Введение

Цемент не является природным материалом. Его изготовление – процесс дорогостоящий и энергоемкий, однако результат стоит того – на выходе получают один из самых популярных строительных материалов, который используется как самостоятельно, так и в качестве составляющего компонента других строительных материалов (например, бетона и железобетона). Его применяют для производства бетонов, бетонных и железобетонных изделий, строительных растворов, асбестоцементных изделий. Изготовляют цемент на крупных механизированных и автоматизированных заводах.

Во все времена человек для своих нужд занимался строительством, начиная древними постройками и заканчивая современными техническими шедеврами. Для того чтобы здания и другие постройки оставались надежными, необходимо вещество, которое не даст распадаться составляющим частям по отдельности. Цемент – это материал, который служит для связки строительных элементов. Его применение велико в современном мире. Он используется в различных сферах деятельности человека, и от него зависит дальнейшая судьба всех сооружений.

Вяжущие материалы стали использовать еще в древние времена. Сначала это была необожженная глина. Благодаря своей простоте получения и распространенности она применялась повсюду. Но из-за слабой вязкости и устойчивости глина уступила место термически обработанным материалам.

В Египте были получены первые качественные строительные вещества. Это известь и гипс. Они обладали способностью твердеть на воздухе, благодаря чему и получили широкое применение. Эти стройматериалы удовлетворяли требованиям, пока не начало развиваться мореплавание. Стало необходимо новое вещество, которое сопротивлялось бы действию воды.

В XVIII веке был изобретен материал – романцемент. Это продукт, который мог твердеть как в воде, так и на воздухе. Но усиленное развитие промышленности требовало более качественных материалов и вяжущих свойств. В XIX веке было изобретено новое вещество для связывания. Оно получило название

портландцемент. Этот материал используется и по сей день. С развитием человечества к вяжущим веществам предъявляются все новые требования. Для каждой отрасли используется своя марка, обладающая необходимыми свойствами.

Цемент – это основная составляющая строительной отрасли. Главными компонентами в ней являются глина и известняк. Они смешиваются между собой и подвергаются термической обработке. Затем получившаяся масса размалывается до состояния порошка. Серая мелкая смесь – это и есть цемент. Если его смешать с водой, то масса со временем станет, как камень. Главной особенностью является способность твердеть на воздухе и сопротивляться воздействию влаги.

Чтобы строительная масса была необходимого качества, в состав должно входить не менее 25% жидкости. Изменение соотношения в любую сторону приводит к снижению эксплуатационных свойств раствора, а также его качества. Схватывание происходит через 60 минут после добавления воды, а после 12 часов смесь теряет свою эластичность. Все зависит от температуры воздуха. Чем она выше, тем быстрее затвердеет масса.

На данный момент изготавливается много разновидностей вяжущего материала. Каждому присуща своя степень твердости, которая указывается в марке.

К основным видам относятся:

- портландцемент (силикатный). Это основоположник всех видов. Любая марка использует его как фундамент. Отличием является количество и состав добавок, которые придают цементу необходимые свойства. Сам порошок имеет серо–зеленый цвет. При добавлении жидкости он твердеет и прочнеет. Не используется отдельно в строительстве, а идет как основа для создания композиционных материалов;

- пластифицированный состав снижает затраты, обладает способностью убирать подвижность раствора и отлично сопротивляется воздействию холода;

- шлаковый цемент. Это результат дробления клинкера, доменного шлака и добавления активных присадок. Используется в строительстве для приготовления растворов и бетона;

- глиноземистый. Обладает высокой активностью, скоростью схватывания (45 минут) и затвердевания (полное происходит уже через 10 часов). Также отличительным свойством является повышенная сопротивляемость влаге.

- кислотоупорный. Образуется в результате смешивания кварцевого песка и кремнефтористого натрия. Для приготовления раствора добавляется натриевое жидкое стекло. Преимущество такого цемента – устойчивость к воздействию кислот. Недостаток – небольшой срок службы;

- цветной. Образуется при смешивании портландцемента и пигментных веществ. Необычный окрас используется для декоративных работ;

Производство цемента состоит из 4 этапов: добыча сырья и его приготовление, обжиг и получение клинкера, помол до состояния порошка, добавка необходимых примесей.

1 Описательная часть

1.1 Состав, свойства и применение портландцемента

Портландцемент и его разновидности наиболее распространённый в современном строительстве вид цемента. Портландцементом называют гидравлическое вяжущее вещество, получаемое тонким помолом портландцементного клинкера с гипсом, а также со специальными добавками. Получают портландцемент тонким измельчением клинкера с гипсом; допускается введение в смесь активных минеральных добавок. Портландцементный клинкер – продукт обжига до спекания тонкодисперсной однородной сырьевой смеси, состоящей из известняка и глины или некоторых материалов (мергеля, доменного шлака и прочие). Обжиг сырья ведут преимущественно во вращающихся печах при 1450 – 1500°С. При обжиге обеспечивается преимущественное содержание в клинкере высокоосновных силикатов кальция. Свойства портландцемента зависят главным образом от состава клинкера и степени его измельчения. Важнейшее свойство портландцемента – способность твердеть при взаимодействии с водой. Оно характеризуется маркой портландцемента, определяемой по прочности на сжатие и изгиб стандартных образцов цементно-песчаного раствора после 28 суток твердения во влажных условиях. Для регулирования сроков схватывания портландцемента в клинкер при помоле добавляют двуводный гипс в количестве обеспечивающим для содержания SO_3 в цементе. По составу различают: портландцемент без добавок; портландцемент с минеральными добавками; шлакопортландцемент и другие. Кроме обычного портландцемента, выпускаются его разновидности, отличающиеся составом, свойствами и областями применения: быстротвердеющий, пластифицированный, гидрофобный, сульфатостойкий, белый портландцемент – для производства асбестоцементных изделий.

Готовой продукцией производства является цемент общестроительного назначения на основе портландцементного клинкера.

Цемент производится в соответствии с требованиями ГОСТ 31108.

Цемент – порошкообразный строительный вяжущий материал, который обладает гидравлическими свойствами, состоит из клинкера и гипса или его производных и, при необходимости, добавок. При взаимодействии с водой или другими жидкостями цемент образует пластичную массу (цементное тесто), которая, затвердевая, превращается в прочный и долговечный цементный камень.

Цвет цемента – серый, но в зависимости от применяемого сырья, может иметь различные оттенки: от серо – зеленого до серо – бурого.

Истинная плотность цемента 3000 – 3200 кг/м^3. Насыпная плотность цемента 1000 – 1300 кг/м^3.

По вещественному составу цемент подразделяют на следующие виды:

- 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.

При производстве цементов применяют:

- клинкер, по химическому составу соответствующий технологическому регламенту. Массовая доля оксида магния (MgO) в клинкере не должна быть более 5 %;

- гипсовый камень по ГОСТ 4013 или другой действующей документации. Допускается применение фосфогипса, борогипса, фторогипса по соответствующей нормативно-технической документации;

- гранулированные доменные или электротермофосфорные шлаки по ГОСТ 3476 и другие активные минеральные добавки по соответствующей нормативно-технической документации;

- добавки, регулирующие основные свойства цемента, и технологические добавки по соответствующей нормативно–технической документации.

Марка цемента М 400 наиболее распространена в строительстве. Применение специальных добавок при его производстве повышают его водостойкость, морозостойкость, прочность и долговечность. Исходя из соотношения цены – качества, его стоимость можно считать оптимальной. Однако цена у различных производителей может различаться в зависимости от количества и качества добавок. Портландцемент марки М 400 широко применяется для изготовления железобетонных изделий и конструкций.

Раствор с применением цемента марки М 500 быстро застывает, что используется при проведении различных аварийных работ, так как уже с момента застывания проявляются его основные свойства. Используют его также там где к таким показателям, как морозостойкость, влагостойкость и прочность предъявляются особые требования, то есть для изготовления особо ответственных железобетонных конструкций. Его используют для изготовления сборного железобетона, балок и перекрытий. Есть два вида цемента марки М 500:

- портландцемент марки М 500 ДО, не имеющий примесей и добавок; применяется в промышленном строительстве где необходимо обеспечить повышенную морозостойкость, влагостойкость и прочность изделий;

- цемент марки М 500 Д 20 содержит 20% добавок, которые улучшают его антикоррозионные свойства.

Изделия и конструкции, изготовленные с использованием портландцемента, широко используют в надземных, подземных и подводных условиях. Его применяют для изготовления монолитного и сборного бетона и железобетона в жилищном, промышленном, гидротехническом, дорожном строительстве и т. д. На нем изготовляют тяжелые и легкие бетоны, ячеистые бетоны, строительные растворы высоких марок, теплоизоляционные материалы и т. д. Портландцемент

не следует применять для конструкций, подвергающихся воздействию морской, минерализованной и даже пресной воды проточной или под сильным напором.

1.2 Способы производства портландцемента

Существует несколько способов производства портландцемента:

- сухой;
- мокрый;
- полусухой;
- комбинированный.

Выбор способа производства зависит от особенностей приготовления сырьевой смеси. Два основных способа производства портландцемента – мокрый и сухой; они различаются по характеру переработки сырьевых материалов, а так же по физическим свойствам сырьевой смеси, поступающей на обжиг.

Мокрый способ. При производстве портландцемента мокрым способом применяют следующую технологическую схему. Поступающий из карьера твердый известняк с размерами кусков до 1м подвергается двух- или трехстадийному дроблению в дробилках с доведением кусков до 8 – 10мм. Поступающую из карьера глину с размерами кусков до 500мм измельчают в дробилках до кусков размером 0 – 100 мм. Получаемый глиняный шлам с влажностью 60 – 70 % подают в сырьевую мельницу где он размалывается совместно с раздробленным известняком. Полученный шлам, влажность которого находится в пределах 32 – 40%, центробежными насосами транспортируется в шламовые бассейны, где он корректируется. Это необходимо для того, чтобы обеспечить постоянство заданного заводской лабораторией химического состава шлама. Откорректированный шлам поступает в сборные бассейны, где и хранится до подачи в печь для обжига. Обжиг шлама на клинкер осуществляется во вращающихся печах. Полученный клинкер охлаждается в холодильниках, и подается транспортерами в бункеры цементных мельниц для помола.

Складируются гидравлические добавки и гипс, которые по мере надобности подаются в бункеры цементных мельниц для совместного помола с клинкером.

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

Сухой способ. При производстве портландцемента сухим способом применят следующую технологическую схему. Поступающие из карьера известняк и глину с низкой влажностью после дробления направляются в сырьевую сепараторную мельницу для одновременного помола и сушки. Полученная сухая сырьевая смесь транспортируется пневматическими установками к смесительным силосам, в которых перемешиваются сжатым воздухом и корректируются. При использовании пластичного глинистого компонента сырьевая мука из силосов направляется в смесительные шнеки, где увлажняется 8 – 10% воды. Затем эта масса поступает на грануляторы, куда одновременно подается добавочная вода. Здесь происходит образование прочных гранул с влажностью 12 – 14%, поступающих затем в печь на обжиг. При непластичном глинистом компоненте сырьевая мука транспортируется в питательные дозаторы печи непосредственно из смесительных силосов.

Сырьевая смесь может обжигаться в коротких вращающихся печах с запечными установками различных конструкций или в длинных вращающихся печах. При обжиге в автоматических шахтных печах, на спекательных решетках и во вращающихся печах конвеерными кальцинаторами сырьевая смесь должна подаваться только в виде прочных гранул. Дальнейшие этапы технологической схемы такие же как и при получении цемента по мокрому способу.

При мокром способе легче получить однородную (гомогенизированную) сырьевую смесь. Поэтому при значительных колебаниях химического состава известнякового и глинистого компонента он чаще применяется. Этот способ используют и тогда, когда сырьевые материалы имеют высокую влажность, мягкую структуру и легко диспергируются водой. Наличие в глине посторонних примесей, для удаления которых необходимо отмучивание, также предопределяет выбор мокрого способа. Размол сырья в присутствии воды облегчается, и на измельчение расходуется меньше энергии. Недостаток мокрого способа – значительно больший расход топлива.

Сухой способ производства целесообразен при сырье с относительно меньшей влажностью и более однородным составом. Он же практикуется в случае, если в сырьевую смесь вместо глины вводят гранулированный доменный шлак. Его же применяют при использовании натуральных мергелей и тощих сортов каменного угля с малым содержанием летучих, сжигаемых в шахтных печах. Расход топлива при сухом способе во вращающихся печах гораздо меньше, чем при мокром. Поэтому доля сухого способа производства все возрастает и она должна в ближайшее время значительно увеличиться.

При изготовлении сырьевой смеси по любому способу необходимо стремится к наиболее тонкому помолу, теснейшему смещению сырьевых материалов и к возможно большей однородности сырьевой смеси. Все это гарантирует однородность выпускаемого продукта и является одним из необходимых условий нормальной эксплуатации завода. Резкие колебания химического состава сырьевой смеси нарушают ход производственного процесса. Высокая тонкость помола и совершенное смешение необходимы для того, чтобы химическое взаимодействие между отдельными составными частями сырьевой смеси прошло до конца и возможно в более короткий срок.

Комбинированный способ. При комбинированном способе производства портландцемента сырьевая смесь в виде шлама, полученного по мокрому способу, выходит из сырьевой мельницы с влажностью 32 – 45 % транспортируется в

вертикальные шламбассейны, где корректируется до получения требуемого химического состава. После этого шлам обезвоживают (фильтруют) в вакуум– или фильтр–прессах до влажности 16 – 20 %. Полученную сырьевую смесь смешивают с пылью для снижения влажности до 12 –14 %, а затем подвергают грануляции (формованию). Смесь в виде гранул обжигают во вращающихся печах. Дальнейшие операции производства портландцемента осуществляют в той же последовательности, что и при мокром способе производства.

Полусухой способ. 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°С, 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.

1.3 Требования к сырьевой смеси

Шихта – сырьевая смесь сметанообразной консистенции, которую получают в мельницах мокрого размола в результате измельчения мелющими телами твердых сырьевых компонентов с добавлением необходимого количества воды и используют далее для производства клинкера. Плотность шихты. в среднем, 1700 кг/м^3.

Влажность шлама. Для оптимального процесса обжига портландцементного клинкера влажность шлама должна составлять 34% – 38%. Повышение влажности шлама ведет к перерасходу топлива, так как на подогрев и испарение влаги используется до 40% от общего потребления топлива. Пониженная влажность шлама затрудняет процесс обжига, процесс перемешивания и гомогенизации сырьевой смеси, что в свою очередь ведет перерасходу электроэнергии.

Тонкость помола сырьевых компонентов. Для нормального протекания химических реакций во время обжига портландцементного клинкера сырьевые компоненты должны измельчатся до определенной величины.

Таблица 1.1 - Тонкость помола сырьевых компонентов

Характеристика	Условные обозначения	Номинальное значение	Границы допуска
Остаток на сите 008	R 008	11,5	11,5–13,5

Излишне тонкий помол ведет к перерасходу электроэнергии, повышенному износу оборудования, а также увеличению времени помола. Грубый помол сырьевых компонентов затрудняет процесс обжига и увеличивает расход топлива.

Физические основы приготовления сырьевой смеси. Основная задача комплекса клинкерного производства – это получение из сырьевых материалов клинкера заданного минералогического состава. Для этого необходимо, чтобы окислы сырьевых материалов – глины и известняка – наиболее полно прореагировали между собой и образовали клинкерные минералы. Качество и скорость этого процесса зависят от степени измельчения (дисперсности) исходных веществ в сырьевой смеси и ее однородности (гомогенности). Измельчают и перемешивают тонкоизмельченные материалы или в присутствии воды. При мокром способе подготовка и смешивание сырьевых материалов осуществляются в присутствии воды.

1. 4 Теоретические основы процесса производства портландцемента

Портландцемент занимает первое место среди всех вяжущих веществ по масштабам производства и потребления. Портландцемент изготовляется из сравнительно доступного и дешевого сырья; изделия из него обладают высокой механической механической прочностью, полной воздухоустойчивостью, высокой морозостойкостью, быстро твердеют как на воздухе, так и под водой. Портландцемент представляет собой смеси минералов – трехкальцевого силиката $3CaO \cdot SiO_2$, двухкальциевого силиката $2CaO \cdot SiO_2$, трехкальциевого алюмината $3CaO \cdot Al_2O_3$, трехкальциевого алюмоферрита $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$, свободных окисей CaO и магния MgO.

Технологическая схема и оборудование производства портландцемента являются типичными для технологии большинства вяжущих материалов. Портландцемент получают обжигом до спекания (максимальная температура обжига1400 – 1500°С) точно дозированной смеси глины и карбоната кальция с последующим тонким измельчением полученной спекшейся массы, называемой клинкером. Соотношение основных минералов, составляющих портландцементный клинкер, колеблется в следующих пределах (вес. %): $3CaO \cdot SiO_2$ 42 – 60; $2CaO \cdot SiO_2$ 15 – 35; $3CaO \cdot Al_2O_3$ 5 – 14; $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ 10 –16.

В заводской практике при расчете шихты исходят из заданных процентных соотношений главнейших окислов в клинкере. Эти соотношения называются модулями – силикатным модулем *n* и глиноземным модулем *p*:

$$n = \frac{\%SiO_2}{\%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3}, \quad (1.1)$$

$$p = \frac{\%Al_2O_3}{\%Fe_2O_3}, \quad (1.2)$$

$$KH = \frac{(CaO_{общ} - CaO_{своб}) - (1{,}65Al_2O_3 + 0{,}35Fe_2O_3 + 0{,}7SO_3)}{2{,}8(SiO_{2щ=общ} - SiO_{2своб}}. \quad (1.3)$$

Главной характеристикой минералогического состава клинкера портландцемента служит коэффициент насыщения КН кремнезема известью, выражающий отношение количества извести, оставшийся в клинкере после образования $2CaO \cdot SiO_2$, $3CaO \cdot Al_2O_3$ и $CaSO_4$, к количеству извести, необходимому для связывания кремнезема в виде $3CaO \cdot SiO_2$. Пользуясь заданными модулями и КН, также данными химического анализа сырьевых материалов–известняка и глины, рассчитывают их весовое соотношение в шихте. Для портландцемента коэффициент насыщения состовляет 0,8 – 0,95. Чем меньше КН, тем больше содержание в клинкере $2CaO \cdot SiO_2$ тем ниже активность цемента.

Производство портландцемента складывается из двух самостоятельных процессов: а) производство полуфабриката – клинкера, включающее подготовку сырьевой смеси и ее обжиг, и б) помол клинкера с добавками, складирование и упаковка портландцемента. Существует два способа подготовки сырьевой смеси – мокрый и сухой; в соответствии с этим различают мокрый и сухой способы производства портландцемента. Мокрый способ отличается подготовкой сырых

материалов в присутствии воды, а по сухому способу материалы размалывают и перемешивают в сухом виде.

1.5 Факторы, влияющие на процесс клинкерообразования

Химический состав сырьевой смеси оказывает существенное влияние на скорость реакций, протекающих при обжиге портландцементного клинкера, и, следовательно, определяет длительность процесса клинкерообразования в целом.

Увеличение содержания в сырьевой смеси CaO, т. е. повышение значения приводит к повышению содержания в клинкере алита требует большей продолжительности или повышенной температуры обжига для получения продукта, не содержащего свободной CaO. Существует почти прямолинейная зависимость между КН и содержанием в клинкере свободной извести: с увеличением КН количество свободной извести возрастает.

Повышение содержания в сырьевой смеси SiO_2, т. е. повышения значения силикатного модуля, сопровождается возрастанием в клинкере количества минералов–силикатов (C_3S + C_2S) и уменьшением минералов–плавней (C_3A+ C_4AF), что также затрудняет спекание сырьевой смеси. Это вызвано тем, что C_3A и C_4AF при высоких температурах плавятся и от их содержания в смеси зависит количество образующегося расплава. Увеличение же количества расплава в спекающемся материале расширяет сферу реакции образования C_3S, чем и объясняется лучшая спекаемость сырьевых смесей с низкими значениями.

Однако чрезвычайно большое количество расплава приводит к образованию комьев и сваров, внутри которых материал не успевает прореагировать, в результате чего получается клинкер с высоким содержанием свободной CaO. Оптимальное количество расплава в обжигаемой портландцементной сырьевой смеси составляет 25 – 30%, при этом содержание минералов плавней рекомендуется изменять в пределах от 20 до 25%, а силикатный модуль *n* от 1,5 до 2,5.

При значениях глиноземистого модуля *p* до 1,4 – 1,8 CaO усваивается в смесях достаточно интенсивно. Дальнейшее увеличение этого модуля *n* затрудняет спекание за счет повышения вязкости клинкерного расплава и способствует появлению в клинкере свободной CaO. Так влияет глиноземистый модуль *p* на спекание смесей с различными значениями КН. Пониженное значение p благоприятно влияет на спекаемость сырьевых смесей с высоким силикатным модулем *n*, так как в этом случае образуется менее вязкий расплав, чем расплав с высоким содержанием Al_2O_3.

Тонкость измельчения сырьевой смеси – один из важнейших факторов, влияющих на скорость усвоения CaO при обжиге клинкера. При грубом помоле компонентов некоторая часть больших по размерам зерен не успевает полностью прореагировать в процессе обжига и остается в клинкере в свободном состоянии, что приводит к изменению минералогического состава клинкера и обычно ухудшает свойства полученного из него цемента.

Особое внимание необходимо уделять тонкости измельчения кварца, входящего в состав сырьевых материалов, и известняка, так как именно эти компоненты составляют основу грубых фракций сырьевых смесей. Остальные глинистые минералы являются высокодисперсными по своей природе и при размачивании распадаются на тонкодисперсные частички.

Известняк рекомендуется размалывать до размера частиц менее 100 мкм и получать смеси с различным зерновым составом, что способствует улучшению их спекаемости. Домалывание крупных фракций и получение смесей широкой гранулометрии достигается путем применения замкнутого цикла помола.

При обжиге смесей, приготовленных на основе глин, содержащих крупнокристаллический кварц или песок, повышенное количество расплава в значительной мере улучшает спекаемость, поэтому в таких смесях рекомендуется планировать повышенное содержание минералов – плавней, т. е. работать с возможно более низким силикатным модулем *n*.

Повышение температуры обжига способствует более интенсивному протеканию всех физико-химических превращений. Эта закономерность

распространяется и на процесс обжига портландцементного клинкера: при максимальной температуре материала в печи 1450°С время жидкофазного спекания, т. е. продолжительность образования трехкальциевого силиката в зоне спекания вращающихся печей, составляет 25 – 30 мин и при повышении температуры необходимая длительность этого процесса существенно уменьшается. При температуре 1600°С реакция образования завершается за 5 – 10 мин, а при температурах 1900°С – даже за доли секунды. Однако значительное повышение температуры обжига во вращающихся печах сдерживается пока отсутствием требуемого качества огнеупоров для футеровки зоны спекания.

Рекомендуется увеличивать температуру обжига до 1480 – 1500°С сырьевых смесей с повышенными значениями КН и силикатного модуля *n*, а также смесей, содержащих грубодисперсные частицы. При высоком содержании минералов–плавней в смеси (низкое значение *n*) следует даже несколько снижать температуру обжига, чтобы предотвратить образование в обжигаемом материале большого количества расплава и, следовательно, сваров и комьев в печи.

1.6 Марки цемента и ГОСТы на готовую продукцию

1) цемент должен изготовляться в соответствии с требованиями ГОСТ по технологическим регламентам, утвержденным в установленном порядке.

2) по вещественному составу цемент подразделяют на следующие типы:

- портладцемент (без минеральных добавок);

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

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

3) 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.

4) условное обозначение цемента должно состоять из:

- наименования типа цемента – портландцемент, шлакопортландцемент. Допускается применять сокращенное обозначение наименования – соответственно ПЦ и ШПЦ;

- марки цемента – по п. 3;

- обозначения максимального содержания добавок в портландцементе по п. 6: Д0, Д5, Д20;

- обозначения быстротвердеющего цемента – Б;

- обозначения пластификации и гидрофобизации цемента – ПЛ, ГФ;

- обозначения цемента, полученного на основе клинкера нормированного состава – Н;

- обозначения настоящего стандарта.

Пример условного обозначения портландцемента марки 400, с добавками до 20%, быстротвердеющего, пластифицированного: Портладцемент 400-Д20-Б-ПЛ ГОСТ 10178-85.

Допускается обозначение (за исключением случаев поставки цемента на экспорт): ПЦ 400-Д20-Б-ПЛ Гост 10178-85.

5) при производстве цементов применяют:

- клинкер, по химическому составу соответствующий технологическому регламенту. Массовая доля оксида магния в клинкере не должна быть более 5%;

- гипсовый камень по ГОСТ-4013. Допускается применение фосфогипса, фторогипса по соответствующей нормативно-технической документации;

- гранулированные доменные или электротермофосфорные шлаки по ГОСТ-3476 и другие активные минеральные добавки по соответствующей нормативно-технической документации;

- добавки, регулирующие основные свойства цемента, и технологические добавки по соответствующей нормативно-технической документации.

6) массовая доля в цементах активных минеральных добавок должна соответствовать значениям, указанным в таблице 2;

Допускается замена части минеральных добавок в цементах всех типов добавками, ускоряющими твердение или повышающими прочность цемента и не ухудшающими его строительно-технические свойства (кренты, сульфоалюминатные и сульфоферритные продукты, обожженные алуниты и каолины). Суммарная массовая доля этих добавок не должна быть более 5% массы цемента.

7) цемент должен показывать равномерность изменения объема при испытании образцов кипячением в воде, а при содержании MgO в клинкере более 5% – в автоклаве.

Таблица 1.2 - Массовая доля активных минеральных добавок

Обозначение цемента	Активная минеральная добавка, % по массе			
	Всего	В том числе		
		Доменные гранулированные и электротермофосфорные шлаки	Осадочного происхождения, кроме глиежа	Прочие активные, включая глиеж
ПЦ-Д0	Не допускается			
ПЦ-Д5	До 5	До 5	До 5	До 5
ПЦ-Д20, ПЦ-Д20-Б	Св. 5 до 20	До 20	До 10	До 20
ШПЦ, ШПЦБ	Св. 20 До 80	Св. 20 до 80	До 10	До 10

8) тонкость помола цемента должна быть такой, чтобы при просеивании пробы цемента сквозь сито с сеткой N 008 по ГОСТ-6613 проходило не менее 85% массы просеиваемой пробы;

9) массовая доля ангидрида серной кислоты SO_3 в цементе должна соответствовать требованиям таблицы 3;

10) допускается введение в цемент при его помоле специальных пластифицирующих или гидрофобизирующих поверностно-активных добавок в количестве не более 0,3% массы цемента в пересчете на сухое вещество добавки.

Пластифицированный или гидрофобный цемент должен поставляться по согласованию изготовителя с потребителем.

Таблица 1.3 - Предел прочности цемента

Обозначение цемента	Гарантированная Марка	Предел прочности, МПа (кгс/см)			
		При изгибе в возрасте, сутки		При сжатии в возрасте, сутки	
		3	28	3	28
ПЦ-Д0, ПЦ-Д5, ПЦ-Д20, ШПЦ	300	–	4,4 (45)	–	29,4 (300)
	400		5,4 (55)		39,2 (400)
	500		5,9 (60)		49,0 (500)
	550		6,1 (62)		53,9 (550)
	600		6,1 (62)		58,8 (600)
ПЦ-Д20-Б	400	3,9 (40)	5,4 (55)	24,5 (250)	39,2 (400)
	500	4,4 (45)	5,9 (60)	27,5 (280)	49,0 (500)

Продолжение таблицы 1.3 - Предел прочности

Обозначение цемента	Гарантированная Марка	Предел прочности, МПа (кгс/см)			
		При изгибе в возрасте, сутки		При сжатии в возрасте, сутки	
		3	28	3	28
ШПЦ-Б	400	3,4 (35)	5,4 (55)	21,5 (220)	39,2 (400)

Пластифицированный или гидрофобный цемент не должен поставляться потребителям, использующим суперпластификаторы при приготовлении бетонных смесей.

Таблица 1.4 - Массовая доля ангидрида серной кислоты

Обозначение цемента	SO_3, % по массе	
	Не менее	Не более
ПЦ 400-Д0, ПЦ 500-Д0, ПЦ 300-Д5, ПЦ 400-Д5, ПЦ 500-Д5, ПЦ 300-Д20, ПЦ 400-Д20, ПЦ 500-Д20	1,0	3,5
ПЦ 550-Д0, ПЦ 600-Д0, ПЦ 550-Д5, ПЦ 600-Д5, ПЦ 550-Д20, ПЦ 600-Д20, ПЦ 400-Д20-Б, ПЦ 500-Д20-Б	1,5	4,0
ШПЦ 300, ШПЦ 400, ШПЦ 500, ШПЦ 400-Б	1,0	4,0

Подвижность цементно-песчаного раствора состава 1:3 из пластифицированных цементов всех типов должна быть такой, чтобы при водоцементном отношении, равном 0,4, расплыв стандартного конуса был не менее 135мм.

Гидрофобный цемент не должен впитывать в себя воду в течение 5 минут от момента нанесения капли воды на поверхность цемента;

11) при производстве цемента для интенсификации процесса помола допускается введение технологических добавок, не ухудшающих качества цемента, в количестве не более 1%.

Эффективность применения технологических добавок, а также отсутствие отрицательного влияния их на свойства бетона должны быть подтверждены результатами испытаний цемента и бетона.;

12) для бетона дорожных и аэродромных покрытий, железобетонных напорных и безнапорных труб, железобетонных шпал, мостовых конструкций, стоек опор высоковольтных линий электропередач, контактной сети железнодорожного транспорта и освещения должен поставляться цемент, изготовляемый на основе клинкера нормированного состава с содержание трехкальциевого алюмината (C_3A) в количестве не более 8% по массе.

Для этих изделий по согласованию с потребителем должен поставляться цемент одного из следующих типов:

- ПЦ 400-д)-Н,ПЦ 500-Д0-Н – для всех изделий;

- ПЦ 500-Д5-Н – для труб, шпал, опор, мостовых конструкций, независимо от вида добавки (для напорных труб должен поставляться цемент I и II группы по эффективности пропаривания согласно приложению А;

- ПЦ 400-Д20-Н, ПЦ 500-Д20-Н – для бетона дорожных и аэродомных покрытий при применении в качестве добавки гранулированного шлака в количестве не более 15%.

Начало схватывания портландцемента для бетона дорожных и аэродромных покрытий должно наступать не ранее 2ч, портландцемента для труб – не ранее 2 ч 15 минут от начала затворения цемента. По согласованию изготовителя с потребителем допускается иные сроки схватывания.

Удельная поверхность портландцемента с добавкой шлака для бетона дорожных и аэродромных покрытий должна быть не менее 280 м/ кг;

13) массовая доля щелочных оксидов (Na_2O и K_2O) в пересчете на Na_2O (Na_2O + 0,658) в цементах, предназначенных для изготовления массивных

бетонных и железобетонных сооружений с использованием реакционно-способного заполнителя, устанавливается по согласованию с потребителем;

14) массовая доля щелочных оксидов в цементах, изготовляемых с использованием белитового (нефелинового) шлама, в пересчете на Na_2O не должна быть более 1,20%;

16) изготовитель должен испытывать цемент на наличие признаков ложного схватывания по мере отгрузки, но не менее чем 20% отгруженных партий;

Вывод

В описательной части была изучена характеристика портландцемента: состав свойства и применение, а также способы его производства. Из всех изученных способов, самым распространенным является мокрый способ производства портландцемента. Портландцемент получают обжигом до спекания точно дозированной смеси глины и карбоната кальция с последующим тонким измельчением полученной спекшейся массы, называемой клинкером. Химический состав сырьевой смеси оказывает существенное влияние на скорость реакций, протекающих при обжиге портландцементного клинкера, и, следовательно, определяет длительность процесса клинкерообразования в целом. Также в описательной части рассмотрены существующие марки цементов и ГОСТы, предъявляемые к ним.

2 Расчетно-технологическая часть

2.1 Аппаратурно-технологическая схема получения портландцемента и ее описание

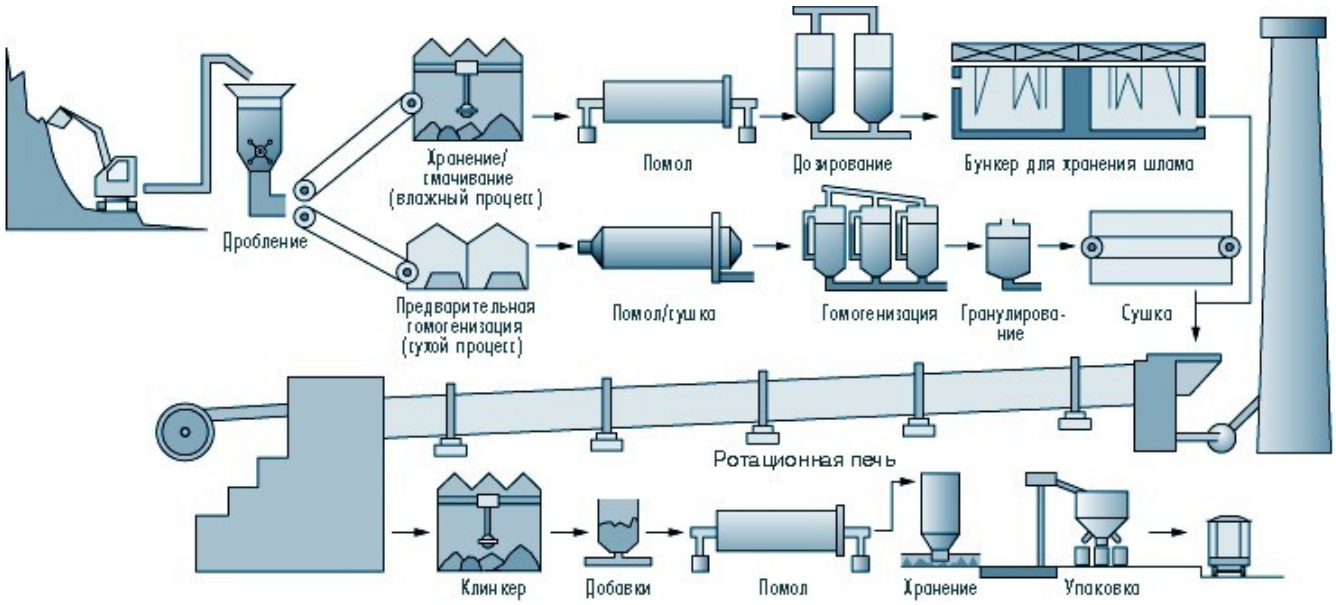


Рисунок 1- Схема технологического процесса

Процесс производства портландцемента осуществляется в три стадии:

- измельчение сырьевых компонентов с получением сырьевой смеси (шихты);

- обжиг шихты с получением клинкера;

- размол клинкера совместно с гипсом с получением цемента.

Измельчение сырьевых компонентов с получением сырьевой смеси (шихты). Сырьевые компоненты (известняк, шлам отвальный известковый, боксит, карбонат кальция) завозятся в сырьевой склад железнодорожным или автомобильным транспортом. Разгрузка производится на специально выделенных участках склада. Допускается смешение сырьевых компонентов непосредственно в складе перед подачей на решетки приемных бункеров для обеспечения их лучшей

транспортировки по технологической схеме. На складе находятся три мостовых грейферных крана грузоподъемностью по 10 тонн каждый.

Согласно выполненному расчету, грейферами производится подача сырьевых компонентов на решетки приемных бункеров, откуда пластинчатым транспортером, сырье подается на дробление в роторную дробилку. В цехе две роторные дробилки производительностью до 125 т/час каждая. Дробилки работают автономно.

Раздробленный материал ленточным транспортером и реверсивным транспортером загружается в бункера мельниц. Равномерная подача сырья в мельницы обеспечивается тарельчатыми питателями, установленными под бункерами мельниц.

Размол сырья осуществляется в трех двухкамерных трубных мельницах МС 2.2х13м, которые могут работать одновременно или раздельно.

Измельчение сырья происходит в результате ударного действия мелющих тел на куски материала, а также за счет перекатывания, скольжения мелющих тел относительно друг друга и корпуса мельницы. В процессе измельчения по мере продвижения материала вдоль корпуса мельницы эффективность процесса измельчения частиц за счет удара мелющими телами снижается, при этом возрастает роль истирания. Поэтому в качестве мелющих тел в первых камерах мельниц используются шары стальные диаметром от 60 до 90мм, а во вторых камерах – цильпебсы, у которых истирающая поверхность выше в несколько раз, чем у шаров. Мельницы внутри футерованы бронеплитами. Камеры разделены межкамерной перегородкой, препятствующей перемешиванию мелющих тел из разных камер. Вдоль барабана мельницы материал продвигается в результате непрерывного подпора со стороны загрузки, производимого новыми порциями поступающего в мельницу материала.

Для достижения достаточной степени измельчения сырья должна быть соблюдена определенная степень загрузки камер мелющими телами. Степень заполнения мельницы мелющими телами характеризуется коэффициентом заполнения, представляющим собой отношение суммарного объема мелющих тел

при свободной укладке к рабочему объему мельницы. Оптимальный коэффициент заполнения мельницы стальными шарами (⊘ –70 – 80мм) составляет 31 – 33%, цильпебсами – 31 – 33%. Загрузка выше допустимого уровня может привести к превышению номинального тока на электродвигатели, а уменьшение загрузки ниже оптимальной приводит к ухудшению качества размола. Поэтому в отделении подготовки сырья ежегодно разрабатывается график загрузки мельниц мелющими телами, в соответствии с которым должна производиться периодическая дозагрузка мельниц через каждые 200 часов работы с учетом количества материала, измельченного после предыдущей дозагрузки мельницы, и установленного удельного расхода мелющих тел на тонну клинкера. Накопление в мельницах очень мелких шаров и цильпебсов и различной случайно попавшей металлической мелочи вызывает снижение производительности и увеличение удельного расхода энергии. Поэтому периодически, через 1800 – 2000 часов работы мельниц или во время их капремонта, следует производить полную перезагрузку мельниц с отбраковкой негодных к использованию мелющих тел.

Одновременно с сырьевыми компонентами в мельницы подается вода из системы оборотного водоснабжения в количестве, обеспечивающем влажность шихты в пределах 32,0 ± 1,0 %. Допускается содержание в воде осадка из радиальных отстойников. Для улучшения размола сырья (увеличения растекаемости шихты) в мельницы из бака с перемешивающим устройством по отдельному трубопроводу подается раствор лигносульфоната технического в количестве, обеспечивающем растекаемость (текучесть) шихты не ниже 72мм. (В среднем дозируется около 3кг раствора лигносульфоната на 1 $м^3$ шихты).

От мельниц сырьевая шихта по технологическому каналу поступает в бак с перемешивающим устройством объемом 6$м^3$, а затем – насосом ПБ –160/40 перекачивается в один из коррекционных бассейнов.

От степени измельчения сырьевых компонентов зависит дальнейшая реакционная способность шихты и, соответственно, качество получаемого клинкера.

Степень измельчения (тонкость помола) сырьевой смеси характеризуется остатком на сите № 008 (размер ячейки 0,08 мм) в процентах по массе. Этот показатель должен составлять не более 8 %.

В процессе замола сырьевых компонентов в какой-либо коррекционный бассейн, через каждые 2 часа производится отбор проб сырьевой смеси из технологического канала, и в пробе определяют: остаток на сите 008, влажность, удельный вес и текучесть. По результатам анализа обслуживающий персонал корректирует объем загружаемого в мельницы материала, количество воды и лигносульфоната натрия, поступающих в мельницы.

В цехе установлено восемь бассейнов объемом по 460м^3 каждый из них: семь коррекционных бассейнов, а один бассейн используется для возврата излишков шихты из ковшевых дозаторов печей обжига. Для обеспечения хорошего перемешивания шихты заполненный объем каждого коррекционного бассейна не должен превышать 350м^3. Сборный бассейн объемом 1000м^3 (поз.13) служит для сбора и хранения откорректированной шихты и последующей её транспортировки на печи обжига. Для обеспечения стабильной работы печей обжига в сборном бассейне должен находиться определенный объем шихты. При снижении в сборном бассейне объема шихты до уровня, который зависит от количества работающих печей, должна производиться подкачка сырьевой смеси из коррекционного бассейна.

Во всех бассейнах перемешивание шихты осуществляется сжатым воздухом, подведенным по трубопроводу. Во избежание забивки трубопровода – на его конце устанавливается резиновый клапан (ниппель).

После заполнения коррекционного бассейна и перемешивания шихты в течение не менее одного часа – из бассейна отбирается проба, которая анализируется согласно схеме контроля на содержание: влаги, ППП, SiO_2, CaO, Fe_2O_3, MgO, Al_2O_3, Na_2O, K_2O, P_2O_5, SO_3; в пробе производится определение: остатка на сите № 008, объемного веса и текучести.

Коммуникации трубопроводов и насосы под коррекционными бассейнами позволяют перекачивать сырьевую смесь из каждого бассейна в любой другой.

При корректировке сырьевой смеси добиваются определенного соотношения в ней четырех основных окислов: SiO_2, CaO, Fe_2O_3, Al_2O_3.

Корректировка шихты производится в одном из коррекционных бассейнов по результатам химического анализа путем смешения и усреднения расчетных объемов сырьевой смеси из разных бассейнов.

Сырьевая шихта, полностью отвечающая нормам технологического режима перекачивается в сборный бассейн (или в коррекционный бассейн, специально выделенный для подачи шихты на печи обжига).

Контроль качества сырьевой смеси, поступающей в печи обжига, осуществляется периодическим отбором пробы шихты из ковшового дозатора после каждой произведенной подкачки в сборный бассейн, но не менее 1 раза в смену, если подкачек не производилось.

Во время периодической чистки сборного бассейна от накопившихся осадков, подача откорректированного шлама на печи может производиться из специально выделенного коррекционного бассейна.

Обжиг шихты с получением клинкера. Обжиг сырьевой шихты и получение клинкера – наиболее важная стадия процесса производства цемента. Тонкоизмельченную и тщательно перемешанную сырьевую смесь соответствующего химического состава обжигают при температуре 1400 – 1500°С в печах обжига. Образующийся в результате обжига спекшийся камнеподобный продукт (клинкер) характеризуется сложным минералогическим составом и сложной микрокристаллической структурой. Качество клинкера и свойства цемента зависят от физических свойств и химического состава обжигаемой сырьевой смеси, вида и качества топлива, температуры и продолжительности обжига, а также от скорости охлаждения клинкера.

Обжиг сырьевой шихты осуществляется в трех барабанных вращающихся печах. Стальной корпус печи внутри футерован огнеупорными материалами. Размеры печей №№ 1 и 2: ⊘ 3,6х3,0х3,6х127,5 м; размеры печи №3: ⊘ 3,6х120,4 м. Проектная производительность каждой печи – 20 т/час клинкера.

В качестве топлива для обжига используется природный газ, который поступает от газо-распределительного устройства (ГРУ) по трубопроводу через гибкий переходник в корпус газовой горелки и, проходя через горелку, сгорает в печи. Газовый факел регулируется в печи с помощью изменения струи газа дросселирующим и завихряющим аппаратами горелки, положением горелки в печи. Смешение газа с воздухом происходит вне горелки. Для поддержания реакции горения топлива и регулировки формы факела используется первичный воздух, подаваемый вентиляторами ВВД – 12,5. Горелка имеет крепеж, позволяющий оперативно передвигать ее в горизонтальном положении вдоль оси печи, а также изменять положение в сечении печи вверх-вниз и вправо-влево.

Процессом горения топлива управляют с помощью измерительных приборов**.** По газоанализатору контролируют полноту сгорания топлива, при необходимости изменяют соотношение газа и воздуха. Процесс должен проводиться в окислительной среде. Содержание в отходящих газах углекислого газа (CO_2) должно находиться в пределах от 17 до 25%, содержание кислорода – от 1,0 до 2,0%. Отходящие газы после печи проходят через систему очистки от пыли в электрофильтре.

Печь установлена с уклоном 3,5° на роликовые опоры; частота вращения составляет 1,2 – 1,8 оборота в минуту. Частоту вращения печи №3 можно изменять.

Поступившая из сборного бассейна в ковшовый дозатор сырьевая шихта через шламовую трубу самотеком направляется в верхнюю загрузочную часть («холодный» конец) печи. Ковшовый дозатор оборудован электродвигателем постоянного тока, число оборотов которого регулируется с пульта управления и регистрируется счетчиком. Ковши вращаются в резервуаре с постоянным уровнем шихты, поддерживаемым сливной трубой. Периодический контроль питания печи шихтой производится путем определения времени наполнения измерительного бачка известной емкости, установленного рядом с питателем.

В результате вращения барабана, обжигаемый материал перемещается к нижней разгрузочной части («горячему» концу) печи. Топливо подается в барабан

и сгорает со стороны «горячего» конца печи. Образующиеся при этом раскаленные дымовые газы продвигаются навстречу обжигаемому материалу и нагревают его до 1400 – 1450°С, а сами охлаждаются. В печи обжига имеется цепная завеса, служащая теплообменником. Обожженный материал в виде клинкера выходит из барабана с температурой от 1000 до 1100°С и поступает в рекуператорные холодильники, где охлаждается движущимся навстречу ему холодным воздухом до температуры 180 – 280°С. Рекуператорный холодильник состоит из 11 сварных металлических цилиндров, закрепленных по наружной поверхности горячего конца печи. Рекуператоры соединены с внутренней полостью печи течками. Поступающий через эти течки в рекуператоры клинкер выходит из них через открытые торцы. Рекуператоры внутри имеют подъемные устройства в виде пересыпных полок, с помощью которых материал, находящийся внутри холодильника, перемешивается, пересыпается, тем самым улучшается теплообмен, увеличивается время нахождения клинкера в холодильнике, и достигается более глубокое охлаждение материала.

В шихте при нагревании происходят физико-механические процессы: удаление влаги, декарбонизация известняка, химические реакции, как в твердом, так и в жидком состоянии, а также спекание.

Условно различают шесть температурных зон в печи обжига. Между зонами нет строгих границ, так как трудно установить температуру газа, материала и поверхности футеровки в отдельных зонах; протекающие реакции также частично перекрываются или идут параллельно.

По характеру процессов температурные зоны в печи называют:

I – зона испарения (сушка шихты) – температура до 200°С;

II – зона подогрева – температура в диапазоне 200 – 800°С;

III – зона декарбонизации (кальцинирования) – температура в диапазоне 800 – 1000°С;

IV – зона экзотермических реакций – температура в диапазоне 1000–1300°С;

V – зона спекания – температура в диапазоне 1300 – 1450°С;

VI – зона охлаждения – температура в диапазоне 1300 – 1000°С.

При нагревании шихта сначала несколько разжижается и становится более подвижной, затем вязкость увеличивается и происходит ее комкование, при дальнейшем нагревании комья распадаются на значительно более мелкие гранулы.

В зоне испарения I, находящейся в «холодной» части печи, поступающая сырьевая смесь подвергается действию нагретых до высокой температуры отходящих дымовых газов. В результате шихта нагревается, и из нее испаряется влага. Температура отходящих дымовых газов при этом снижается примерно с 800 – 1000 до 180 – 300°С.

Для утилизации теплоты отходящих газов и повышения степени теплообмена между материалом и горячими газами в зоне сушки размещено теплообменное устройство – цепная завеса, состоящая из цепей, подвешенных определенным способом.

Цепная завеса не только выполняет функцию теплообменника, значительно увеличивая поверхность теплопередачи в зоне сушки, но и оказывает влияние на образование и улавливание пыли.

В зоне подогрева II, высушенный материал, продвигаясь вдоль печи, подвергается воздействию более горячих газов и нагревается приблизительно до 600°С. В этой зоне наряду с подогревом, выгорают органические примеси, и теряется вода, содержащаяся в минералах глинистого компонента. Потеря химически связанной воды (дегидратация) приводит к тому, что глинистый компонент теряет связующие свойства. При этом происходит частичное или полное разложение глинистых минералов на свободные оксиды: SiO_2 и Al_2O_3 , а также декарбонизация углекислого магния.

$$MgCO_3 \rightarrow MgO + CO_2.$$

В зоне декарбонизации III протекает процесс разложения карбоната кальция. Декарбонизация $CaCO_3$ требует значительных затрат теплоты, поэтому

подводимая теплота расходуется на протекание реакции, а не на нагревание материала, что и обуславливает медленный рост температуры сырьевой смеси в этой зоне.

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2.$$

Одновременно с диссоциацией карбонатов идут твердофазные реакции между основным оксидом CaO и кислотными оксидами SiO_2, Fe_2O_3, Al_2O_3.

В зоне экзотермических реакций IV, взаимодействие между основным и кислотными оксидами продвигающегося материала протекает с большой скоростью вследствие более высокой температуры. Эти твердофазовые реакции осуществляются с выделением теплоты (экзотермические реакции). При температуре 1200°С и выше – происходит насыщение образовавшихся ранее низкоосновных соединений до соответствующих клинкерных минералов. Все клинкерные минералы, кроме алита, образуются в результате твердофазовых взаимодействий. Однокальциевый силикат превращается в двухкальциевый силикат, $2CaO \cdot SiO_2$ (C_2S), однокальциевый алюминат – в трехкальциевый алюминат, $3CaO \cdot Al_2O_3$ (C_3A), оксид железа – в $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ (C_4AF) или $2CaO \cdot Fe_2O_3$ (C_2F).

В результате бурного протекания этих реакций, сопровождающихся выделением большого количества теплоты, температура материала повышается на 200 – 250°С. При температуре 1300°С твердофазовые процессы образования минералов заканчиваются, и материал к этому моменту состоит из образовавшихся соединений C_2S , C_3A, C_4AF, C_2F, CaO, MgO и некоторых других соединений.

В зоне спекания V, материал частично плавится, т.е. спекается. Этот процесс начинается при температуре 1300°С, продолжается при дальнейшем повышении до 1400 – 1450°С и последующем охлаждении до 1300°С. После расплавления в зоне спекания части материала, и образования жидкой фазы, в твердом состоянии остаются главным образом только двухкальциевый силикат C_2S (белит), который частично также растворяется в жидкой фазе. Соединяясь в

расплавленном состоянии с оксидом кальция, C_2S образует трехкальциевый силикат – C_3S (алит). C_3S менее растворим в расплаве, чем C_2S, и, поэтому выкристаллизовывается из жидкой фазы. При этом количества CaO и C_2S в расплаве уменьшаются, и в нем растворяются новые порции этих соединений, которые опять вступают в реакцию и т.д.

Образование алита в условиях обжига завершается за 25 – 30 минут. За это время почти весь свободный оксид кальция успевает раствориться в расплаве и принять участие в реакции образования трехкальциевого силиката, но часть двухкальциевого силиката остается непрореагировавшей.

Трехкальциевый силикат, $3CaO \cdot SiO_2$, алит – главная составная часть портландцементного клинкера. Желательно, чтобы алит был представлен в клинкере в виде хорошо оформленных некрупных кристаллов. Это достигается при сравнительно быстром обжиге и быстром охлаждении клинкера. Из зоны спекания клинкер поступает в зону охлаждения печи.

В зоне охлаждения VI температура клинкера падает с 1300 до 1000 – 1100°C, в результате чего расплав кристаллизуется, и из него выделяются минералы: C_3S, C_2S , C_3A, C_4AF, MgO, а часть жидкой фазы затвердевает в виде стекла. Далее материал поступает в рекуператорные холодильники, где он охлаждается до 180 – 280°C.

Процесс охлаждения влияет на качество клинкера: при быстром охлаждении образуется мелкокристаллическая структура, которая способствует получению клинкера более высокой механической прочности.

К основным клинкерным фазам относятся: алит – C_3S, белит – C_2S и заполняющее пространство между ними промежуточное вещество. В составе алита имеются включения небольшого количества оксидов магния, алюминия, железа, щелочей и некоторых других соединений. Белит состоит в основном, из бета – модификации C_2S и небольшого количества других модификаций C_2S, оксидов магния, алюминия, железа, щелочей и некоторых других соединений. В промежуточное вещество входят минералы – алюминаты и алюмоферриты кальция, оставшиеся свободными CaO и MgO. В составе алюминатов и

алюмоферритов кальция в твердом растворе могут находиться включения небольшого количества оксида магния, щелочей и некоторых других соединений. Содержание свободной окиси кальция в клинкере не должно быть больше 1%.

После охлаждения в рекуператорных холодильниках клинкер ковшовым конвейером СМЦ-611 Б отправляется на склад.

Печные газы, состоящие из продуктов горения топлива, углекислого газа, паров воды и технологической пыли – подвергаются очистке в электрофильтре .

Наибольшее количество пыли выделяется из зон подсушки, кальцинирования и экзотермических реакций. Пыль в печи образуется в результате разрушения материала цепями, раздавливания гранул вышележащими слоями материала и истиранием их о футеровку.

Уловленная пыль представляет собой высокодисперсный порошок, в состав которого входят неразложившийся карбонат кальция, глинистые частицы, свободная окись кальция, щелочи, серный ангидрид, клинкерные минералы.

Электрофильтры типа ЭГА 1-30-7,5-4-4 и ЭГВМ 1-30-7,5-4-4 относятся к пластинчатым аппаратам с горизонтальным направлением газового потока, имеющим 4 электрических поля, расположенных по ходу газа, с количеством газовых проходов –30, высотой электродов 7,5м.

Для равномерного распределения газов по сечению электрофильтра на входе установлены газораспределительные решетки.

Основные элементы электрофильтра – коронирующие и осадительные электроды.

Для подключения высокого напряжения к коронирующим электродам у каждого поля электрофильтра имеется система токопровода, состоящая из проводника, защитных коробок и изолятора. Подвод высокого напряжения осуществляется с применением высоковольтного кабеля.

Внутри электрофильтра для осмотра и обслуживания оборудования имеются площадки.

При прохождении через электрофильтр частиц пыли, содержащихся в очищаемых газах во взвешенном состоянии, они заряжаются движущимися

ионами и под действием электрического поля движутся к электродам. При достижении электродов, частицы пыли удерживаются на них, как силами адгезии, так и электрическими силами (до тех пор, пока частица не отдаст заряд и не разрядится). Основная масса взвешенных частиц осаждается на осадительных электродах. Для удаления пыли с электродов применяются механизмы встряхивания. Сброшенная с электродов пыль ссыпается в бункеры, находящиеся под каждым полем, а также под форкамерой, расположенной перед входом в первое поле электрофильтра. Из бункеров пыль подается на шнеки, при помощи которых она направляется на элеватор и в сборный бункер пыли, откуда пневмовинтовыми насосами подается обратно в печь. Возможна подача пыли на печь пневмовинтовым насосом, расположенным под сборным шнеком.

Часть уловленной пыли пневмотранспортом подается в «холодный» конец печи за цепную завесу, остальное количество пневмовинтовым насосом подается в печь с «горячего» конца. В зависимости от того, какие пневмовинтовые насосы включены, возможно различное распределение пыли, возвращаемой в «холодный» и «горячий» конец печи.

Для устойчивой работы электрофильтра необходимо, чтобы температура входящих в электрофильтр газов была не менее 180 и не более 300°С.

Степень очистки газов электрофильтрами составляет 99,78 %.

Очищенные газы дымососом Д – 21,5 через железобетонную трубу высотой 80 м выбрасываются в атмосферу.

Размол клинкера совместно с гипсом с получением цемента. Тонкий размол клинкера с добавками является важным заключительным процессом получения портландцемента, во многом определяющим его качество.

При производстве цемента помол ведется в шаровых трубных двухкамерных мельницах, в камеры которых загружены мелющие тела, а внутренняя поверхность футерована бронеплитами.

Процесс тонкого измельчения можно разбить на 3 этапа. На 1 этапе сопротивляемость размолу невелика и зависит в основном от пористости гранул. Разрушение частиц происходит по границам фаз, и удельная поверхность растет

пропорционально расходу электроэнергии. На II этапе сопротивляемость возрастает. Здесь она зависит от микроструктуры и фазового состава клинкера, на этом этапе происходит измельчение отдельных кристаллов. Рост удельной поверхности замедляется. Этап III характеризуется экспоненциальным ростом сопротивления размолу из-за агрегирования частичек и налипания их на рабочие поверхности мелющих тел и бронефутеровки. Минералогический состав клинкера оказывает существенное влияние на его размолоспособность. С увеличением в клинкере количества белита и алюмоферрита сопротивляемость размолу увеличивается. Возрастает сопротивляемость размолу также в клинкерах с повышенным содержанием MqO, FeO и щелочей.

Для достижения достаточной степени измельчения материалов, поступающих в мельницу, должна быть соблюдена определенная степень загрузки камер мелющими телами. Оптимальный коэффициент заполнения камер мельниц:

- первой камеры: стальными шарами ⊘ 60 – 90 мм составляет 31 – 33 %;

- второй камеры: роликами, или цильпебсом, или шарами ⊘ 20 –40 мм – 31 – 33 %.

Загрузка выше допустимого уровня может привести к превышению номинального тока на электродвигатели, а уменьшение загрузки ниже оптимальной приводит к ухудшению качества размола. Поэтому в отделении помола цемента, ежегодно разрабатывается график загрузки мельниц мелющими телами, в соответствии с которым должна производиться периодическая дозагрузка мельниц через каждые 200 часов работы с учетом количества материала, измельченного после предыдущей дозагрузки мельницы, и установленного удельного расхода мелющих тел на тонну клинкера. Накопление в мельницах очень мелких шаров и цильпебсов и различной случайно попавшей металлической мелочи вызывает снижение производительности и увеличение удельного расхода энергии. Поэтому периодически, через 1800 – 2000 часов работы мельниц или во время их капремонта, следует производить полную перезагрузку мельниц с отбраковкой негодных к использованию мелющих тел.

Находящиеся на складе: клинкер, гипс и, при необходимости, активная минеральная добавка, доменный шлак – двумя грейферными кранами загружаются в бункера участка помола клинкера. Из бункеров сырьевые компоненты питателями подаются в мельницы размола.

В отделении помола цемента имеются три мельницы сухого размола *МЦ 2.6х13м*.

Мельница состоит из 2-х камер, разделенных межкамерной перегородкой, каждая камера внутри футерована бронеплитами и загружается мелющими телами: шарами или цильпебсами.

Мельницы могут работать в двух режимах – в «открытом» цикле и в «замкнутом» цикле помола. В «открытом» цикле, измельченный в мельнице материал при помощи пневмовинтовых насосов закачивается в один из силосов. В «замкнутом» цикле, измельченный в мельнице материал через циклоны – разгрузители поступает на классификацию в сепаратор, в котором происходит отделение готового продукта – цемента, от крупной фракции – крупки.

В схему работы сепаратора включены: дымосос ДН-17, двухкамерный пневматический насос, 6 циклонов.

Загрузка материала в сепаратор производится сверху.

При работе сепаратора продукт, попадая на диски ротора, сбрасывается с него за счет центробежных сил и движется к стенкам корпуса. Воздушный поток, создаваемый вентилятором, проходя через слой материала, захватывает мелкие фракции (готовый продукт) и уносит их в циклоны, где они осаждаются. Очищенный в циклонах воздух возвращается по воздуховодам в вентилятор и вновь направляется в сепаратор. Крупные частицы материала (крупка) достигают стенок корпуса и падают вниз к разгрузочной течке. Привод сепаратора регулируемый, что позволяет в сочетании с регулированием расхода воздуха на вентиляторе получать готовый продукт заданной тонины помола с настройкой без остановки сепаратора.

Осажденная в циклонах мелкая фракция – товарная продукция, поступает в двухкамерный пневматический насос.

Отделенная крупная фракция – крупка, при помощи конвейера скребкового и конвейера винтового возвращается на мельницы на повторный размол.

Запыленный воздух от мельниц и от сепаратора поступает в электрофильтр ЭГА1-10-6-4-3 на очистку. Очищенный воздух дымососом ДН-12,5У через трубу выбрасывается в атмосферу.

Степень очистки газов электрофильтром составляет 99,9 %.

Осевшая пыль, цемент тонкой фракции, пневмовинтовым насосом перекачивается в одну из камер двухкамерного пневматического насоса.

Двухкамерным пневматическим насосом цемент перекачивается в силосы.

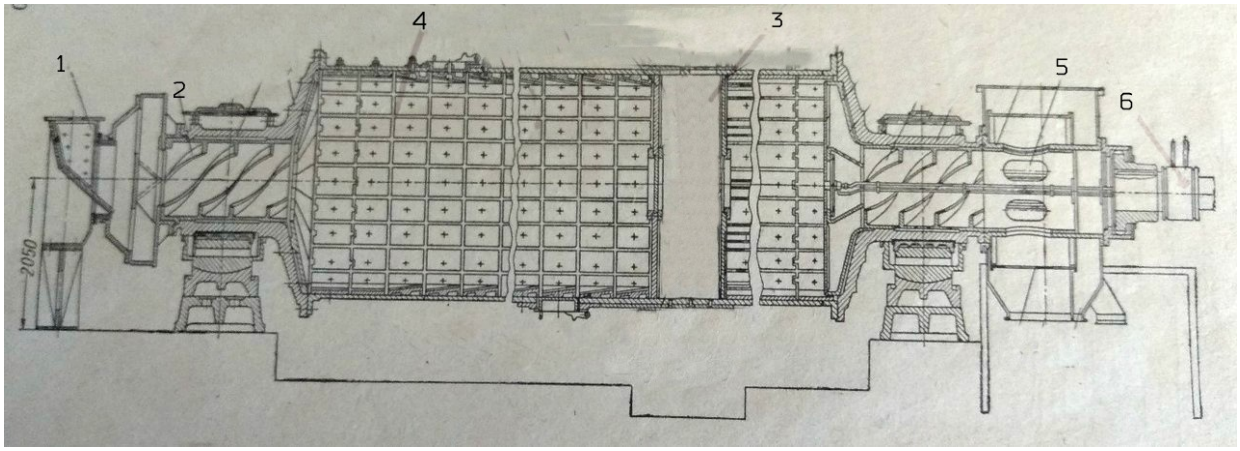
Склад цемента оборудован 8 силосами, емкостью по 2000 т каждый.

Склад оснащен весами: для взвешивания автомобильных цистерн и для взвешивания железнодорожных цистерн.

Цемент из силосов через разгрузочное устройство при помощи сжатого воздуха закачивается в цистерны или цементовозы. Запыленный воздух пылевым вентилятором нагнетается в рукавный фильтр и, очищенный – выбрасывается в атмосферу. Возможна затарка цемента в мешки через бункер цемента при помощи затарочного устройства.

2.2 Характеристика основного оборудования

Основным оборудованием на производстве цемента является шаровая мельница и печь обжига.



1 – наклонная течка; 2 – загрузочная камера; 3 – вращающиеся барабан мельницы; 4 – броня; 5 – разгрузочная камера; 6 – привод.

Рисунок 2 – Схема шаровой мельницы

Шаровая мельница состоит из барабана, внутри барабан футеруется кремневыми камнями или стальными плитами и на 20 – 40% заполняется мелющими телами. При вращении барабана мелющие тела под действием центробежной силы прижимаются к стенке барабана и, поднявшись на некоторую высоту, падают, измельчая материал ударом и истиранием при перекатывании. В шаровых мельницах в качестве мелющих тел применяют стальные и керамические шары – первые с размером диаметра 30 – 175 мм, вторые – 65 – 100 мм; короткие стальные цилиндры – стержни с размером диаметра 20 – 80 мм; кубы; усеченные конусы и т.д. Для уменьшения износа стальных мелющих тел и футеровки барабана их изготовляют из марганцовистой стали или специальных чугунов.

По принципу действия шаровые мельницы делятся на мельницы периодического и непрерывного действия с измельчением материала сухим или мокрым способом.

При мокром способе измельчения частицы, измельченные до заданных размеров, удаляются из мельницы при непрерывном сливе воды.

Цилиндрические мельницы изготовляются с диаметром барабана от 1 до 2,4 м, с отношением длины к диаметру барабана $\frac{L}{D} = 1{,}5 \div 2,$ в трубчатых мельницах

$\frac{L}{D} = 3 \div 6.$ Чем больше размер кусков исходного материала, тем больше должен быть диаметр барабана.

В трубчатой мельнице виду большой длины барабана достигается большая степень измельчения и получается более равномерный по крупности, чем в цилиндрических мельницах, готовый продукт, так как материал за время прохождения от загрузочной до загрузочной цапфы полностью измельчается. Трубчатая мельница заполняется шарами одного размера.

Степень измельчения на шаровых мельницах i=50÷100. Размер кусков исходного материала 25 – 65 мм.

Барабан шаровой мельницы изготовляется из котельной листовой стали сваркой или клепкой. Толщина листа δ берется в зависимости от диаметра барабана D: δ=(0,01 – 0,015) D см, где меньшее значение берется для цилиндрических мельниц, а большее – для трубчатых мельниц. Для мельниц с кремневыми мелющими телами толщина листа берется меньшей. Днища изготавливаются литыми.

Достоинства шаровых мельниц: высокая производительность; возможность измельчения разных материалов; однородность готового продукта; надежность и безопасность работы; простота в обслуживании. К недостаткам можно отнести: громоздкость и большой вес; большой удельный расход энергии; шум во время работы.

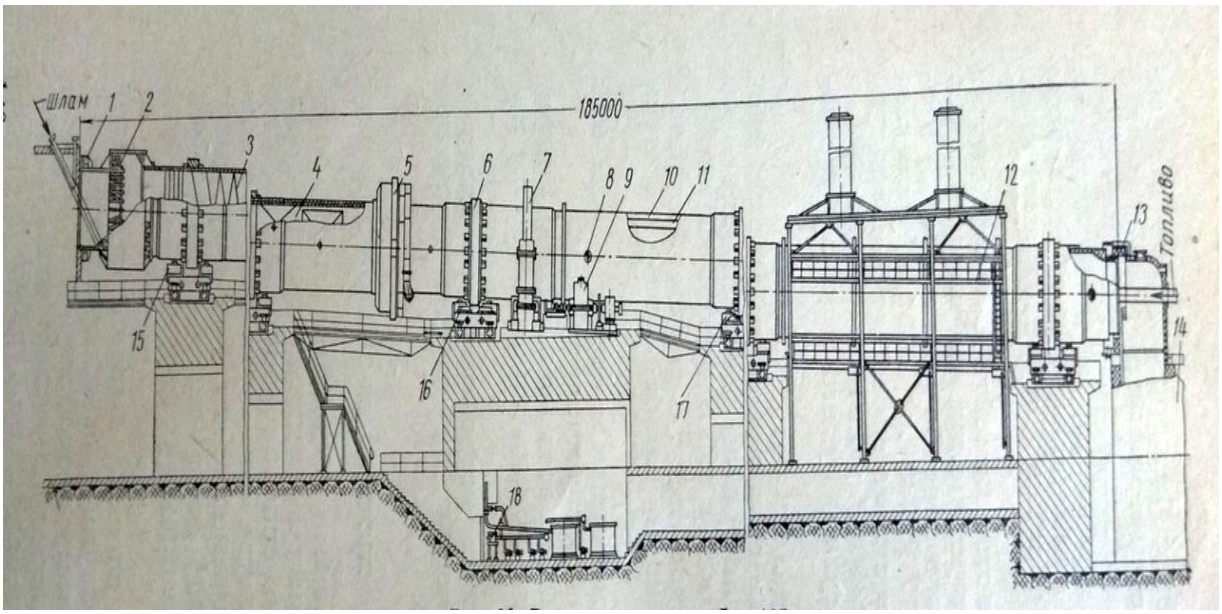
Технологическая схема производства различных силикатов, складывается из однотипных процессов и операций. К ним относятся чисто механические операций: дробление, размол, смешивание твердых материалов при подготовке сырьевой смеси и физико-химические процессы, происходящие при высокотемпературной обработке шихты, с образованием тех или иных минералов или смесей.

Обжиг сырьевой шихты и получение клинкера – наиболее важная стадия процесса производства цемента. Тонкоизмельченную и тщательно перемешанную сырьевую смесь соответствующего химического состава обжигают при

температуре 1400 – 1500°С в печах обжига. Образующийся в результате обжига спекшийся камнеподобный продукт (клинкер) характеризуется сложным минералогическим составом и сложной микрокристаллической структурой.

Качество клинкера и свойства цемента зависят от физических свойств и химического состава обжигаемой сырьевой смеси, вида и качества топлива, температуры и продолжительности обжига, а также от скорости охлаждения клинкера.

Обжиг сырьевой шихты осуществляется в трех барабанных вращающихся печах. Стальной корпус печи внутри футерован огнеупорными материалами. Размеры печи ⊘ 3,6х120,4 м. Проектная производительность печи – 20 т/час клинкера.



1 – уплотнение холодного конца печи; 2 – фильтр-подогреватель шлама; 3 – гирляндная цепная завеса; 4 – теплообменные устройства; 5 – устройство для возврата пыли в печь; 6 – бандаж; 7 – зубчатый венец; 8 – пробоотборные лючки; 9 – приводной механизм; 10 – оболочка печи; 11– огнеупорная футеровка; 12 – устройство для охлаждения корпуса печи в зоне спекания; 13 – аэродинамическое уплотнение горячего конца; 14 – колосниковый холодильник; 15 – роликоопора; 16 – роликоопора с контрольными роликами; 17– роликоопора с предохранительными упорами; 18 – маслонасосы и фильтры охладители.

Рисунок 3 – Вращающаяся печь

В качестве топлива для обжига используется природный газ, который поступает от газо-распределительного устройства (ГРУ) по трубопроводу через гибкий переходник в корпус газовой горелки и, проходя через горелку, сгорает в печи. Газовый факел регулируется в печи с помощью изменения струи газа дросселирующим и завихряющим аппаратами горелки, положением горелки в печи. Смешение газа с воздухом происходит вне горелки. Для поддержания реакции горения топлива и регулировки формы факела используется первичный воздух, подаваемый вентиляторами.

Процесс должен проводиться в окислительной среде. Содержание в отходящих газах углекислого газа (CO_2) должно находиться в пределах от 17 до 25%, содержание кислорода – от 1,0 до 2,0%. Отходящие газы после печи проходят через систему очистки от пыли в электрофильтре.

Печь установлена с уклоном 3,5° на роликовые опоры; частота вращения составляет 1,2 – 1,8 оборота в минуту.

Поступившая из сборного бассейна в ковшовый дозатор сырьевая шихта через шламовую трубу самотеком направляется в верхнюю загрузочную часть («холодный» конец) печи.

В результате вращения барабана, обжигаемый материал перемещается к нижней разгрузочной части («горячему» концу) печи. Топливо подается в барабан и сгорает со стороны «горячего» конца печи. Образующиеся при этом раскаленные дымовые газы продвигаются навстречу обжигаемому материалу и нагревают его до 1400 – 1450°С, а сами охлаждаются. В печи обжига имеется цепная завеса, служащая теплообменником. Обожженный материал в виде клинкера выходит из барабана с температурой от 1000 до 1100°С и поступает в рекуператорные холодильники, где охлаждается движущимся навстречу ему холодным воздухом до температуры 180 – 280°С.

В шихте при нагревании происходят физико-механические процессы: удаление влаги, декарбонизация известняка, химические реакции, как в твердом, так и в жидком состоянии, а также спекание.

Условно различают шесть температурных зон в печи обжига. Между зонами нет строгих границ, так как трудно установить температуру газа, материала и поверхности футеровки в отдельных зонах; протекающие реакции также частично перекрываются или идут параллельно.

По характеру процессов температурные зоны в печи называют:

I – зона испарения (сушка шихты) – температура до 200°С;

II – зона подогрева - температура в диапазоне 200 – 800°С;

III – зона декарбонизации (кальцинирования) – температура в диапазоне 800 – 1000°С;

IV – зона экзотермических реакций - температура в диапазоне 1000 – 1300°С;

V – зона спекания – температура в диапазоне 1300 – 1450°С;

VI – зона охлаждения – температура в диапазоне 1300 – 1000°С.

При нагревании шихта сначала несколько разжижается и становится более подвижной, затем вязкость увеличивается и происходит ее комкование, при дальнейшем нагревании комья распадаются на значительно более мелкие гранулы.

В зоне испарения I, находящейся в «холодной» части печи, поступающая сырьевая смесь подвергается действию нагретых до высокой температуры отходящих дымовых газов. В результате шихта нагревается, и из нее испаряется влага. Температура отходящих дымовых газов при этом снижается примерно с 800 – 1000 до 180 – 300°С.

Для утилизации теплоты отходящих газов и повышения степени теплообмена между материалом и горячими газами в зоне сушки размещено теплообменное устройство – цепная завеса, состоящая из цепей, подвешенных определенным способом.

Цепная завеса не только выполняет функцию теплообменника, значительно увеличивая поверхность теплопередачи в зоне сушки, но и оказывает влияние на образование и улавливание пыли.

В зоне подогрева II, высушенный материал, продвигаясь вдоль печи, подвергается воздействию более горячих газов и нагревается приблизительно до

600°С. В этой зоне наряду с подогревом, выгорают органические примеси, и теряется вода, содержащаяся в минералах глинистого компонента. Потеря химически связанной воды (дегидратация) приводит к тому, что глинистый компонент теряет связующие свойства. При этом происходит частичное или полное разложение глинистых минералов на свободные оксиды: SiO_2 и Al_2O_3 , а также декарбонизация углекислого магния.

$$MgCO_3 \rightarrow MgO + CO_2.$$

В зоне декарбонизации III протекает процесс разложения карбоната кальция. Декарбонизация $CaCO_3$ требует значительных затрат теплоты, поэтому подводимая теплота расходуется на протекание реакции, а не на нагревание материала, что и обуславливает медленный рост температуры сырьевой смеси в этой зоне.

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2.$$

Одновременно с диссоциацией карбонатов идут твердофазные реакции между основным оксидом CaO и кислотными оксидами SiO_2, Fe_2O_3, Al_2O_3.

В зоне экзотермических реакций IV, взаимодействие между основным и кислотными оксидами продвигающегося материала протекает с большой скоростью вследствие более высокой температуры. Эти твердофазовые реакции осуществляются с выделением теплоты (экзотермические реакции). При температуре 1200°С и выше – происходит насыщение образовавшихся ранее низкоосновных соединений до соответствующих клинкерных минералов. Все клинкерные минералы, кроме алита, образуются в результате твердофазовых взаимодействий. Однокальциевый силикат превращается в двухкальциевый силикат, $2CaO \cdot SiO_2$ (C_2S), однокальциевый алюминат – в трехкальциевый

алюминат, $3CaO \cdot Al_2O_3$ (C_3A), оксид железа – в $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ (C_4AF) или $2CaO \cdot Fe_2O_3$ (C_2F).

В результате бурного протекания этих реакций, сопровождающихся выделением большого количества теплоты, температура материала повышается на 200 – 250°С. При температуре 1300°С твердофазовые процессы образования минералов заканчиваются, и материал к этому моменту состоит из образовавшихся соединений C_2S , C_3A, C_4AF, C_2F, CaO, MgO и некоторых других соединений.

В зоне спекания V, материал частично плавится, т.е. спекается. Этот процесс начинается при температуре 1300°С, продолжается при дальнейшем повышении до 1400 – 1450°С и последующем охлаждении до 1300°С. После расплавления в зоне спекания части материала, и образования жидкой фазы, в твердом состоянии остаются главным образом только двухкальциевый силикат C_2S (белит), который частично также растворяется в жидкой фазе. Соединяясь в расплавленном состоянии с оксидом кальция, C_2S образует трехкальциевый силикат – C_3S (алит). C_3S менее растворим в расплаве, чем C_2S, и, поэтому выкристаллизовывается из жидкой фазы. При этом количества CaO и C_2S в расплаве уменьшаются, и в нем растворяются новые порции этих соединений, которые опять вступают в реакцию и т.д.

Образование алита в условиях обжига завершается за 25 – 30 мин. За это время почти весь свободный оксид кальция успевает раствориться в расплаве и принять участие в реакции образования трехкальциевого силиката, но часть двухкальциевого силиката остается непрореагировавшей.

Трехкальциевый силикат, $3CaO \cdot SiO_2$, алит – главная составная часть портландцементного клинкера. Желательно, чтобы алит был представлен в клинкере в виде хорошо оформленных некрупных кристаллов. Это достигается при сравнительно быстром обжиге и быстром охлаждении клинкера. Из зоны спекания клинкер поступает в зону охлаждения печи.

В зоне охлаждения VI температура клинкера падает с 1300 до 1000 – 1100°С, в результате чего расплав кристаллизуется, и из него выделяются минералы: C_3S, C_2S , C_3A, C_4AF, MgO, а часть жидкой фазы затвердевает в виде

стекла. Далее материал поступает в рекуператорные холодильники, где он охлаждается до 180 – 280°С.

Процесс охлаждения влияет на качество клинкера: при быстром охлаждении образуется мелкокристаллическая структура, которая способствует получению клинкера более высокой механической прочности.

К основным клинкерным фазам относятся: алит – C_3S, белит – C_2S и заполняющее пространство между ними промежуточное вещество. В составе алита имеются включения небольшого количества оксидов магния, алюминия, железа, щелочей и некоторых других соединений. Белит состоит в основном, из бета – модификации C_2S и небольшого количества других модификаций C_2S, оксидов магния, алюминия, железа, щелочей и некоторых других соединений. В промежуточное вещество входят минералы – алюминаты и алюмоферриты кальция, оставшиеся свободными CaO и MgO. В составе алюминатов и алюмоферритов кальция в твердом растворе могут находиться включения небольшого количества оксида магния, щелочей и некоторых других соединений. Содержание свободной окиси кальция в клинкере не должно быть больше 1%.

После охлаждения в рекуператорных холодильниках клинкер ковшовым конвейером отправляется на склад.

2.3 Материальный расчет процесса получения клинкера

Для получения расчета двухкомпонентной сырьевой смеси необходимо знать химический состав сырьевых компонентов и задаться величиной КН.

Химический состав сырьевых компонентов в процентном содержании представлен в таблице.

Расчет выполняется КН = 0,95.

Таблица 2.1 - Химический состав сырьевых компонентов, %

Сырье	Влага	ППП	Al_2O_3	SiO2	CaO	MgO	Fe2O2
Глина	9,78	5,8	17,4	58,2	1,2	2,02	5,6
Карбонат кальцыя	1	44,6	0,18	0,4	53,46	0,2	0,16

Коэффициент насыщения кремнезёма известью КН в портландцементном клинкере, определяется по формуле:

$$KH = \frac{CaO - (1{,}65 \cdot Al_2O_3 + 0{,}35 \cdot Fe_2O_3)}{2{,}8 \cdot SiO_2}, \quad (2.1)$$

где CaO – процентное содержание оксида кальция в пульпе, %;

Al_2O_3 – процентное содержание оксида алюминия в пульпе, %;

Fe_2O_3 – процентное содержание оксида железа в пульпе, %;

SiO_2 – процентное содержание оксида кремния в пульпе, %.

Если принять, что на одну часть второго компонента приходиться x частей первого компонента, то можно составить для каждого окисла смеси следующее равенство, определяем по формуле:

$$K_0 = \frac{x \cdot K_1 + K_2}{x + 1}, \quad (2.2)$$

где K_0 – процентное содержание компонента в сырьевой смеси, %;

K_1, K_2 – процентное содержание компонента в глине и карбонате кальция, соответственно, %.

При известном химическом составе обоих исходных материалов и заданной величине коэффициента насыщения расчет производиться по формуле:

$$X = \frac{2{,}8 \cdot SiO_2 KH + 1{,}65 \cdot Al_2O_3 + 0{,}35 \cdot Fe_2O_3 - CaO_2}{CaO - 2{,}8 \cdot SiO_2 \cdot KH - 1{,}65 \cdot Al_2O_3 - 0{,}35 \cdot Fe_2O_3}, \quad (2.3)$$

где X – количество взвешенных частей первого компонента, приходящихся на одну взвешенную часть второго, %;

CaO_2 – содержание CaO в компоненте 1 и компоненте 2, соответственно, т;

SiO_2 – содержание SiO2 в компоненте 1 и компоненте 2, соответственно, т;

Al_2O_3 – содержание Al2O3 в компоненте 1 и компоненте 2, соответственно, т;

Fe_2O_3 – содержание Fe2O3 в компоненте 1 и компоненте 2, соответственно, т.

$$X = \frac{2{,}8 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}95 + 1{,}65 \cdot 0{,}18 + 0{,}35 \cdot 0{,}16 - 53{,}46}{1{,}2 - 2{,}8 \cdot 58{,}2 \cdot 0{,}95 - 1{,}65 \cdot 17{,}4 - 0{,}35 \cdot 5{,}6} = 0{,}2824(m).$$

На одну тонну сухого карбоната кальция необходимо добавить 0,2824 тонны сухой глины, определяем по формуле:

$$CaCO_3 = \frac{1}{X - 1} \cdot 100, \quad (2.4)$$

где X – количество взвешенных частей первого компонента, приходящегося на одну взвешенную часть второго, т;

Ca_{CO3} – количество карбоната кальция в одной тонне сырьевой смеси, %.

$$CaCO_3 = \frac{1}{0{,}2824 + 1} \cdot 100\% = 78(\%).$$

Пропорцию сырьевой смеси в процентах, определяем по формуле:

$$G_г = \frac{X}{X + 1} \cdot 100, \qquad (2.5)$$

где X – количество взвешенных частей первого компонента, приходящегося на одну взвешенную часть второго, %;

Глина – количество глины в одной тонне сырьевой смеси, %.

$$G_г = \frac{0{,}2824}{0{,}2824 + 1} \cdot 100 = 22(\%).$$

Зная пропорцию сырьевой смеси в процентах можно определить ее химический состав по формуле (2.2):

$$W_0 = \frac{0{,}2824 \cdot 9{,}78 + 1}{0{,}2428 + 1} = 2{,}95(\%);$$

$$ППП_0 = \frac{0{,}2824 \cdot 5{,}8 + 44{,}6}{0{,}2824 + 1} = 36{,}06(\%);$$

$$Al_2O_3 = \frac{0{,}2824 \cdot 5{,}8 + 44{,}6}{0{,}2824 + 1} = 36{,}06(\%);$$

$$SiO_2 = \frac{0{,}2824 \cdot 58{,}2 + 0{,}4}{0{,}2824 + 1} = 13{,}03(\%);$$

$$CaO = \frac{0,2824 \cdot 1,2 + 53,46}{0,2824 + 1} = 41,95(\%);$$

$$MgO = \frac{0,2824 \cdot 2,02 + 0,2}{0,2824 + 1} = 0,60;$$

$$Fe_2O_3 = \frac{0,2824 \cdot 5,6 + 0,16}{0,2824 + 1} = 1,35(\%).$$

Таблица 2.2 - Химический состав сырьевой смеси, %

Сырье	Влага	ППП	Al_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	Fe_2O_3
Сырьевая смесь	2,92	36,12	3,94	13,03	42,03	0,60	1,35

Совпадение значения КН с заданным подтверждает правильность выполненного расчета, определяем по формуле:

$$KH = \frac{CaO - (1,65 \cdot Al_2O_3 + 0,35 \cdot Fe_2O_3)}{2,8 \cdot 13,03}, \quad (2.6)$$

где CaO – процентное содержание в сырьевой смеси, %;

Al_2O_3 – процентное содержание в сырьевой смеси, %;

Fe_2O_3 – процентное содержание в сырьевой смеси, %.

$$KH = \frac{41,95 - (1,65 \cdot 3,97 + 0,35 \cdot 1,36)}{2,8 \cdot 13,13} = 0,95(\%).$$

Расчет кремнеземного *n* и глиноземного *p* модулей производится по формулам:

$$n = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}, \quad (2.7)$$

$$n = \frac{13{,}13}{3{,}97 + 1{,}36} = 2{,}46, норма, n = 1{,}7 - 3{,}5.$$

$$p = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}, \quad (2.8)$$

$$p = \frac{3{,}97}{1{,}36 = 2{,}9}, норма, p = 1 - 3.$$

Расход натуральной глины на 1 тонну клинкера, определяется по формуле:

$$m = \frac{0{,}22 \cdot 10^4}{(100 - 2{,}95) \cdot (100 - 36{,}06)} = 0{,}36(m). , \quad (2.9)$$

где 0,22 – количество глины в одной тонне сырьевой смеси, т;

2,95 – процентное содержание влаги шихты, %;

36,06 – процентное содержание ППП шихты, %.

Расход натурального карбоната кальция на 1т клинкера:

$$m = \frac{0{,}78 \cdot 10^4}{(100 - 2{,}95) \cdot (100 - 36{,}06)} = 1{,}26(m).$$

где 0,78 – количество карбоната кальция в одной тонне сырьевой смеси, т;

0,3 – процентное содержание влаги в карбонате кальция, %;

44,6 – процентное содержание ППП в карбонате кальция,%.

Таблица 2.3 - Расход натуральных продуктов на 1т клинкера

Сырье	На натуральный продукт, т
Глина	0,36
Карбонат кальция	1,26
Итого	1,62

Для образования пульпы с влажностью 37% выполняется расчет вводимой воды. Количество воды, вводимой извне, обозначают через Z.

Количество влаги в глине, вносимой компонентами, определяется по формуле:

$$H_2O_{гл} = C_{гл} \cdot C_{воды}, \quad (2.10)$$

где $C_{гл}$ – количество глины, т;

$C_{воды}$ – содержание воды в глине, т.

$$H_2O_{гл} = 0{,}36 \cdot 0{,}0978 = 0{,}035(m).$$

Количество воды в карбонате кальция, определяем по формуле:

$$H_2O_{карб} = C_{карб} \cdot C_{воды}, \quad (2.11)$$

где $C_{карб}$ – количество карбоната кальция, т;

$C_{воды}$ – содержание воды в карбонате кальция, т.

$$H_2O_{карб} = 1{,}26 \cdot 0{,}001 = 0{,}0126(m).$$

Количество воды в глине и карбонате кальция, определяем по формуле:

$$\sum H_2O = H_2O_{гл} + H_2O_{карб}, \quad (2.12)$$

где $H_2O_{гл}$ – количество воды в глине, т;

$H_2O_{карб}$ – количество воды в карбонате кальция, т.

$$\sum H_2O = 0{,}035 + 0{,}0126(m).$$

Таблица 2.4 – Материальный баланс на 1 тонну клинкера

Состав		H_2O	ППП	Al_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	Fe_2O_3	Итого
Приход	Глина	0,035	0,021	0,063	0,21	0,004	0,007	0,02	0,36
	$CaCO_3$	0,013	0,56	0,0023	0,005	0,67	0,003	0,002	1,26
	Вода	0,88	–	–	–	–	–	–	0,88
ИТОГО:		0,928	0,581	0,0653	0,215	0,674	0,01	0,022	2,5
Состав		H_2O	ППП	Al_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	Fe_2O_3	Итого
Расход	Клинкер	–	–	0,0653	0,215	0,674	0,01	0,022	0,986
	Отх. Газ	0,928	0,581	–	–	–	–	–	1,5
	ИТОГО:	0,928	0,581	0,0653	0,215	0,674	0,01	0,022	2,5

Таблица 2.5 - Материальный баланс на 1 час работы печи (в тоннах)

Состав		H_2O	ППП	Al_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	Fe_2O_3	Итого
Приход	Глина	0,691	0,416	1,243	4,145	0,080	0,138	0,395	7,108
	$CaCO_3$	0,257	11,054	0,045	0,099	13,226	0,059	0,039	24,779
	Вода	17,371							17,371
ИТОГО:		18,319	11,470	1,289	4,244	13,306	0,197	0,434	49,258
Расход	Клинкер	-	-	1,289	4,244	13,306	0,197	0,434	19,470
	Отх. Газ	18,319	11,470						29,789
	ИТОГО:	18,319	11,470	1,289	4,244	13,306	0,197	0,434	49,258

Расчет ведется на печь, производительностью 20,0 тонн клинкера в час.

2.4 Расчет горения топлива и теплового баланса печи обжига

В качестве топлива используется природный газ состава: CH_4 = 98,19 %; C_2H_6 = 0,697 %; C_3H_8 = 0,2 %; C_4H_{10} = 0,07 %; CO_2 = 0,023 %; N_2 = 0,809 %; W = 70г\нм^3 .

Для пересчета сухого газа во влажный газ используют формулу:

$$C_x^{вл} = C_x^c \cdot \frac{100}{100 + 0{,}124 \cdot W}, \quad (2.13)$$

где $C_x^{вл}$ – количество компонента х во влажном газе, %;

C_x^c – количество компонента х в сухом газе, %;

0,124 – коэффициент перевода влаги из г/м^3 в %.

$$CH_4^p = 98{,}19 \cdot \frac{100}{100 + 0{,}124 \cdot 70} = 90{,}33(\%);$$

$$C_2H_6^p = 0{,}67 \cdot \frac{100}{100 + 0{,}124 \cdot 70} = 0{,}64(\%);$$

$$C_3H_8^p = 0{,}2 \cdot \frac{100}{100 + 0{,}124 \cdot 70} = 0{,}18(\%);$$

$$C_4H_{10}^p = 0{,}07 \cdot \frac{100}{100 + 0{,}124 \cdot 70} = 0{,}06(\%);$$

$$CO_2^p = 0{,}023 \cdot \frac{100}{100 + 0{,}124 \cdot 70} = 0{,}02(\%);$$

$$N_2^p = 0{,}809 \cdot \frac{100}{100 + 0{,}124 \cdot 70} = 0{,}74(\%);$$

$$H_2O = 0{,}124 \cdot W \cdot \frac{100}{100 + 0{,}124 \cdot W}, \quad (2.14)$$

$$H_2O = 0{,}124 \cdot 70 \cdot \frac{100}{100 + 0{,}124 \cdot 70} = 7{,}99(\%).$$

Проверка: $C_4^p + C_2H_6^p + C_3H_8^p + C_4H_{10}^p + CO_2^p + N_2^p + H_2O = 100\%$;

$$90{,}33 + 0{,}64 + 0{,}18 + 0{,}06 + 0{,}02 + 0{,}74 + 7{,}99 = 100(\%).$$

Определяется теплота сгорания природного газа по формуле:

$$Q_H^P = 358{,}7 \cdot CH_4 + 591 \cdot (C_2H_6 + C_3H_8 + C_4H_{10}), \quad (2.15)$$

$$Q_H^P = 358{,}7 \cdot 90{,}33 + 591 \cdot (0{,}64 + 0{,}18 + 0{,}06) = 32921{,}45\left(\frac{кДж}{нм^3}\right).$$

Реакции горения горючих составляющих топлива:

$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$;

$C_2H_6 + 3{,}5O_2 = 2CO_2 + 3H_2O$;

$C_3H_8 + 5O_2 = 3CO_2 + 4H_2O$;

$C_4H_{10} + 6{,}5O_2 = 4CO_2 + 5H_2O$.

Расчет расхода воздуха при горении природного газа и объема образующихся дымовых газов, представляется в виде таблице (см. Табл. 2.6)

Таблица 2.6 - Расчет расхода воздуха и объема дымовых газов

Составляющие	Компоненты, участвующие в горении					Продукты сгорания, м^3			
	Топливо		Воздух			CO_2	H_2O	N_2	Все-го
	%	нм^3	O_2	N_2	Всего				
CH_4	90,33	90,33	180,66	184,19·3,762 = 692,92	184,19+692,92 = 877,11	90,33	180,66	692,92 +	
C_2H_6	0,64	0,64	2,24			1,28	1,92		
C_3H_8	0,18	0,18	0,90			0,54	0,72		
C_4H_{10}	0,06	0,06	0,39			0,24	0,30		
CO_2	0,02	0,02				0,02			
N_2	0,74	0,74						0,74	
H_2O	7,99	7,99					7,99		
Всего	100	100	184,19	692,92	877,11	92,41	191,59	693,66	977, 66

Расчет тепла от сгорания топлива ведется по формуле:

$$Q_{топл} = 0.278 \cdot Q_H^P \cdot B \cdot 10^{-3}, \quad (2.16)$$

где 0,278 – коэффициент пересчета Дж/ч в Вт;

Q_H^P – теплота сгорания топлива, кДж/нм^3;

В – часовой расход топлива, нм^3/ч.

$$Q_{топл} = 0,278 \cdot 32921,45 \cdot B \cdot 10^{-3} = 9,152 \cdot B(кВт).$$

Тепловой баланс печи обжига клинкера составляется в кВт. Для этого используют коэффициент пересчета кДж/ч в кВт – 0,278·10^3.

Тепло отходящих газов определяют по формуле:

$$Q_{отх.г.} = 0,278 \cdot t_{отх.г.} \cdot 10^{-3} \cdot \left[\begin{array}{l} \left(V_{CO_2} \cdot C_{CO_2} + V_{H_2O} \cdot C_{H_2O} + V_{N_2} \cdot C_{N_2}\right) \\ \cdot B + \left(C_{H_2O} \cdot V_{H_2OT} + C_{CO_2} \cdot V_{CO_2T}\right) \end{array} \right], \quad (2.17)$$

где $V_{CO_2};V_{N_2};V_{H_2O}$ – объем CO_2; N_2; H_2O дымового газа при сжигании 1 нм^3 топлива, м^3;

$C_{CO_2}C_{N_2}V_{H_2O}$ – средние теплоемкости газов при $t_{дыма}$=300°С,кДж\м^3·К;

$T_{отх\ г}$ – температура отходящих газов, °С;

V_{H_2OT}, V_{CO_2T} – объем диоксида углерода, паров воды образующихся при испарении соответствующих компонентов шихты, м^3.

Объем диоксида углерода, определяем по формуле:

$$V_{H_2OT} = \frac{G_{H_2O\ пульпе} \cdot V}{18}, \quad (2.18)$$

где $G_{H_2Oпульп}$ – количество воды в пульпе, кг;

V– объем 1 моля, м^3;

18 – молярная масса воды, кг/ моль.

$$V_{H_2OT} = \frac{18.32 \cdot 10^3 \cdot 22.4}{18} = 22798{,}2\ (M^3)$$

Объем диоксида углерода, паров воды образующихся при испарении соответствующих компонентов шихты, определяем по формуле:

$$V_{CO_2T} = \frac{G_{ППП} \cdot V}{44}, \quad (2.19)$$

где V_{CO_2T} – количество ППП, кг;

V – объем 1 моля, м^3;

44 – молярная масса углекислого газа, кг/моль.

$$V_{CO_2 T} = \frac{11{,}47 \cdot 10^3 \cdot 22{,}4}{44} = 5839{,}3(M^3)$$

$$Q_{\text{отх.г.}} = 0{,}278 \cdot 300 \cdot 10^3 \cdot [(0{,}92 \cdot 1{,}8808 + 1{,}92 \cdot 1{,}5379 + 6{,}9 \cdot 1{,}3080) \cdot B + (22798{,}2 \cdot 1{,}5379 + 5839{,}3 \cdot 1{,}8808)] = 1{,}15 \cdot B + 3840{,}06 \text{ кВт}$$

Тепло, уносимое из печи клинкером, рассчитывается по формуле:

$$Q_{кл} = 0{,}278 \cdot 10^{-3} \cdot m_{кл} \cdot c_{кл} \cdot t_{кл}, кВт, \quad (2.20)$$

где $Q_{кл}$ – тепло уносимое из печи клинкером, кВт;

$m_{кл}$ – часовая производительность печи, кг/ч;

$c_{кл}$ – средняя теплоемкость клинкера, 1,05 кДж/кг · град;

$t_{кл}$ – температура клинкера, 300 °С.

$$Q_{\text{кл}} = 0{,}278 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 1{,}05 \cdot 300 = 1751{,}4 \text{ кВт}$$

Суммарный тепловой эффект эндотермических реакций рассчитывается по формуле:

$$Q_{энд} = 0{,}278 \cdot 10^{-3} \cdot (m_{MgCO_3} \cdot Q_{MgCO_3} + m_{CaCO_3} \cdot Q_{CaCO_3}), \quad (2.21)$$

где $Q_{энд}$ – суммарный эндотермический эффект химических реакций, кВт;

m_{MgCO_3}, m_{CaCO_3} – количество магнезита и известняка в шихте, кг;

Q_{MgCO_3}, Q_{CaCO_3} – количество тепла, затраченного на разложении магнезита и известняка (соответственно 819 и 1663,2 кДж/кг).

Количество магнезита в шихте, определяем по формуле:

$$m_{MgCO_3} = \frac{m_{MgO} \cdot 10^{-3} M_{MgCO_3}}{M_{MgO}}, \quad (2.22)$$

где M_{MgCO_3}, M_{MgO} – молекулярные массы оксида и карбоната магния, кг;

m_{MgO} – количество оксида магния в шихте, кг.

$$m_{MgCO_3} = \frac{197 \cdot 84}{40} = 413{,}7 \text{ кг}$$

Количество карбоната кальция в шихте, определяем по формуле:

$$m_{CaCO_3} = \frac{m_{CaO} \cdot 10^{-3} M_{CaCO_3}}{M_{CaO}}, \quad (2.23)$$

M_{CaCO_3}, M_{CaO} – молекулярные массы оксида и карбоната кальция, кг;

m_{CaO} – количество оксида кальция в шихте, кг.

$$m_{CaCO_3} = \frac{13306 \cdot 100}{56} = 23760{,}71 \text{ кг}$$

$$Q_{энд} = 0{,}278 \cdot 10^{-3} \cdot (413{,}7 \cdot 819 + 23760{,}71 \cdot 166{,}2) = 1192{,}02 \text{ кВт}$$

Тепло, затрачиваемое на испарение воды, образовавшейся при горении топлива, и на испарение воды шихты, рассчитывается по формуле:

$$Q_{исп} = 0{,}278 \cdot 10^{-3} \cdot m_{H_2O_m} \cdot B \cdot L_{испH_2O}, \quad (2.24)$$

где $L_{испH_2O}$ – количество тепла, затрачиваемое на испарение 1 кг воды, кДж/кг;

m_{H_2O} – масса воды в шихте и топливе.

Массу воды в шихте и топливе, определяем по формуле:

$$m_{H_2O} = m_{H_2Oшии}, \quad (2.25)$$

где $m_{H_2Oших}$ – количество воды в шихте, (см. таблицу 2.5), кг.

$$m_{H_2O} = 18319 \text{ кг}$$

$$Q_{исп} = 0{,}278 \cdot 10^{-3} \cdot 2520 \cdot 18319 = 12833 \text{ кВт}$$

На основании сделанных расчетов составляется таблица 2.7 теплового баланса печи обжига.

Таблица 2.7 - Тепловой баланс печи обжига клинкера на 1 час работы печи

Наименование статьи	кВт	%	Наименование статьи	кВт	%
Тепло от сгорания топлива	29126,33	100	Тепло отходящих газов	7499,91	25,75
			Тепло уходящее из печи с клинкером	1751,40	6,01

Продолжение таблицы 2.7 - Тепловой баланс печи обжига клинкера на 1 час работы печи

Наименование статьи	кВт	%	Наименование статьи	кВт	%
			Суммарный эффект химических реакций	1192,02	4,09
Тепло от сгорания топлива			Тепло затрачиваемое на испарение воды	12833,00	44,06
			Потери тепла через футеровку	5850,00	20,09
Приход:	29126,33	100	Расход:	29126,33	100

2.5 Расчет печи для обжига цементного клинкера

Нагрузка на печь состоит из веса обечайки, колец жесткости, накладок, веса материала в печи.

Для предварительных расчетов толщину обечайки можно брать по эмпирической формуле:

$$\delta_0 = (0{,}007 \cdot D_1 \div 0{,}011 \cdot D_1) D_1, \quad (2.26)$$

где D_1 – диаметр обечайки, мм.

$$\delta_0 = (0{,}007 \cdot 3600 \div 0{,}011 \cdot 3600) \cdot 3600 = 2290{,}9(мм).$$

Удельный вес материала обечайки, определяем по формуле:

$$\gamma_o = \frac{m_o}{V_o}, \quad (2.27)$$

где m_o – вес обечайки, кг;

V_o – объём материала, м^3.

$$\gamma_o = \frac{1220,7}{0,155509} = 7849,7(Н / м^3).$$

Удельную нагрузку на единицу длины от веса обечайки, определяем по формуле:

$$q_o = \gamma_o \delta_o \pi D_1, \qquad (2.28)$$

где γ_0 – удельный вес материала обечайки, кгс/м^3;

δ_o – толщина обечайки, мм;

D_1 – диаметр обечайки, мм.

$$q_0 = 7849,7 \cdot 2290 \cdot 3,14 \cdot 3600 = 2,04(кгс / м^3).$$

Длина цепной зоны для печей с отношением $\frac{L}{D} > 25$ может быть определена по следующей формуле:

$$L_ц = 0,07L(0,1\frac{L}{D} - 1), \qquad (2.29)$$

где L – длина печи в м;

D – средний диаметр печи в свету в м.

$$L_ц = 0,07 \cdot 127,5 \cdot (0,1 \cdot \frac{127,5}{3,6} - 1) = 29(м).$$

Вес единицы длины цепи, определяем по формуле:

$$q_1 = \frac{m_ц}{n_в}, \quad (2.30)$$

где $n_в$ – количество всех цепей на участке, м;

$m_ц$ – вес цепей на участке, кг.

$$q_1 = \frac{58810}{3097} = 2080(кг).$$

По экспериментальным данным оптимальные параметры участка цепной завесы приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 - Исполнительная характеристика цепной завесы вращающейся печи

Наименование	Участок цепной зоны					Всего
	1	2	3	4	5	
Длина одной цепи, м	2,3	1,9	1,7	1,3	1,3	–
Вес одной цепи, кг	32,4	21,85	19,55	15,28	15,28	–
Всего цепей на участке, шт	186	961	470	970	510	3097
Вес цепей на участке, т	6,02	21,00	9,19	1,48	7,8	58,81

Длину всех цепей, определяем по формуле:

$$L_1 = (L_{1ц} \cdot G_{1ц} + L_{2ц} \cdot G_{2ц} + L_{3ц} \cdot G_{3ц} + L_{4ц} \cdot G_{4ц} + L_{5ц} \cdot G_{5ц}), \quad (2.31)$$

где $L_{1ц}$, $L_{2ц}$, $L_{3ц}$, $L_{4ц}$,$L_{5ц}$ – длина одной цепи, м;

$G_{1ц}$, $G_{2ц}$, $G_{3ц}$, $G_{4ц}$, $G_{5ц}$ – вес всех цепей на участке, т.

$$L_1 = 2{,}3 \cdot 186 + 1{,}9 \cdot 961 + 1{,}7 \cdot 470 + 1{,}3 \cdot 970 + 1{,}3 \cdot 510) = 5071(м).$$

Вес цепной завесы распределяется равномерно по длине занимаемого ею участка, определяем по формуле:

$$q_ц = \frac{q_1 \cdot L_1}{L}, \quad (2.32)$$

где q_1 – вес всей единицы цепи, кг;

L_1 –длина всех цепей, м;

$L_ц$ – длина участка, занимаемого цепями, м.

$$q_ц = \frac{2028 \cdot 5071}{29} = 354620(кг) \approx 354{,}6(т).$$

2.6 Расчёт шаровой мельницы

В производстве цемента применяются шаровые мельницы с внутренним диаметром 2,2м и длиной 13м с центральным приводом. Расчет шаровой мельницы принятой длины и диаметра (в свету) сводится к определению скорости вращения мельницы, диаметра и массы загружаемых шаров, производительности мельницы по измельченному продукту, мощности электропровода и расхода электроэнергии на измельчение.

Критическое число оборотов мельницы можно определить по формуле:

$$N_{кр} = \frac{42{,}4}{\sqrt{D}}, \quad (2.33)$$

где D – диаметр мельницы (в свету), м.

$$N_{кр} = \frac{42,4}{\sqrt{2,6}} = 26,3(об/мин).$$

Теоретически оптимальное число оборотов мельницы находится по формуле:

$$N_{опт} = \frac{32}{\sqrt{D}}, \quad (2.34)$$

где D – диаметр мельницы (в свету), м.

$$N_{опт} = \frac{32}{\sqrt{2,6}} = 19,8(об/мин).$$

Рабочая скорость вращения мельницы применяется с учетом данных практики, однако во всех случаях она должна быть предельно близка к оптимальной.

Наибольший диаметр загруженных в мельницу шаров рассчитывается по формуле:

$$d_ш = 6 \cdot (\lg d_k) \cdot \sqrt{d_н}, \quad (2.35)$$

где $d_Н$ – диаметр наибольших кусков загруженного материала, мм;

$d_к$ – диаметр частиц измельченного продукта, мкм.

$$d_ш = 6 \cdot (\lg 80) \cdot \sqrt{80} = 100(мм).$$

Сортамент загружаемых в мельницу шаров применяется с учетом данных практики. Масса загружаемых шаров определяется по формуле:

$$M_ш = \varphi \cdot V \cdot \rho_ш, \qquad (2.36)$$

где φ – коэффициент заполнения мельниц шарами (обычно φ = 0,3);

V – внутренний объем барабана мельницы, м^3;

$\rho_ш$ – насыпная масса шаров, кг/м^3.

При $d_ш$ = 100мм насыпная масса шаров 4560 кг/м^3 (см.таблицу 2.9).

$$M_ш = 0,3 \cdot 49,39 \cdot (0,2 \cdot 4660 + 0,5 \cdot 4620 + 0,2 \cdot 4595 + 0,1 \cdot 4560) = 68410,1(кг).$$

Таблица 2.9 – Насыпная масса шаров

Мелющие тела	Диаметр, мм	Насыпная масса, кг/м^3
Стальные шары	30	4850
	40	4760
	50	4708
	60	4660
	80	4620
	90	4595
	100	4560
	125	4528

Производительность мельницы зависит от свойств исходного материала, его крупности, массы шаровой загрузки, размеров мельницы и многих других факторов, некоторые из которых не поддаются точному учету. Производительность шаровой мельницы может быть ориентировочно определена по следующей формуле:

$$Q = 6,45 \cdot \sqrt{d} \cdot \left(\frac{M_ш}{V}\right)^{0,8} \cdot k \cdot q \cdot V, \qquad (2.37)$$

где d – диаметр мельницы в свету, м;

$M_ш$ – масса мелющих тел, т;

V – внутренний объем мельницы, $м^3$;

k – поправочный коэффициент на тонкость помола;

q – удельная производительность мельницы, т/кВт · ч.

$$Q = 6,45 \cdot \sqrt{2,6} \cdot \left(\frac{68,41}{49,39} \right)^{0,8} \cdot 1,09 \cdot 0,045 \cdot 49,39 = 32(т/ч).$$

Таблица 2.10 – Поправочный коэффициент на тонкость помола

Остаток на сите 0,08%	K
5	0,765
6	0,818
7	0,865
8	0,912
12	1,090
16	1,258
18	1,342
100	4,700

Общая мощность, потребная для вращения мельницы находиться по формуле:

$$N = \frac{0,4 \cdot M_ш \cdot R \cdot N_{опт}}{\eta}, \qquad (2.38)$$

где $M_ш$ – общий вес мелющих тел, загружаемых в мельницу, т;

R – радиус корпуса мельницы в свету, м;

$N_{опт}$ – число оборотов мельницы в минуту, об/мин;

ŋ – механический КПД мельницы, учитывающий потери на преодоление трения в подшипниках приводного механизма и цапфовых подшипниках; ŋ = 0,90 – 0,94 для мельниц с центральным приводом.

$$N = \frac{0,4 \cdot 68,41 \cdot 1,1 \cdot 19,8}{0,9} = 662,21(кВт).$$

Годовой расход электроэнергии при работе мельницы определяется по формуле:

$$W_г = \frac{a \cdot N \cdot T_г}{\eta_д}, \qquad (2.39)$$

где а – коэффициент использование мельницы;

$T_г$ – число часов в году, ч;

$\eta_д$ – КПД электродвигателя (0,76).

$$W_г = \frac{0,8 \cdot 662,21 \cdot 8760}{0,76} = 6106273,26(кВт \cdot ч).$$

Вывод: был изучен процесс получения портландцемента по мокрому способу и описано основное технологическое оборудование. Были произведены расчеты материального баланса получения клинкера, где приход и расход сошлись, а также произведён расчёт печи для обжига цементного клинкера и шаровой мельницы.

3 Экономическая часть

3.1 Основное оборудование

Основные фонды – это средства труда, которые многократно участвуют в производственном процессе, сохраняя при этом свою натуральную формулу, постепенно изнашиваясь, переносят свою стоимость по частям на вновь создаваемую продукцию. К ним относят фонды со сроком службы более одного года и стоимостью более 100 минимальных месячных заработных плат. Основные фонды подразделяются на производственные и непроизводственные фонды.

Производственные фонды участвуют в процессе изготовления продукции или оказании услуг (станки, машины, приборы, передаточные устройства и т.д.).

Непроизводственные основные фонды не участвуют в процессе создания продукции (жилые дома, детские сады, клубы, стадионы, поликлиники, санатории и т. д.).

Выделяются следующие группы и подгруппы основных производственных фондов:

1) Здания (архитектурно-строительные объекты производственного назначения: корпуса цехов, складские помещения, производственные лаборатории и т.д.).

2) Сооружения (инженерно-строительные объекты, создающие условия для осуществления процесса производства: тоннели, эстакады, автомобильные дороги, дымовые трубы на отдельном фундаменте и т.д.).

3) Передаточные устройства (устройства для передачи электроэнергии, жидких и газообразных веществ: электросети, теплосети, газовые сети, трансмиссии и т.д.).

4) Машины и оборудование (силовые машины и оборудование, рабочие машины и оборудование, измерительные и регулирующие приборы и устройства,

вычислительная техника, автоматические машины, прочие машины и оборудование и пр.).

5) Транспортные средства (тепловозы, вагоны, автомобили, мотоциклы, кары, тележки и т.д., кроме конвейеров и транспортеров, включаемых в состав производственного оборудования).

6) Инструмент (режущий, ударный, давящий, уплотняющий, а также различные приспособления для крепления, монтажа и т.д.), кроме специального инструмента и специальной оснастки.

7) Производственный инвентарь и принадлежности (предметы для облегчения выполнения производственных операций: рабочие столы, верстаки, ограждения, вентиляторы, тара, стеллажи и т.п.).

8) Хозяйственный инвентарь (предметы конторского и хозяйственного обеспечения: столы, шкафы, вешалки, пишущие машинки, сейфы, множительные аппараты и т.п.).

9) Прочие основные фонды. В состав этой группы включают библиотечные фонды, музейные ценности и т.д.

Удельный вес (в процентах) различных групп основных фондов в общей стоимости их на предприятии представляет структуру основных фондов. На предприятиях машиностроения в структуре основных фондов наибольший удельный вес занимают: машины и оборудование – в среднем около 50%, здания – около 37%.

В зависимости от степени непосредственного воздействия на предметы труда и производственную мощность предприятия основные производственные фонды подразделяют на активные и пассивные. К активной части основных фондов относят машины и оборудование, транспортные средства, инструменты. К пассивной части основных фондов относят все остальные группы основных фондов. Они создают условия для нормальной работы предприятия.

Стоимость технологического оборудования определяется на основании его количества и цены. Цены принимаются среднеотраслевые.

Стоимость технологического оборудования представлена в таблице 3.1

Таблица 3.1- Стоимость технологического оборудования

Наименование оборудования	Количество единиц	Стоимость, руб.	
		единицы	всего
Печь обжига	3	350000	1050000
Ленточный транспортер	2	10000	20000
Электрофильтр ДГП-55-3	1	886000	886000
Дымосос	3	51000	153000
Роторная дробилка	2	335000	670000
Всего	11	-	2 779 000
Неучтенное оборудование 15%	-	-	416 850
Итого	-	-	3 195 850

Проектируемое производство характеризуется наличием трубопроводов. В дипломном проекте их стоимость принимается по среднеотраслевому показателю 15% от стоимости оборудования:

$$C_{(\text{трубопроводов})} = \frac{3195850 \times 15}{100} = 479377{,}5\ (\text{руб}).$$

Обеспечение нормального хода технологического процесса определяется контрольно-измерительными и регулирующими приборами. В проектируемом производстве их стоимость составляет 5% от итоговой стоимости оборудования:

$$C_{(\text{КИПиА})} = \frac{3195850 \times 5}{100} = 159792{,}5\ (\text{руб}).$$

На основании вышеизложенных расчетов определяется итоговая стоимость основных фондов.

Итоговая стоимость основных фондов представлена в таблице 3.2

Таблица 3.2- Итоговая стоимость основных фондов

Наименование объекта	Стоимость ,руб.
Здания и сооружения	450 500 000
Печь обжига	1050000
Ленточный транспортер	20 000
Электрофильтр ДГП-55-3	886000
Дымосос	153 000
Трубопровод	479377,5
Роторная дробилка	670 000
Неучтенное оборудование	416 850
КИП и А	159792,5
Итого	454 335 020

Амортизация - это процесс переноса стоимости основных средств на стоимость готовой продукции, то есть денежная оценка износа основных средств.

Норма амортизации представляет собой установленный государством годовой процент погашения стоимости основных фондов и определяет сумму ежегодных амортизационных отчислений.

Амортизационные начисления образуют амортизационный фонд. Он расходуется на полное восстановление основных средств, то есть покупку или строительство новых.

Годовая сумма амортизационных отчислений определяется по формуле:

$$A_г = \frac{Ф_{п(б)} \cdot Н_а}{100\%}, \quad (3.1)$$

где $А_г$ – годовая сумма амортизационных отчислений, руб.;

$Ф_{п\,(б)}$ – первоначальная (балансовая) стоимость, руб.;

$Н_а$ – норма амортизации, %.

$$Н_а = \frac{100\%}{СПИ}, \quad (3.2)$$

где СПИ – срок полезного использования (лет). Определяется, согласно классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы. Расчет амортизационных отчислений представлен в таблице 3.3

Таблица 3.3- Расчет годовой суммы амортизации

Наименование объектов	Стоимость, тыс. руб.	СПИ лет	Амортизация	
			Норма, %	Сумма , тыс. руб.
Здания и сооружения	450 500 000	50	2	9 010 000
Печь обжига	1050000	10	10	105 000
Ленточный транспортер	20 000	3	33,3	6 660
Электрофильтр ДГП-55-3	886000	10	10	88 600
Дымосос	153 000	10	10	15 300
Трубопровод	479377,5	10	10	47937,75
Роторная дробилка	670 000	10	10	67 000
Неучтенное оборудование	416 850	5	20	83 370

Продолжение таблицы 3.3- Расчет годовой суммы амортизации

Наименование объектов	Стоимость, тыс. руб.	СПИ лет	Амортизация	
			Норма, %	Сумма , тыс. руб.
КИП и А	159792,5	10	10	15979,25
Итого	454 335 020	-	-	9 439 847

3.2 Расчет материальных затрат на производство

Сырье - это материал, предназначенный для дальнейшей обработки на производстве. По сути, именно с него начинается выпуск любой продукции. Переоценить роль исходного материала сложно, так как именно от этого зависит качество изделия. Сегодня существует огромное количество различных групп, подгрупп и видов сырья. Классификация сырья - это весьма условное понятие. Принято выделять две основные группы: промышленное и сельскохозяйственное. К промышленному относятся полезные ископаемые и энергоносители. Сельскохозяйственное сырье - это зерновые, молочные продукты, мясо, лекарственные растения. Разделить все виды сырья можно еще на две группы: оно может быть первичным (непосредственно добытым или собранным) и вторичным (в виде побочного продукта). Вторичная группа материалов широко используется в промышленности, что позволяет значительно сократить затраты. По происхождению все виды сырья можно разделить на 4 подгруппы:

1) Растительного происхождения (злаки, плодово - овощные культуры, травы).

2) Животного происхождения (молочные продукты, экскременты животных).

3) Минерального происхождения (природный газ, уголь).

4) Биосфера (вода и воздух).

Материальные затраты – это часть средств, которые тратят на производство услуг и товаров. В эту долю входят затраты на транспортировку, сырьё, обслуживание материалов, хранение, само производство, дальнейшую обработку и так далее до получения дохода и реализации. Материальные затраты составляют часть себестоимости готового продукта.

Стоимость материальных затрат на производство 360 000 тонн клинкера в год

Таблица 3.4 - Стоимость материальных затрат на производство 1 тонны готового продукта

Наименование сырья	Цена	Единицы измерения	Количество	Сумма .руб.

Известняк	743,00	тонна	0,57	423,51
Нефелиновый шлам	465,00	тонна	0,747	347,355
Боксит	1200,00	тонна	0,073	87,6
Итого	-	-	-	858,465

Стоимость материальных затрат на производство 360 000 тонн клинкера в год будет равно: 309 047 400 рублей.

3.3 Труд и заработная плата

Режим работы проектируемого участка непрерывный. Поэтому же режиму работает вспомогательный дежурный персонал. Исходя из этого, для основных рабочих предусмотрен трехсменный режим работы с продолжительностью смены 8 часов. Персонал, осуществляющий капитальный ремонт оборудования, имеет пятидневную рабочую неделю при односменном режиме.

В соответствии с календарным периодом 2019 года плановое количество рабочего времени при сорокачасовой неделе 247 дней. Трудовым кодексом РФ и коллективным договором предприятия предусматриваются невыходы на работу по уважительным причинам. В дипломном проекте предусматриваются следующие причины плановых невыходов на одного работника:

- ежегодный отпуск - 28 дней;

- временная нетрудоспособность - 4 дня ;

Итого: 32 рабочих дня.

Таким образом, по плану 2019 года каждый среднесписочный работник должен отработать:

247-32=215 (дней).

При условии продолжительности смены 11 часов это составит:

215×11=2 365 (часов).

Для обеспечения бесперебойной работы оборудования на участке планируются бригады по ремонту и обслуживанию оборудования.

В промышленности применяется сдельная и повременная форма заработной платы, каждая из которой имеет свои разновидности (системы).

Сдельная форма применяется в условиях ручных и машиноручных работ. Основой заработной платы является сдельная расценка. Она рассчитывается на предприятии исходя из конкретных условий, технологий и оборудования. Расценка рассчитывается по тарифной ставки разряда рабочего и нормы выработки. Сдельная заработная плата имеет две основные разновидности:

- простая сдельная заработная плата определяется на основании количества произведенной продукции;

-сдельно-повременная заработная плата является самой распространенной.

Работникам по окончании календарного месяца выплачивается премия в соответствии с принятым на предприятии положением.

Повременная заработная плата устанавливается в условиях конвейерных и аппаратурных процессах и для дежурного персонала. Зарплата определяется отработанным временем и тарифной ставкой присвоенного разряда.

В дипломном проекте принимается повременно-премиальная система оплаты труда. Это связано с особенностями процесса. В соответствии с законодательством, работа в праздничные дни оплачивается в двойном размере. За работу в ночь производится доплата 40%. Предприятие может устанавливать более высокие доплаты. Кроме того, предприятие может устанавливать доплаты за профессиональное мастерство, руководство бригадой, расширение зон обслуживания и т.д. Предприятие самостоятельно определяет и начисляет премию на эти доплаты. Численность и должностные оклады руководящего состава принимаются по уровню действующих предприятий.

Таблица 3.5 - Численность и должностные оклады руководящего состава.

Наименование должности	Число штатных	Должностной оклад	Премия 40%	Месячный фонд оплаты	Годовой фонд оплаты труда,

	единиц	руб/мес.		труда, руб.	руб.
Начальник цеха	1	73 800	29 520	103 320	1 239 840,00
Химик-технолог	1	66 420	26 568	92 988	1 115 856,00
Мастер по технологии	1	62 730	25 092	87 822	1 053 864,00
Сменный мастер	4	55 350	22 140	309 960	3 719 520
Итого	7	-	-	594 090	7 129 080

Расчет заработной платы основных и вспомогательных рабочих представлен в таблицах 3.6 и 3.7.

Таблица 3.6 - Расчет годового фонда заработной платы основных рабочих рабочих

Профессия	Разряд	Кол-во чел.	Тарифная ставка, руб.	Эффективный фонд времени, час.		Фонд основной заработной платы, руб.				Фонд Дополнительный заработной платы, руб.	Итого годовой фонд, руб.	Средняя заработная плата в месяц, руб.
				Одного рабочего	Всех рабочих	Тарифный фонд	Доплаты и надбавки 40%	Премия 20%	Итого			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Дозировщик сырья	3	8	170	2365	18920	3216400	1286560	643280	5146240	514624	5660864	53857
дробильщик	4	8	185	2365	18920	3500200	1400080	700040	5600320	560032	6160352	64170
обжигальщик	3	8	170	2365	18920	3216400	1286560	643280	5146240	514624	5660864	53857
вентилятор щик	4	8	185	2365	18920	3500200	1400080	700040	5600320	560032	6160352	64170
Итого						13433200	5373280	2686640	21493120	2149312	23642432	246275

Таблица 3.7 - Расчет годового фонда заработной платы вспомогательных рабочих

Профессия	Разряд	Кол-во чел.	Тарифная ставка, руб.	Эффективный фонд времени, час.		Фонд основной заработной платы, руб.				Фонд Дополнительной заработной платы, руб.	Итого годовой фонд, руб.	Средняя заработная плата в месяц, руб.
				Одного рабочего	Всех рабочих	Тарифный фонд	Доплаты и надбавки 40%	Премии 20%	Итого			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
электрик	4	6	174	2365	14190	2469060,0	987624,0	493812,0	3950496,0	3950496,0	4345545,6	603534,9
чистильщик	3	8	165	2365	18920	3121800,0	1248720,0	624360,0	4994880,0	4994880,0	5494368,0	572233,0
итого			-	-	-	5590860,0	2236344,0	1118172,0	8945376,0	8945376,0	9839913,6	1175767,9

3.4 Смета расходов на содержание и эксплуатацию оборудования

В статью «Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования» включаются: амортизация машин, оборудования и транспортных средств на полное восстановление, затраты на эксплуатацию оборудования и все виды ремонта, внутризаводское перемещение грузов, износ малоценных и быстроизнашивающихся инструментов и приспособлений, платежи по обязательному страхованию оборудования, а также отдельных категорий работников, прочие расходы.

Затраты – это экономический показатель, который отражает стоимость всех товаров и услуг по факту, которые были приобретены с целью производства и реализации продукции, услуг и работ.

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования включает в себя:

- заработную плату и отчисления на социальные нужды ремонтного и дежурного персонала;
- амортизацию машин, оборудования и транспортных средств;
- затраты на смазочные, обтирочные и прочие вспомогательные материалы;
- затраты на запасные части;
-энергетические затраты, связанные с ремонтом оборудования.

Таблица 3.8 - Смета расходов на содержание и эксплуатацию оборудования

Наименование затрат	Сумма, тыс. руб.
Зарплата вспомогательных рабочих	9 839 913,6
Страховые взносы (30,2%)	2 971 653,9
Оптирочные и смазочные материалы(0,03%)	115 050,6
Прочие расходы (0,75%)	28 762,65
Амортизация оборудования	429 847
Итого	13 385 227,75

3.5 Расчет общецеховых расходов

Управленческие и хозяйственные расходы цеха. В цеховые расходы включаются: затраты по содержанию управленческого и хозяйственного персонала цехов (основная и дополнительная заработная плата с отчислениями на социальное страхование); сумма амортизации; затраты на содержание и текущий ремонт зданий, сооружений и инвентаря, числящихся в составе основных средств цеха; затраты на испытания, опыты и исследования, а также по рационализации и изобретательству; расходы на мероприятия по охране труда; сумма износа малоценного и быстроизнашивающегося хозяйственного инвентаря цехов и затраты на его ремонт и восстановление в процессе эксплуатации; прочие расходы, а также некоторые непроизводительные затраты.

Таблица 3.9 - Смета цеховых расходов

Наименование затрат	Сумма , тыс. руб.
Расходы на управление	7 129 080
Страховые взносы	2 152 982,16
Содержание зданий и сооружений	9 010 000
Текущий ремонт зданий	4 505 000
Амортизация	9 010 000
Расходы на охрану труда	2 364 243,2
Итого	34 171 305,36

3.6 Расчет общехозяйственных расходов

Общехозяйственные расходы – это затраты, которые несет предприятие на выполнение функции обслуживания и управления своих подразделений, относящихся как к основному, так и вспомогательному производству. Общехозяйственные расходы включают в себя:

- расходы по оплате труда администрации и персонала управления;
- отчисления, направляемые в фонд соцзащиты населения;

- командировочные и затраты на разъезды по необходимым служебным вопросам; - расходы на почтовые и телеграфные переводы;

- расходы на канцелярские принадлежности;

- типографские услуги;

-отчисления на восстановление основных средств, относящихся к общехозяйственной группе;

- затраты, произведенные на проведение мероприятий по охране труда и соблюдение техники безопасности;

- расходы на оплату отпусков, которые положены молодым специалистам перед началом трудовой деятельности;

- расходы, производимые при сокращении численности работников организации;

- оплата информационных, а также консультационных услуг;

- расходы на аудиторские проверки;

- непроизводительные затраты;

- налоги и обязательные сборы.

В своем диплом проекте я принимаю общехозяйственные расходы 30% от суммы заработной платы основных рабочих и РЭСО.

Таблица 3.10 - Общехозяйственные расходы

Наименование затрат	Сумма, руб.	Общехозяйственные расходы , руб.
Заработная плата основных рабочих	23 642 432	7 092 729,6
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	13 385 227,75	4 015 568,33
Итого	37 027 659,75	11 108 297,93

3.7 Расчет себестоимости производства 360 000 тонн клинкера в год

Себестоимость продукции – это сумма всех издержек, которые несет предприятие по изготовлению товара и его последующей реализации.

Себестоимость товаров и услуг зависит от множества факторов, в том числе и от наличия современного оборудования на производстве, его количества и качества, количества рабочей силы и уровня ее профессиональной подготовки (от этого зависит зарплата рабочих) и т.д. При этом следует учитывать, что если предприятие решит закупить новое оборудование или расширить штат сотрудников, то это естественным образом скажется на цене продукции. При рассмотрении классификации видов себестоимости следует учитывать, что существуют два таких понятия, как себестоимость производства и себестоимость реализации товаров и услуг. В основном же виды себестоимости рассматриваются, исходя из ее состава. Здесь есть своя определенная классификация, на которую опираются специалисты при определении цены готовой продукции. Общая себестоимость всей продукции, которую произвело предприятие, получается путем подсчета всех затрат на материалы, их доставку и производственный процесс. Тогда как индивидуальная себестоимость рассчитывается отдельно для каждой единицы товара. Технологическая себестоимость (или операционная, агрегатная) – это сумма тех затрат, которые понадобились на выполнение определенной конкретной операции. Еще есть такие виды себестоимости, как цеховая и производственная. Первая отражает все затраты, потребовавшиеся на производство продукции в цеху. Сюда входит и амортизация оборудования, затраты на его обслуживание эксплуатацию, и зарплата рабочих цеха, в том числе и социальные отчисления. Этот вид себестоимости используется для определения планово-расчетных цен внутри завода. Производственная себестоимость – это понятие более широкое. Она включает в себя и цеховую цену, и разные расходы (общезаводские, на вспомогательное производство). Виды себестоимости включают в себя также полную, которая охватывает абсолютно все затраты, непосредственно связанные с изготовлением и реализацией продукции. Помимо

всего прочего, в полную себестоимость входят непроизводственные затраты: реклама товара или услуги, затраты на упаковку и хранение товара, а также на его перевозку из одного пункта в другой. Существует и другая классификация, в которой виды себестоимости различаются в соответствии со способами расчета. К ним относятся следующие: плановая, нормативная и фактическая себестоимость.

Таблица 3.11 - Себестоимость

Статьи затрат	Сумма, руб.
Сырье и материалы	309 047 400
Заработная плата основных рабочих	23 642 432
Социальные взносы	7 140 014,46
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	13 385 227,75
Общецеховые расходы	34 171 305,36
Общехозяйственные расходы	11 108 297,93
Полная себестоимость	398 494 677,5
Себестоимость 1 тонны клинкера	1106,93

Вывод

В дипломной проекте мною произведен расчет себестоимости 360 000 тонн клинкера в год. В себестоимость входят: стоимость сырья и материалов, заработная плата основных рабочих , социальные отчисления от заработной платы основных рабочих, расход на содержание и эксплуатацию машин и оборудования, общецеховые расходы, общехозяйственные расходы. В результате расчетов себестоимость 360 000 т. клинкера равна: 398 494 677,5 рублей.

4 Охрана труда и охрана окружающей среды

4.1 Опасные и вредные производственные факторы

В производстве цемента осуществляется транспортировка и переработка твердых: известняк, щебень, глина, карбонат кальция конверсионный, шлам отвальный известковый, боксит, шлам конвертерный, шлак сернокислотного производства, гипс, шлак доменный, клинкер, цемент, и газообразных: газ природный – веществ.

Опасными и вредными производственными факторами процесса производства цемента в соответствии с ГОСТ 12.0.003 являются:

Физические:

- движущиеся машины и механизмы (печи обжига клинкера, мельницы, транспортеры, элеваторы, конвейеры, шнеки); подвижные части производственного оборудования (питатели, дозаторы);
- повышенная запыленность воздуха рабочей зоны (сырьевые компоненты, клинкер и цемент);
- повышенная температура поверхностей оборудования (печи обжига клинкера и мельницы помола цемента) и материалов (клинкер и цемент);
- повышенная температура воздуха рабочей зоны (зоны печей обжига клинкера и мельниц помола цемента);
- повышенный уровень шума на рабочих местах;
- повышенный уровень вибрации;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи;
- повышенная напряженность электрического поля;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования.

Химические опасные и вредные производственные факторы:

известняк, щебень, глина, карбонат кальция конверсионный, шлам отвальный известковый, боксит, шлам конвертерный, шлак сернокислотного производства, гипс, шлак доменный, клинкер, цемент.

4.2 ПДК вредных веществ

ПДК – это Государственный гигиенический норматив для использования при проектировании производственных зданий, технологических процессов, оборудования, вентиляции, для контроля качества производственной среды и профилактики неблагоприятного воздействия на здоровье работающих.

ПДК – концентрации, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 часов или при другой продолжительности, но не более 41 часа в неделю, в течение всего рабочего стажа не могут вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. ПДК для большинства веществ являются максимально разовыми, т. е. содержание вещества в зоне дыхания работающих усреднено периодом кратковременного отбора проб воздуха: 15 минут для токсических веществ и 30 минут для веществ, преимущественно фиброгенного действия. Для высококумулятивных веществ наряду с максимально разовой установлена среднесменная ПДК, средняя концентрация, полученная при непрерывном или прерывистом отборе проб воздуха при суммарном времени не менее 75% продолжительности рабочей смены или концентрация средневзвешенная во времени длительности всей смены в зоне дыхания работающих на местах постоянного или временного их пребывания.

Под воздействием применяемого оборудования и технологических процессов в рабочей зоне создается определенная внешняя среда. Ее характеризуют микроклимат, содержание вредных веществ, уровень шума, вибраций, излучений, освещенность рабочего места.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать установленных ПДК.

В соответствии с СН 245-7 и ГОСТ 12.1.007-76 БТ все вредные вещества по степени воздействия на организм человека подразделяют на четыре класса опасности:

- первый класс – чрезвычайно опасные с ПДК < 0,1 МГ/М3 (свинец, ртуть – 0,001 мг/м³);

- второй класс – высокоопасные с ПДК = 0,1-1,0 мг/м^3 (хлор – 0,1 мг/м3; серная кислота – 1 мг/м^3);

- третий класс – умеренно опасные с ПДК = 1,1 -1 0 мг/м³ (спирт метиловый – 5 мг/м³; дихлорэтан – 10 мг/м^3);

- четвертый класс – малоопасные с ПДК > 10 мг/м³ (например, аммиак – 20 мг/м^3; ацетон – 200 мг/м³; бензин, керосин – 300 мг/м^3; спирт этиловый 1000 мг/м^3).

Согласно требованиям санитарных норм и системы стандартов безопасности труда, на предприятиях должен осуществляться контроль содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Там, где применяются высокоопасные вредные вещества первого класса – контроль непрерывный, с помощью автоматических самопишущих приборов, выдающих сигнал при превышении ПДК. Там, где применяют вредные вещества второго, третьего и четвертого классов, должен осуществляться периодический контроль путем отбора и анализа проб воздуха. Отбор производят в зоне дыхания в радиусе до 0,5 м от лица работающего; берется не менее пяти проб в течение смены.

4.3 Правила безопасной эксплуатации основного оборудования

Безопасная эксплуатация машин химических производств. Для безопасной эксплуатации машин химических и смежных производств (измельчители, смесители, центрифуги, центробежные сепараторы, фильтры и др.) должен выполняться ряд общих требований, исполнение которых обеспечивает их

безопасную работу. Среди таких основных требований следует отметить следующие:

- все движущиеся и передаточные механизмы (клиноремённые передачи, муфты и т.д.) должны иметь ограждения, предохраняющие доступ к ним во время работы;

- при обработке вредных продуктов должно обеспечиваться хорошее уплотнение валов, разъёмных соединений (крышки, штуцеры, клапаны) и других элементов конструкций, где возможно просачивание продуктов в окружающую среду;

- пусковые устройства должны располагаться таким образом, чтобы оператор имел возможность просматривать все рабочие места и проходы около работающей машины;

- машина должна быть немедленно остановлена при возникновении недопустимо большой вибрации, изменения характера шума во время работы (резкие звуки, стуки), нагреве подшипников выше нормы;

- машина должна быть обязательно заземлена, чтобы обеспечить безопасность обслуживающего персонала от статического электричества и предотвратить возможное возгорание пыли в некоторых машинах.

Рассмотрим общие условия безопасной работы для некоторых машин химических и смежных производств.

Общими условиями безопасной работы для измельчающих машин являются:

- механизированная равномерная загрузка и выгрузка материалов;

- предотвращение выброса материала из машины;

- установка устройств, предупреждающих поломку деталей и обеспечивающих быстрый останов машины в случае поломки;

- меры по предотвращению или уменьшению пыления. Для предотвращения пылевыделения измельчающие машины должны быть закрыты, обеспечены аспирационными отсосами, блокируемыми с пусковыми устройствами и поддерживающими внутри машины небольшое разряжение.

Чтобы исключить загорание и взрыв пыли при измельчении угля, серы и других горючих материалов, а также многих органических веществ, необходимо устранить возможность воспламенения прежде всего от статического электричества (например, заземлением), поддерживать высокую концентрацию пыли, при которой она не способна воспламеняться, в отдельных случаях вести процесс в среде инертного газа.

В щёковых и конусных дробилках для удаления металлических предметов в местах загрузки на пути транспортирования должны быть установлены магнитные ловушки.

В дезинтеграторах, молотковых дробилках и мельницах имеется опасность выброса центробежной силой износившихся частей 50 пальцев или бил, поэтому корпус этих машин должен быть достаточно прочным.

При эксплуатации мельниц особую опасность представляют вибрация и шум. Для снижения шума и вибраций следует применять относительно «мягкие» опорные элементы, гасящие вибрацию, передаваемую на опорные конструкции. Обычно мельницы работают в сверхрезонансном режиме с соотношением частот вынужденных и собственных колебаний более 4:1. Рабочие места, где находится обслуживающий персонал, должны быть установлены на вибрационных прокладках из пористой резины, или рабочих следует снабдить специальной противовибрационной одеждой – ботинками и рукавицами, в которых изолирующим материалом служит мягкая крупнопористая резина.

Уровень шума существенно увеличивается при ослаблении креплений пружин-амортизаторов, поэтому при профилактических осмотрах помимо ревизии технического состояния узлов и деталей мельниц особое внимание следует обращать на состояние узлов крепления пружин, футеровки, люков и т.п.

Корпус мельницы сильно нагревается, поэтому он должен быть защищён ограждениями, исключающими возможность контакта обслуживающего персонала с нагретыми частями мельниц. Большинство

смесителей имеют движущие части, поэтому к ним предъявляются требования, как и к другим машинам химических производств.

Смесители периодического действия для сыпучих материалов должны иметь аспирационные системы, осуществляющие отсасывание пылевоздушной массы от разгрузочных и загрузочных штуцеров и последующее отделение пыли от воздуха.

При эксплуатации смесителей для полимерных материалов следует контролировать исправность системы охлаждения корпуса и ротора смесителя, так как в случае превышения температуры более установленного предела может нарушиться технологический процесс, возникнуть дополнительные напряжения в элементах машины, что приведёт к нарушению герметичности машины, уменьшению зазоров в подшипниках, заклиниванию роторов и в итоге к поломке. В смесителях для высоковязких материалов предъявляются повышенные требования к защите двигателей от перегрузки.

Как внутри смесителя, так и во время его открытия возможно образование взрывоопасной смеси, поэтому необходимо строго соблюдать установленные режимы вентиляции, использовать инертные газы, особенно в тех случаях, когда горючие газы выделяются в самом процессе смешения.

Безопасная эксплуатация технологических печей. Печи, применяемые в химической промышленности, можно разделить на две основные группы – реакционные аппараты и печи для получения теплоты, необходимой для технологического процесса.

Для всех видов печей характерными опасностями являются возгорание, хлопки и взрывы, при этом обслуживающий персонал может подвергнуться термическим ожогам и отравлению продуктами сгорания. Для обеспечения безопасной работы особое внимание необходимо уделить выбору огнеупорных и связующих материалов для футеровки внутреннего рабочего пространства печей. В печах, работающих на жидком и газообразном топливе, возможны выбросы пламени, хлопки и взрывы при неправильном розжиге или нарушении процесса горения, в случае подачи топлива при пуске печи без запала или при внезапном

прекращении и возобновлении подачи топлива в печь. Чтобы избежать взрывов, топку печи обязательно оборудуют пусковым запальным устройством, блокированным с устройством подачи топлива в печь. При любом срыве пламени в печи необходимо перекрыть подачу топлива и продуть паром топочное пространство, чтобы удалить взрывоопасную смесь. Предотвратить возможность взрыва газовых смесей внутри печи позволяет применение беспламенных панельных горелок, теплоотдача в которых осуществляется не от газового факела, а от раскалённых стенок печи. Для защиты печей от разрушений при небольших взрывах в торцовых стенках предусматриваются выхлопные окна или предохранительные легко разрушаемые панели.

Одно из важнейших условий безопасной эксплуатации печей – наличие тяги, создаваемой дымососами или дымовыми трубами. Для повышения безопасности труда рабочие отверстия печей закрываются заслонками с запорными устройствами и термоизоляционными покрытиями. Открывание и закрытие заслонок должно быть механизировано. Смотровые окна следует закрывать синими стеклами для ограничения интенсивности излучения.

В случае применения жидкого топлива (мазута) расходные хранилища располагают изолированно от печи. Они должны иметь вентиляцию, измеритель уровня, переливные линии без запорной арматуры для предотвращения переполнения ёмкости и спусковые линии, соединённые с аварийной ёмкостью, установленной вне печного помещения. В печах, предназначенных для получения теплоты, необходимой для технологического процесса, в качестве теплоносителя широко используется водяной пар. Особые свойства пара как теплоносителя состоят в том, что с повышением его температуры значительно возрастает давление в трубах. Поэтому насыщенный водяной пар применяют при температурах до 180… 190°С, а это возможно при его давлении 1,0…1,2 МПа. Наличие давлений в системах всегда сопряжено с отрицательными явлениями, поэтому используют и другие высокотемпературные жидкие теплоносители, не имеющие этого недостатка, например, производные ароматических углеводородов (масла), которые позволяют получать температуру нагрева до 400°С при

атмосферном давлении, или неорганические теплоносители (расплавленные соли и металлы), с помощью которых при атмосферном давлении осуществляется нагрев до 800°С и выше.

4.4 Общие правила безопасности при работе на цементном производстве

Общие требования безопасности. Производство цемента – производительная площадка, являющаяся обособленным подразделением АО «ГлаЦем», находящаяся на территории АО «Метахим» – предприятия со значительным количеством движущегося транспорта, действующих механизмов, станков, сосудов, работающих под давлением, и других опасных и вредных производственных факторов.

Технологический процесс Производства цемента связан с подготовкой сырьевой пульпы (для дальнейшего получения клинкера) в отделении подготовки сырья, получение клинкера в печах обжига – в отделении обжига, размолом клинкера – в отделении помола цемента.

Эти отделения являются источниками опасных и вредных факторов, которые определяются наличием запыленности, повышенного уровня вибрации и шума, движущихся машин, механизмов (в том числе грузоподъемных механизмов), работа на высоте, работа на газовом оборудовании и др.

Несоблюдение охраны труда при обслуживании и эксплуатации оборудования может повлечь за собой несчастный случай.

Запрещено приходить на работу в состоянии алкогольного, наркотического или иного вида опьянения, а также принимать алкогольные напитки и наркотики.

Во избежание возникновения случаев травматизма и профзаболеваний работники всех подразделений обязаны правильно применять выделенные им средства индивидуальной защиты.

Кроме того, каждый работающий на предприятии должен знать и строго выполнять:

- правила внутреннего трудового распорядка;

- инструкции по охране труда по своей специальности;

- технологические, производственные, должностные и рабочие инструкции;

- регламент по производству продукции.

На территории предприятия курение табака на рабочих местах, в помещениях и на территории предприятия не допускается, за исключением специально отведенных для этого мест, обозначенных знаком «Место для курения».

Требования безопасности при передвижении по территории предприятия и отделений

Входить на территорию предприятия и выходить с предприятия только через предназначенные для этой цели проходные.

Ходить по территории предприятия по тротуарам и переходам, специально предназначенным для пешеходного движения. На дорогах, где отсутствуют тротуары, ходите по левой стороне дороги, т. е. навстречу движущемуся транспорту. Сойти с дороги на обочину, если увидите автомашину, не ожидая сигнала водителя.

Соблюдать правила пешеходного передвижения в производственных помещениях структурных подразделений предприятия, где возможно движения транспорта.

Строго соблюдается маршрут движения к цеху и к рабочему месту.

Переходить автомобильные дороги только в местах, обозначенных переходами, а железнодорожные пути – только через специально оборудованные переезды.

Не переходить и не перебегать дорогу перед идущим транспортом.

Не перепрыгивать через ямы и канавы, переходить через них по специальным мосткам, не пользоваться для перехода через низ случайными предметами.

Не заходить в монтажные и ремонтно-строительные зоны, имеющие ограждения.

Не заходить в зону действия подъемных сооружений и механизмов.

Запрещается ездить на любом из видов внутризаводского и внутрицехового транспорта, не имея водительских прав.

Перевозка людей транспортными средствами, не оборудованными соответствующим образом, не допускается. Проезд разрешается только сопровождающему груз работнику при условии, что для него оборудовано место для сидения, расположенное ниже уровня борта не менее чем на 300 мм.

Во время движения автомобиля запрещается:

- садиться в кузов, кабину и прыгать из него;

- стоять в кузове, сидеть на бортах и держаться за них;

- переходить с одного места на другое.

Находясь в зоне железнодорожных путей, будьте осторожны и внимательны.

Перед переходом железнодорожных путей убедитесь в том, что на них нет движущегося подвижного состава.

Не ходить по железнодорожным путям, не стоять и не садиться на них.

Не переходить железнодорожные пути под вагонами, между буферами не перелезайте через платформы.

При переходе из одной части цеха в другую прислушиваться к сигналам внутрицехового транспорта.

Проходя по производственным площадкам, не смотрите вверх без защитных очков во избежание ожога глаз от случайных капель технологических растворов.

Соблюдайте требования предупредительных надписей, плакатов и знаков безопасности.

Не заходить в те цеха и на те рабочие места, которые не обслуживаются;

Требования по организации и содержанию рабочих мест.

До начала смены получить сведения о состоянии рабочего места от рабочего, которого меняется.

Проверяйте свое рабочее место: наличие и исправность необходимого инструмента, приспособлений и защитных средств. Изделия и инструмент

располагаются так, чтобы использование его не вызывало лишних движений рук и корпуса тела.

Выполнять только ту работу, которая входит в круг ваших обязанностей или поручений мастером.

Готовые изделия, детали, материалы, тару складывайть в отдельные ля этих целей места в устойчивые штабеля. Соблюдать при этом порядок складирования, указанных в инструкции или мастером. Разбирать штабель только сверху.

Хранить инструмент, приспособления, приборы, инвентарь и материалы в специальных инструментальных шкафах.

Используются инструменты, приспособления, приборы, инвентарь и материалы только по их прямому назначению.

Не допускать к работе на механизмах лиц, не связанных с их обслуживанием, не перепоручать свою работу другому.

Содержать в порядке и чистоте свое рабочее место, своевременно производите уборку производственных отходов и мусора.

Запрещается скидывать с высоты любые предметы, материалы, заготовки и т.п. Для их опускания используются закрытые желоба или закрытые ящики. Нижний конец желоба должен находиться не выше 1 м над землей или входить в бункер.

Не уходить самовольно с рабочего места, не оставлять без надзора работающие станки, механизмы и агрегаты.

Обо всех нарушениях по охране труда на своем рабочем месте сообщать мастеру и записывать замечания в журнал производственного контроля 1 ступени.

Передавать и принимать рабочее место от сменщика в исправном и чистом состоянии.

Требования пожарной безопасности.

Четко знайте и выполняйте инструкцию по пожарной безопасности для того участка на котором работаете.

Не допускайте действий, которые могут привести к пожару или взрыву.

В производстве запрещается:

- допускать к производству работ, требующих специальных знаний лиц, не прошедших проверку знаний требований специальных правил, правил пожарной безопасности;

- загромождать эвакуационные выходы, устанавливать на путях эвакуации производственное оборудование, мебель, шкафы, сейфы и другие предметы;

- производить уборку помещений с применением бензина, керосина и других легковоспламеняющихся и горячих жидкостей;

- оставлять после окончания работы горящие материалы, включенные в сеть нагревательные приборы;

- производить отогревание замерших труб различных систем паяльными лампами и любыми другими способами с применением открытого огня;

- складывать горючие материалы у печей, на печах, радиаторах и трубах центрального отопления;

- переносить горячие и воспламеняющие жидкости в открытой таре;

- использовать пожарный инвентарь нужд, не связанных с пожаротушением;

- мыть руки и стирать спецодежду бензином, керосином и другими легковоспламеняющимися жидкостями, а также работать в одежде и обуви, пропитанной указанными жидкостями;

- разбрасывать металлическую стружку, промасленные обтирочные материалы и производственные отходы. Их необходимо собирать в металлические ящики с плотно закрывающимися крышками и по окончании смены выносить из производственных помещений.

Курение допускается в специально отведенных местах, оборудованных урнами для окурков, емкостями с водой и надписями «Место для курения».

Каждый работающий должен знать месторождение ближайших телефонов, первичных средств пожаротушения, а также уметь пользоваться средствами пожаротушения.

При возникновении пожара немедленно вызовите пожарную команду по телефону «06-41-01», сообщите администрации цеха и примите меры к ликвидации

пожара имеющимися средствами пожаротушения и начните, при необходимости, эвакуацию людей из опасной зоны.

4.5 Мероприятия по охране окружающей среды

В производстве цемента источниками выделения вредных веществ в окружающую среду являются:

- склад сырья;
- три печи обжига клинкера;
- три мельницы помола цемента;
- склад клинкера;
- силоса для хранения цемента.

Сырье разгружается и хранится в крытом складе. Возможно выделение пыли компонентов сырья: известняка, шлама отвального известкового, боксита, шлама конвертерного, карбоната кальция. Пыль практически не выделяется, т.к. сырье имеет естественную влажность, и содержание частиц пыли не превышает ПДК.

Для очистки печных газов за печами обжига установлены электрофильтры: на печь №1 – ЭГВМ 1-30-7,5-4-4, на печь №2 – ЭГА 30-7,5-4-4, на печь №3 – ЭГА 30-7,5-4-4.

Эффективность очистки газов 99,78 %.

Уловленная электрофильтрами пыль возвращается в технологический процесс. Очищенные газы через железобетонную трубу высотой 80 м выбрасываются в атмосферу.

При ремонте печей обжига клинкера образуются отходы огнеупорного кирпича – 80 тонн в год, которые вывозятся на полигон по размещению опасных отходов.

Жидкие отходы в производстве клинкера цемента отсутствуют. Сточные воды образуются от охлаждения подшипников опор печей обжига клинкера. Объем сточных вод, в зависимости от времени работы оборудования – от 67000 до

134000 $м^3$/мес. Вода после охлаждения подшипников (условно чистая) сбрасывается в заводской водооборот и после очистки используется для приготовления сырьевой шихты.

Для очистки запыленного воздуха после трех цементных мельниц установлен электрофильтр ЭГА 1-10-6-4-3.

Эффективность очистки газов 99,9 %.

Очищенный воздух через трубу высотой 25м выбрасывается в атмосферу. Уловленная пыль, цемент тонкой фракции – пневмовинтовыми насосами перекачивается в одну из камер двухкамерного пневматического насоса, а оттуда – в один из силосов с готовой продукцией – портландцементом.

Вывод: изучены опасные и вредные производственные факторы и ПДК вредных веществ. Ведущим вредным фактором является пыль цементного клинкера.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ – это максимальная концентрация вредного вещества, которая за определенное время воздействия не влияет на здоровье человека и его потомство, а также на компоненты экосистемы и природное сообщество в целом.

Также были рассмотрены правила безопасной эксплуатации основного оборудования и общие правила безопасности при работе на цементном производстве. Приведено описание мероприятий по охране окружающей среды.

Заключение

В результате выполнения дипломного проекта изучено производство портландцемента.

Цемент – искусственное неорганическое вяжущее вещество, как правило, гидравлическое, одно из основных строительных материалов. При затворении водой, водными растворами солей и другими жидкостями образует пластичную массу, которая затем затвердевает и превращается в камневидное тело.

Среди строительных материалов цементу принадлежит ведущее место. В современной строительной практике роль цемента в выпуске новых прогрессивных материалов и изделий для полносборного домостроения постоянно возрастает.

Портландцемент используют во всех областях стройиндустрии для приготовления цементных и бетонных растворов, сухих строительных смесей, для производства бетонных и железобетонных изделий и конструкций, а также в производстве асбестоцементных изделий. Также приведена подробная характеристика всех способов производства цемента и требования к сырьевой смеси.

Изучены теоретические основы процесса производства портладнцемента и факторы, влияющие на процесс клинкерообразования. Также рассмотрены существующие марки цементы и ГОСТы предъявляемые к нему.

Был изучен процесс получения портландцемента по мокрому способу описано основное технологическое оборудование. Были произведены расчеты материального процесса получения клинкера, где приход и расход сошлись, а также расчет шаровой мельницы и печи обжига.

Были проведены расчёты технико-экономических показателей проекта.

Изучены опасные и вредные производственные факторы и ПДК вредных веществ. Ведущим вредным фактором является пыль цементного клинкера, добавок, готового цемента. Также были рассмотрены правила безопасной эксплуатации основного оборудования и общие правила безопасности при работе

на цементном производстве. Приведено описание мероприятий по охране окружающей среды.

Литература

1. Банит Ф.Г. Механическое оборудование цементных заводов. М., Машиностроение, 2008.

2. Мухлев И.П. Общая химическая технология. М., Высшая школа, 2010.

3. Канторович З.Б. Машины химической промышленности. М., 2012.

4. Технологический регламент по производству портландцемента, 2013.

5. Егоров А.П. Общая химическая технология неорганических веществ. М., Химия, 2009.

6. Фурмер И.Э., Зайцев В.Н. Общая химическая технология М., Высшая школа, 2009.

7. Бунит Ю.Н. Химическая технология вяжущих материалов. М., Высшая школа, 2008.

8. Алексеев Б.В. Производство цемента, Белгород, 2010.

9. Самарянова Л.Б., Лайнер А.И. Технологические расчеты в производстве цемента, М., 2012.

10. Генкин А.Э. Оборудование химических заводов, М., Высшая школа, 2010.

11. Мухлев И.П. Расчеты химико-технологических процессов. Л., Химия, 2010.

12. Козулин Н.А. Примеры и задачи по курсу оборудования заводов химической промышленности. М., Машиностроение, 2010.

13. Позин М.Е. Расчеты по технологии неорганических веществ. М., Химия, 2009.

14. Торошечников Н.С. Технический анализ и контроль в производстве неорганических веществ. М., Высшая школа, 2011.

15. Кац М.И. Охрана труда в химической промышленности. М., Химия, 2011.

Список используемых источников

Интернет ресурсы:

1. http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-33/75.htm (дата обращения: 12.05.20)

2.http://fb.ru/article/249054/tsement-eto-sostav-harakteristiki-vidyi-i-proizvodstvo-tsementa (дата обращения: 12.05.20)

3.http://studbooks.net/1442724/tovarovedenie/obschie_svedeniya_tsemente9 (дата обращения: 12.05.20)

4.https://studfiles.net/preview/5578300/page:4/ (дата обращения: 12.05.20)

5.http://www.rucem.ru/tehnology/polusuhoi.php (дата обращения: 12.05.20)

6.http://msd.com.ua/cement/sposoby-proizvodstva-portlandcementa/ (дата обращения: 12.05.20)

7.https://studfiles.net/preview/5578300/page:4/ (дата обращения: 12.05.20)

8.http://stud.wiki/manufacture/2c0a65635b3bd69b4d43a89421306c37_0.html (дата обращения: 17.05.2)

9.http://www.bibliotekar.ru/5-proizvodstvo-cementa/77.htm (дата обращения: 17.05.20)