - 1200

Наибольший размер загружаемого материала, мм - 100

Размер выходной щели, мм 8-25

Частота вращения эксцентрической втулки, об/сек – 4,34

Мощность эл. двигателя, кВт – 75

Габаритные размеры, м:

длина – 2,9

ширина – 2,8

высота – 3,44

Масса (без электрооборудования), т – 24,523.

**3. Подберём дробилку для гипсового камня (фр. =40- 60 мм, W < 3,5 %)**

По производственным расчётам производительность должна составлять 3,19 т/ч или 2,13 м3/ч:

Таким образом, наиболее оптимальной дробилкой, будет являться следующая дробилка: Щековая дробилка (С-182Б)

Размеры загрузочного отверстия (длина х ширина), м - 0,25x0,4

Наибольший размер загр. куска, м - 0,21

Ширина загрузочной. щели, м - 0,02-0,08

Эксцентриситет вала, мм – 12,5

Число качаний щели в сек. – 4,58

Производительность при дроблении пород твердости, м3/ч – 3,5-14

Диаметр шкива-маховика, м – 0,92

Мощность электродвигателя, кВт – 22

Габаритные размеры, м:

длина - 1,33

ширина - 1,202

высота - 1,412

Масса без двигателя, т – 2,5.

**4. Подбор сушильной установки для доменного шлака:**

По производственным расчётам производительность сушилки для доменного шлака должна составлять 8,55 т/ч или 6,58 м3/ч

Самым оптимальным варианте будет являться следующая сушильная установка: Сушильный барабан

Наружный диаметр барабана, мм – 3500

Длина барабана, мм – 22000

Частота вращения барабана, об/мин – 2,0-6,0

Потребляемая мощность привода, кВт не более – 200,0

Габаритные размеры, мм не более:

длина – 22000

ширина – 6550

высота – 5900

Производительность по испаренной влаге, кг/ч не менее – 9075

Масса, кг не более - 194120

**5. Подбор мельниц для помола компонентов:**

Подбор мельниц будем вести исходя из выбранного способа производства цемента *(замкнутого типа)* и необходимой производительности мельницы. По расчётным характеристикам производительность мельницы должна быть 37,13 т/ч или 33,75 м3/ч.

Оптимальным оборудованием будет следующая мельница:

Шаровая мельница с центральной разгрузкой (СЦ-5) (МСЦ 21-36)

Размеры барабана, мм

внутренний диаметр - 2700

рабочая длина - 3600

Число оборотов барабана в сек – 0,25

Производительность, т/ч - 70-160

Мощность эл. двигателя в кВт - 380

Габаритные размеры, м:

длина – 10

ширина -6,27

высота - 5,05

Масса, т - 81,2.

2.5. **Расчет удельных энергетических нагрузок и оценка эффективности подобранного механического и теплотехнического оборудования по энергозатратам**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование  оборудования | Марка типа оборудования | Кол-во оборудования (n) | Производительность G, т/ч | | | | Ким | Мощность N, кВт | | | |
| Gпасп. | | Gфак. | | Nпасп. | | Nфак. | |
| ед. | n | ед. | n | ед. | n | ед. | n |
| Конусная дробилка | КСД-600 Б | 1 | 32 | 32 | 6,79 | 6,79 | 0,21 | 40 | 40 | 8,4 | 8,4 |
| Конусная дробилка | КСД–1200 А | 1 | 50 | 50 | 27,15 | 27,15 | 0,54 | 75 | 75 | 40,5 | 40,5 |
| Щековая дробилка | С-182Б | 1 | 8,75 | 8,75 | 3,19 | 3,19 | 0,36 | 22 | 22 | 7,92 | 7,92 |
| Сушильный барабан | СМ 147 | 1 | 9,075 | 9,075 | 8,55 | 8,55 | 0,94 | 200 | 200 | 188 | 188 |
| Шаровая мельница | СЦ-5  (МСЦ 21-36) | 1 | 70 | 70 | 37,13 | 37,13 | 0,53 | 380 | 380 | 201,4 | 201,4 |

Примечание: ; .

**Список используемой литературы:**

1. Бауман В.А., Клушанцев Б.В., Мартынов В.Д. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций М.: Машиностроение, 1981. – 324с.
2. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества: Учеб. для вузов. М.: Стройиздат, 1986. – 464с.
3. ПащенкоА.А., Сербин В.П., Старчевская Е.А. Вяжущие материалы. Киев. Головное

издательство издательского объединения «Вица школа», 1985. – 440с.

1. Справочник по оборудованию заводов строительных материалов, Сапожников М.Я., Дроздов Н.Е., М.: Стройиздат, 1970. – 487с.
2. ГОСТ 30515 -97 Межгосударственный стандарт. Цементы. Общие технические условия. М.: Госстрой РФ, 1998. – 55с.
3. ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. М.: Госстрой РФ, 1989. – 6с.
4. ГОСТ 4013-82 (89) Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 1987. – 9с.
5. ГОСТ 3476-74 Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цементов. М.: Госстрой РФ, 1975. – 4с.
6. ГОСТ 31108-2003 Межгосударственный стандарт. Цементы общестроительные. Технические условия. М.: Госстрой РФ, 2003. – 14с.
7. ГОСТ 25094-94 Межгосударственный стандарт. Добавки активные минеральные. Методы испытаний. М.: Госстрой РФ, 1996. – 17с.
8. ГОСТ 27134-86 Аппараты сушильные с вращающимися барабанами М.: Издательство стандартов, 1998.- 2с.
9. www.dyckerhoff.com.ua
10. www.dromash.ru
11. www.asiaprom.ru
12. www.vashdom.ru