

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-строительный институт
Кафедра строительных материалов и технологии строительства

КУРСОВАЯ РАБОТА

Расчет состав сырьевой смеси для производства
сульфатостойкого портландцемента ЦЕМ II/A-III СС
тема

Преподаватель

подпись, дата

Дружинкин С.В.
инициалы, фамилия

Студент СФ20-10М, 412048065
номер группы, зачетной книжки

подпись, дата

Неверова А.А.
инициалы, фамилия

Красноярск 2020

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Магистрант Неверова А.А. номер специальности 08.04.01.10 группа СФ 20-10М

Тема: Расчет состав сырьевой смеси для производства сульфатостойкого портландцемента ЦЕМ II/A-Ш СС (ГОСТ 22266–2013 Цементы сульфатостойкие Т.У., ГОСТ 31108–2016 Цементы общестроительные)

Срок представления к защите 15 декабря 2020г.

Исходные данные для проектирования: $C_3S = 63,98\%$, $C_2S = 17,96\%$,
 $C_3A = 4,95\%$, $C_3AF = 13,08\%$

Химический состав сырьевых материалов, %

Сырьевые материалы	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	п.п.п.	W	Прочие
Известняк	4	1,43	0,58	53,27	40,72	4	
Глина	64,00	10,04	12,65	5,41	7,9	15	

Гипсовый камень (отход борогипс) – $CaSO_4 \cdot 2H_2O = 81\%$

1. Произвести расчет состава (двухкомпонентной и трехкомпонентной) сырьевой смеси.
2. Обосновать выбор способа производства цемента с подробным описанием технологических процессов с применением ресурсосберегающих технологий.
3. Перечень графического материала: Технологическая и функциональная схема производства вяжущего (формат А4).

Руководитель проекта _____ С.В. Дружинкин

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Номенклатура выпускаемой продукции	7
1.1 Технические требования	8
1.2 Требования к материалам.....	13
2 Технологическая часть	16
2.1 Расчет химического состава клинкера.....	16
2.2 Расчет составляющих компонентов цемента.....	16
2.3 Расчет состава сырьевой смеси	18
2.4 Последовательность расчета сырьевой смеси	18
3 Обоснование и выбор способа производства.....	24
3.1 Ресурсосберегающие технологии при производстве цемента	27
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	29

ВВЕДЕНИЕ

Сульфатостойкий цемент или портландцемент является специальным строительным материалом, который отличается от привычного аналога и является более устойчивым к негативным воздействиям химических соединений, так как даже грунтовые воды могут иметь в своем составе большое количество сульфатов, что в дальнейшем и приводит к разрушению бетонов. Чтобы защитить изделия и конструкции от таких воздействий применяются сульфатостойкие портландцементы. Основная область применения портландцемента включает в себя постройку насосных станций, водосбросных и водовыпускных сооружений.

В целом портландцемент является важнейшим вяжущим веществом. По производству и применению он занимает первое место среди всех других вяжущих веществ. В свою очередь сульфатостойкий портландцемент – это разновидность обычного портландцемента, его хранение допускается в более сложных условиях, что является значительным преимуществом.

Цемент – это не природный материал, является наиболее распространенным и дешевым в сравнении с другими связующими. Его производство достаточно дорогостоящий процесс, который требует больших затрат электроэнергии. Цемент является одним из самых популярных строительных материалов. При этом использовать цемент можно как самостоятельно, так и для изготовления других строительных материалов в качестве составляющего компонента, например, при изготовлении бетона и железобетона.

В сравнении с обычным цементом сульфатостойкий портландцемент обладает повышенной сульфатостойкостью и пониженной экзотермией при замедленной интенсивности твердения в начальные сроки. Этот цемент изготавливается из клинкера нормированного минералогического состава. Предназначен для применения при изготовлении бетонных и железобетонных конструктивных элементов, используют при бетонировании подводных и подземных массивов.

Сульфатостойкий портландцемент является незаменимым в сфере строительства. Там, где обычные строительные материалы не создадут крепкое сооружение, поможет сульфатостойкий портландцемент.

Также такой цемент обладает следующими преимуществами:

- Малая степень затвердевания - отличительная особенность сульфатостойкого портландцемента от обычного цемента;
- Плотность этого вида портландцемента является основным фактором, который определяет стойкость выполненной работы;
- Особенно эффективен в строительстве зданий и сооружений, которые находятся в местности с переменчивой влагой и температурным режимом.

При выборе материала необходимо обращать внимание на его состав, так как для разных почв потребуются подбирать соответствующие портландцементы.

Первый цементный завод в России появился в 1856 году. С тех пор наука не стояла на месте, разрабатывались новые технологии для того, чтобы добиться снижения цен этого материала, улучшение его качества и расширение ассортимента специальных цементов, которые имеют особые свойства. На основании разработок русских ученых была даже создана целая наука. Она носит название науки о затвердевании вяжущих веществ. Результат этой почти двухвековой работы мы видим на современном строительном рынке.

В настоящее время строительная техника предъявляет к вяжущим материалам новые высокие требования. Для производства железобетонных изделий и конструкций нужны быстротвердеющие портландцементы; для сооружения бетонных дорог — цемент, обладающий повышенной деформативной способностью и морозостойкостью; для декоративных целей требуются белые и цветные цементы, а для ремонтных работ — расширяющиеся цементы.

В соответствии с запросами строительства учеными разработана технология производства соответствующих специальных цементов для применения в разных условиях. Их ассортимент постоянно расширяется. Одновременно повышается качество цемента, растет его средняя марка.

В настоящее время существует не мало заводов производителей, у которых можно заказать портландцемент, что свидетельствует от том, что тема курсового проекта является актуальной, поскольку существует потребность строительной индустрии в использовании разнообразных видов цемента, в том числе и сульфатостойкого портландцемента.

Цели курсовой работы: выбрать способ производства цемента; отобразить технологическую и функциональную схему производства вяжущего на основе выбранного способа производства.

Задачи курсовой работы: произвести расчет состава двухкомпонентной и трехкомпонентной сырьевой смеси; обосновать выбор способа производства цемента.

1 Номенклатура выпускаемой продукции

Цементы должны соответствовать требованиям ГОСТ 22266-2013 и изготавливаться по технологической документации, утвержденной предприятием-изготовителем.

К группе сульфатостойких цементов относятся:

- сульфатостойкий портландцемент;
- сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками;
- сульфатостойкий шлакопортландцемент;
- пуццолановый портландцемент.

Все эти цементы получают измельчением портландцементного клинкера нормированного минералогического состава без добавок или с добавками.

1.1 Технические требования

Клинкер, применяемый при производстве цемента, по химическому и расчетному минералогическому составу должен соответствовать требованиям (в процентах массы клинкера), приведенным в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Требования к клинкеру при производстве цемента

Наименование показателя	Тип цемента		
	ЦЕМ I СС	ЦЕМ II/A-III СС ЦЕМ II/B-III СС ЦЕМ II/A-II СС ЦЕМ II/A-K СС	ЦЕМ III/A СС
Трехкальциевый алюминат C_3A , не более	3,5	5,0	7,0
(C_3A+C_4AF) , не более	Не нормируется	Не нормируется	22
Оксид алюминия Al_2O_3 , не более	5,0	5,0	Не нормируется
Оксид магния MgO , не более	5,0	5,0	5,0

Цемент по химическому составу должен соответствовать требованиям (в процентах массы клинкера), приведенным в таблице 2 [1].

Таблица 2 – Требования к химическому составу клинкера

Наименование показателя	Типы сульфатостойких цементов			
	ЦЕМ I СС классов и подклассов прочности 32,5Н; 32,5Б; 42,5Н	ЦЕМ I СС класса и подкласса прочности 42,5Б	ЦЕМ II/A-III СС, ЦЕМ II/B-III СС, ЦЕМ II/A-II СС, ЦЕМ II/A-K СС всех классов и подклассов прочности	ЦЕМ III/A СС всех классов и подклассов прочности
Потери при прокаливании (п.п.п.), не более	3,0	3,0	5,0	Не нормируется
Нерастворимый остаток (НО), не более	3,0	3,0	3,0	Не нормируется
Оксид серы SO ₃ , не более	2,7	3,0	3,0	3,5
Ион хлора Cl ⁻ , не более	0,1	0,1	0,1	0,1
Щелочные оксиды R ₂ O в пересчете на Na ₂ O	0,6*	0,6*	0,6*	Не нормируется
* Требование по содержанию в цементе щелочных оксидов применяют по соглашению между поставщиком и потребителем.				

В цементы любого типа разрешается вводить вспомогательные компоненты (добавки) в соответствии с требованиями ГОСТ 31108 – 2016 «Цементы общестроительные». В цементах типов ЦЕМ II и ЦЕМ III суммарное содержание основных и вспомогательных компонентов (добавок) не должно быть более указанного в таблице 1 ГОСТ 31108 – 2016 «Цементы общестроительные».

В цемент при помолу допускается вводить пластифицирующие добавки в количестве не более 0,5% от массы цемента в пересчете на сухое вещество добавки только по соглашению между поставщиком и потребителем. Если пластифицирующие добавки плохо сочетаются с суперпластификаторами или гиперпластификаторами, которые вводят в бетонную смесь или растворную смесь при их изготовлении для снижения водопотребности и/или повышения живучести этих смесей, то их не следует применять.

Высокая стойкость сульфатостойких портландцементов в сульфатных водах обусловлена тем, что в затвердевшем состоянии они содержат пониженное количество высокоосновных гидроалюминатов кальция. Этим устраняется возможность образования значительного количества гидросульфоальмината кальция трехсульфатной формы, вызывающего коррозию портландцементного камня. Развитие коррозионных процессов замедляется также вследствие ограниченного содержания в клинкере C_3S .

Такой портландцемент значительно превосходит по стойкости рядовые портландцементы, но уступает в этом отношении пуццолановым и шлаковым цементам, изготавливаемых на основе клинкера того же цементного состава. Однако эти цементы менее морозостойки. Поэтому сульфатостойкий портландцемент целесообразнее всего применять в тех случаях, когда одновременно требуется высокая стойкость против воздействия сульфатных вод, попеременного замораживания и оттаивания, высыхания и увлажнения.

Сульфатостойкий портландцемент характеризуется повышенной стойкостью в условиях сульфатной агрессии обладает пониженным тепловыделением, что обусловлено его минералогическим составом, и

несколько замедленным твердением в начальный период. Начало и конец схватывания у него такие же, как у обычного портландцемента [8].

В цемент при помоле допускается вводить гидрофобизирующие добавки в количестве не более 0,3% от массы цемента в пересчете на сухое вещество добавки, чтобы защитить от влаги, воздуха и для увеличения сроков хранения. При этом гидрофобизированный цемент при попадании хотя бы одной капли воды на поверхность цемента не должен впитывать ее в течении 5 мин.

В ходе производства цемента для интенсификации процесса помола допускается вводить технологические добавки, не ухудшающие качество цемента, в количестве не более 0,5 %, органических добавок - не более 0,1 % от массы цемента в пересчете на сухое вещество добавки. При этом суммарное содержание всех видов органических добавок, вводимых в цемент, не должно быть более 0,5 %.

После первичного введения технологических добавок эффективность отсутствие их отрицательного влияния на свойства цемента и бетона должны подтверждаться результатами испытаний в аккредитованных испытательных центрах.

Предел прочности при сжатии цемента соответствующего класса и подкласса прочности приведены в таблице 3 [1].

Таблица 3 – Предел прочности цемента при сжатии

Класс и подкласс прочности цемента	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте			
	2 сут, не менее	7 сут, не менее	28 сут	
			не менее	не более
22,5Н	-	11	22,5	42,5
32,5Н	-	16	32,5	52,5
32,5Б	10	-		
42,5Н	10	-	42,5	62,5
42,5Б	20	-		
52,5Н	20	-	52,5	-
52,5Б	30	-		

Цемент должен выдерживать испытания на равномерность изменения объема. Расширение образцов при испытаниях не должно превышать 10 мм.

По срокам начала схватывания цементы должны соответствовать требованиям ГОСТ 31108 – 2016 «Цементы общестроительные» для соответствующих классов и подклассов прочности.

Тонкость помола цемента должна быть не менее 250 м²/кг. Определяется по удельной поверхности методом воздухопроницаемости.

Тонкость помола влияет на скорость схватывания и твердения цемента, а также определяет степень использования в растворах и бетонах. Чем больше степень помола цемента, тем выше его прочность, особенно в начальные сроки твердения.

Тонкость помола цемента определяют путем просеивания пробы цемента сквозь сито № 008 должно проходить не менее 85 % от веса пробы с остатком на сите не более 15 % [14]. Тонкость помола характеризуется удельной поверхностью 2500–3000 см²/г (250–300 м²/кг). Увеличение тонкости помола до

4500 см²/г приводит к ускорению набора прочности, данный показатель используется в технологии изготовления быстротвердеющих портландцементов.

Установлено, что слишком тонкий помол цемента снижает его активность при хранении на воздухе, увеличивается водопотребность и его тепловыделение при твердении, ускоряется схватывание, возрастают усадочные деформации растворов и бетонов, понижается прочности особенно при изгибе, уменьшается долговечность и в частности морозостойкость бетонов.

Увеличение тонкости цемента требует повышенного количества гипса как регулятора сроков схватывания [13].

1.2 Требования к материалам

Для изготовления цементов применяют:

- Портландцементный клинкер нормированного состава в соответствии с требованиями, приведенными в таблице 1;

- Гипсовый или гипсоангидритовый камень по ГОСТ 4013 – 2019 «Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов. Технические условия» является продуктом измельчения горной породы, состоящей из природных минералов гипса или смеси гипса и ангидрита, и применяемый в качестве сырья для производства гипсовых вяжущих и добавок для производства цемента. Гипсовый и гипсоангидритовый камень применяют в зависимости от размера фракции. В нашем случае для приготовления цемента необходима фракция размером от 0 до 60 мм гипсового камня. Фракции размером 0-60 мм не должны содержать камня размером 0-5 мм более 30%. В отдельных случаях по согласованию с потребителем доля содержания фракции размером 0-5 мм допускается более 30%, но не должна превышать 40%. Так как в курсовой работе содержание гипса 81%, определяем, что гипсовый камень 3 сорта и в нем должно содержаться не менее 16,7% воды. Путем интерполяции определяем, что содержание кристаллизованной воды в гипсовом камне должно быть 16,91%;

- Борогипс – отход производства борной кислоты и буры. Получают разложением природных боратов с использованием серной кислоты и дальнейшим разделением жидкой и твердой фазы. Содержание гипса в отвальном материале составляет 77–83%. Является сырьем третьего или четвертого сорта, а полученный разложением боратов с высоким содержанием оксида бора может содержать до 94% двухводного гипса. В среднем содержит $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ около 76 и SiO_2 до 21%. Шлам имеет влажность до 45%. Основные примеси — аморфный кремнезем и борная кислота. Первый снижает качество гипсовых вяжущих веществ вследствие повышения их водопотребности. Вторая замедляет гидратацию полуводного гипса и снижает его водопотребность, что приводит к росту прочности искусственного камня при сжатии и снижению при изгибе [12].

- Гранулированные доменные шлаки по ГОСТ 3476 – 2019 «Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цементов», получаемые при выплавке чугуна и обрабатываемые в мелкозернистое состояние путем быстрого их охлаждения. Содержание оксида алюминия Al_2O_3 в шлаках для изготовления цементов ЦЕМ II/A-III СС и ЦЕМ II/A-К СС должно быть не более 8%, в шлаках для изготовления цементов ЦЕМ II/B-III СС и ЦЕМ III/A СС - не более 12%. Влажность шлаков устанавливается по договоренности между поставщиком и потребителем. Количество камневидных кусков шлака (не подвергшихся грануляции) в партии не должно быть более 5 % по массе. Размеры таких кусков не должны превышать 100 мм по наибольшему измерению;

- Пуццолану или микрокремнезем по действующим нормативным документам.

Активные минеральные добавки должны соответствовать требованиям, приведенным в подпункте 5.2.2.2 ГОСТ 31108 – 2016 «Цементы общестроительные».

Материалы, применяемые в качестве вспомогательных компонентов, должны соответствовать требованиям к этим материалам, приведенным в пункте 5.2.3 ГОСТ 31108 – 2016 «Цементы общестроительные».

2 Технологическая часть

2.1 Расчет химического состава клинкера

Химический состав клинкера, %, рассчитывается по формулам

$$\text{CaO} = 0,737 \cdot \text{C}_3\text{S} + 0,651 \cdot \text{C}_2\text{S} + 0,623 \cdot \text{C}_3\text{A} + 0,461 \cdot \text{C}_4\text{AF}, \quad (1)$$

$$\text{SiO}_2 = 0,263 \cdot \text{C}_3\text{S} + 0,349 \cdot \text{C}_2\text{S}, \quad (2)$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,377 \cdot \text{C}_3\text{A} + 0,21 \cdot \text{C}_4\text{AF}, \quad (3)$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,329 \cdot \text{C}_4\text{AF}, \quad (4)$$

Результаты расчетов химического состава клинкера:

$$\text{CaO} = 0,737 \cdot 63,98 + 0,651 \cdot 17,96 + 0,623 \cdot 4,95 + 0,461 \cdot 13,08 = 68\%;$$

$$\text{SiO}_2 = 0,263 \cdot 63,98 + 0,349 \cdot 17,96 = 23,1\%;$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,377 \cdot 4,95 + 0,21 \cdot 13,08 = 4,6\%;$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,329 \cdot 13,08 = 4,3\%.$$

2.2 Расчет составляющих компонентов цемента

В состав портландцемента и его разновидностей входят портландцементный клинкер, гипсовый камень и активные минеральные добавки (шлак, золы, трепел, диатомит, и др.).

По нормативным документам определяем, что в качестве минеральной добавки при производстве портландцемента ЦЕМ II/A-III СС применяются шлаки [2].

Расход минеральной добавки (Д) принимается по таблице 1 [6] в пределах 6-20%. Принимаем Д=15%.

Расход борогипса, %, в сухом состоянии определяем по формулы

$$\text{ГК} = \frac{(0,578 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{К}_y)}{A_{\Gamma}} \cdot 100, \quad (5)$$

где Al_2O_3 – содержание в клинкере оксида алюминия (Al_2O_3), %;

К_y – удельный расход клинкера, %;

A_{Γ} – содержание $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в гипсовом камне, %.

Удельный расход клинкера, %, находится по формуле

$$\text{К}_y = \frac{(100 - \text{Д})}{100}, \quad (6)$$

$$\text{К}_y = \frac{(100 - 15)}{100} = 0,85 \cdot 100 = 85 \%,$$

$$\text{ГК} = \frac{(0,578 \cdot 4,6 \cdot 85)}{81} = 2,8 \%.$$

Количество клинкера, %, определяется по формуле

$$\text{Кл} = 100 - (\text{Д} + \text{ГК}), \quad (7)$$

$$\text{Кл} = 100 - (15 + 2,8) = 82,2\%.$$

Полученный состав вяжущего, %:

– Клинкер (Кл) составляет 82,2%;

– Гипсовый камень (ГК) равен 2,8%

– Минеральная добавка (Д) принята равная 15%.

2.3 Расчет состава сырьевой смеси

Химический состав клинкера (сырьевой смеси) характеризуется следующими соотношениями окислов: коэффициентом насыщения (K_H), силикатным (n) и глиноземным (p) модулями и рассчитываются по формулам

$$K_H = \frac{CaO - 1,65 \cdot Al_2O_3 - 0,35 \cdot Fe_2O_3}{2,8 \cdot SiO_2}, \quad (0,82 - 0,95) \quad (8)$$

$$n = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}, \quad (1,7 - 3,5) \quad (9)$$

$$p = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}, \quad (1 - 3) \quad (10)$$

Результаты расчетов:

$$K_H = \frac{68 - 1,65 \cdot 4,6 - 0,35 \cdot 4,3}{2,8 \cdot 23,1} = 0,91;$$

$$n = \frac{23,1}{4,6 + 4,3} = 2,6;$$

$$p = \frac{4,6}{4,3} = 1,07.$$

2.4 Последовательность расчета сырьевой смеси

Для расчета смеси из двух компонентов используются формулы, предложенные С. Д. Огороковым. В первую очередь на X частей по массе первого (известкового) компонента берется одна часть по массе второго (глинистого) компонента.

1) Значение X определяется по формуле

$$X = \frac{2,8 \cdot S_2 \cdot K_H + 1,65 \cdot A_2 + 0,35 \cdot Fe_2 - C_2}{C_1 - 2,8 \cdot S_1 \cdot K_H - 1,65 \cdot A_1 - 0,35 \cdot F_1}, \quad (11)$$

где S1, S2; A1, A2; F1, P'2; C1, C2 – сокращенное написание оксидов SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, соответственно содержащихся в первом и втором компонентах смеси.

$$X = \frac{2,8 \cdot 64 \cdot 0,91 + 1,65 \cdot 10,04 + 0,35 \cdot 12,65 - 5,41}{53,27 - 2,8 \cdot 4 \cdot 0,91 - 1,65 \cdot 1,43 - 0,35 \cdot 0,58} = 4,41.$$

2) Далее определяется процентное содержание известнякового (И) и глинистого (Г) компонентов по формулам

$$И = \frac{100 \cdot X}{(X+1)}, \quad (12)$$

$$Г = \frac{100}{X+1}, \quad (13)$$

Получаем:

$$И = \frac{100 \cdot 4,41}{4,41+1} = 81,51\%;$$

$$Г = \frac{100}{4,41+1} = 18,49\% .$$

3) После определения процентного содержания известнякового (И) и глинистого (Г) компонентов необходимо пересчитать процентное содержание оксида каждого из компонентов смеси, умножая их значение на полученное содержание в сотых долях процента данного компонента: складывая процентное содержание оксидов каждого из компонентов, получают химический состав сырьевой смеси. Результаты заносятся в таблицу 4.

Таблица 4 – Пересчитанный химический состав сырьевой смеси, %

Сырьевые материалы	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	п.п.п.	Сумма
Известняк	3,26	1,17	0,47	43,42	33,19	81,51
Глина	11,83	1,86	2,34	1	1,46	18,49
Сырьевая смесь	15,09	3,02	2,81	44,42	34,65	100
Клинкер	23,1	4,62	4,3	67,98	-	100

4) Коэффициент К пересчитывается по формуле

$$K = \frac{100}{(100 - \text{п.п.п.})}, \quad (14)$$

где п.п.п. – потери при прокаливании сырьевой смеси.

$$K = \frac{100}{(100 - 34,65)} = 1,53.$$

Состав клинкера определяется путем умножения содержания оксидов сырьевой смеси на коэффициент К.

5) После этого вычисляется коэффициент насыщения (K_n), силикатный (n) и глиноземный (p) модули по рассчитанному составу клинкера и сравниваются с заданными

$$K_n = \frac{67,98 - 1,65 \cdot 4,62 - 0,35 \cdot 4,3}{2,8 \cdot 23,1} = 0,91 = 0,91 \text{ (зад.)};$$

$$n = \frac{23,1}{4,62 + 4,3} = 2,57 < 2,6 \text{ (зад.)};$$

$$p = \frac{4,62}{4,3} = 1,07 = 1,07 \text{ (зад.)}.$$

Разница полученного силикатного модуля превышает 0,02, значит необходимо произвести расчет трехкомпонентной смеси.

Рассчитывается сырьевая смесь с $K_n = 0,91$ и силикатным модулем $n = 2,6$ состоящую из мела, глины и огарков, химический состав которых приведен в таблице 5. В качестве корректирующей добавки принимаем Шадринский трепел.

Таблица 5 - Химический состав сырьевой смеси, %

Сырьевые материалы	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	п.п.п.	Сумма
Известняк	4	1,43	0,58	53,27	40,72	100
Глина	64,00	10,04	12,65	5,41	7,9	100
Шадринский трепел	60,3	16,85	6,11	0,8	15,94	100

Для приготовления сырьевой смеси заданного состава на 1 часть третьего компонента приходится X частей известняка и Y частей глины. Определяют по формулам

$$a_1 = (2,8S_1 K_H + 1,65 A_1 + 0,35F_1) - C_1, \quad (15)$$

$$a_2 = n \cdot (A_1 + F_1) - S_1, \quad (16)$$

$$b_1 = (2,8S_2 K_H + 1,65A_2 + 0,35F_2) - C_2, \quad (17)$$

$$b_2 = n \cdot (A_2 + F_2) - S_2, \quad (18)$$

$$c_1 = C_3 + (2,8S_3 K_H + 1,65A_3 + 0,35F_3), \quad (19)$$

$$c_2 = S_3 - n \cdot (A_3 + F_3), \quad (20)$$

Результаты расчетов:

$$a_1 = (2,8 \cdot 0,91 \cdot 4 + 1,65 \cdot 1,43 + 0,35 \cdot 0,58) - 53,27 = -40,52,$$

$$a_2 = 2,6 \cdot (1,43 + 0,58) - 4 = 1,21,$$

$$b_1 = (2,8 \cdot 0,91 \cdot 64 + 1,65 \cdot 10,04 + 0,35 \cdot 12,65) - 5,41 = 178,64,$$

$$b_2 = 2,6 \cdot (10,04 + 12,65) - 64 = -5,23,$$

$$c_1 = 0,8 + (2,8 \cdot 0,91 \cdot 60,3 + 1,65 \cdot 16,85 + 0,35 \cdot 6,11) = 184,37,$$

$$c_2 = 60,3 - 2,6 \cdot (16,85 + 6,11) = -0,83.$$

Подставив эти сокращенные обозначения в линейные уравнения и решив их относительно X и Y по формулам

$$X = (c_1 \cdot b_2 - c_2 \cdot b_1) / (a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1), \quad (21)$$

$$Y = (a_1 \cdot c_2 - a_2 \cdot c_1) / (a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1), \quad (22)$$

Подставляем найденные значения a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , c_1 , c_2 в формулы для X и Y , получаем:

$$X = [(184,37) \cdot (-5,23) - (-0,83) \cdot 178,64] / [(-40,52) \cdot (-5,23) - 1,21 \cdot 178,64] = 305,13,$$

$$Y = [(-40,85) \cdot (-102,18) - 0,08 \cdot (-87,39)] / [(-40,85) \cdot (-29,03) - 0,08 \cdot 194,35] = 70,24.$$

Определяется состав сырьевой смеси, %:

$$- \text{Известняк } 305,13 \cdot 100 / (305,13 + 70,24 + 1) = 81,07\%,$$

$$- \text{Глина } 70,24 \cdot 100 / (305,13 + 70,24 + 1) = 18,66\%,$$

$$- \text{Трепел } 100 / (305,13 + 70,24 + 1) = 0,27\%.$$

Химический состав клинкера находят как произведение химического состава сырьевой смеси на коэффициент пересчета (K)

$$K = \frac{100}{100 - 34,51} = 1,53.$$

Для определения химического состава сырьевой смеси и клинкера составляется таблицу 6.

Таблица 6 - Химический состав сырьевой смеси, %

Сырьевые материалы	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	п.п.п.	Сумма
Известняк	3,24	1,16	0,47	43,19	33,01	81,07
Глина	11,94	1,87	2,36	1,01	1,47	18,66
Шадринский трепел	0,16	0,045	0,02	0,00	0,04	0,27
Сырьевая смесь	15,35	3,08	2,85	44,20	34,51	100
Клинкер	23,44	4,7	4,35	67,51	-	100

Из полученного состава клинкера рассчитывают величины коэффициента насыщения K_n , силикатного (п) и глиноземного (р) модулей

$$K_n = (67,51 - 1,65 \cdot 4,7 - 0,35 \cdot 4,35) / (2,8 \cdot 23,44) = 0,89,$$

$$n = 23,44 / (4,4 + 4,35) = 2,6,$$

$$p = 4,7 / 4,35 = 1,08.$$

Полученный химический состав клинкера по значениям модулей и коэффициента насыщения удовлетворяет заданному составу портландцемента.

3 Обоснование и выбор способа производства

В этом разделе пояснительной записки излагаются причины выбора данного способа производства и его преимущества по сравнению с другими способами.

Изготовление вяжущего материала складывается из следующих основных технологических операций: подготовка и дозирование исходных материалов; обжиг; тонкое измельчение обожженного продукта.

Основным фактором, определяющим выбор способа производства, являются физико-химические свойства сырьевых материалов. Если последние обладают высокой естественной влажностью, являются мягкими, легко диспергируются водой или имеют очень пестрый химический состав, то в этих случаях на современной стадии развития техники цементного производства применяют мокрый способ.

Сухой способ подготовки сырьевой смеси экономически целесообразен в тех случаях, когда сырьевые материалы имеют низкую естественную влажность, однородный химический состав, когда суммарный расход тепла на сушку материалов и обжиг смеси ниже, чем расход тепла на обжиг шлама при мокром способе. При сухом способе, по сравнению с мокрым способом, показатели достигаются только при применении сырья с влажностью не более 12-15%.

Для определения способа производства рассчитывается влажность по формуле

$$W_{\text{д.п.к.}} = W_{\text{п.и.}} + W_{\text{п.г.}} + W_{\text{п.т.}}, \quad (21)$$

где $W_{\text{п.и.}}$, $W_{\text{п.г.}}$, $W_{\text{п.т.}}$ – влажность известняка, глины и трепела соответственно, определяемые по формуле

$$W_{\text{п.и.(п.г.,п.т.)}} = \frac{W \cdot I(\Gamma, T)}{100}, \quad (22)$$

где W – заданная влажность сырьевой смеси;

I , Γ , T - содержание известнякового, глинистого компонентов и трепела соответственно.

Результаты расчетов:

$$W_{\text{п.и.}} = \frac{4 \cdot 81,07}{100} = 3,24 \%,$$

$$W_{\text{п.г.}} = \frac{15 \cdot 18,66}{100} = 2,8 \%,$$

$$W_{\text{п.т.}} = \frac{15 \cdot 0,27}{100} = 0,04 \%,$$

$$W_{\text{д.п.к.}} = 3,24 + 2,8 + 0,04 = 6,08 \%.$$

Т.к. влажность $W_{\text{д.п.к.}}$ не более 12% принимаем сухой способ производства сульфатостойкого портландцемента.

Существует несколько способов производства цемента:

1) Мокрый

Мокрый способ производства используют при изготовлении цемента из мела (карбонатный компонент), глины (силикатный компонент) и железосодержащих добавок (конверторный шлак, железистый продукт, пиритные огарки). Влажность глины при этом не должна превышать 20%, а влажность мела — 29%. Мокрым этот способ назван потому, что измельчение сырьевой смеси производится в водной среде, на выходе получается водная суспензия — шлак влажностью 30–50%. Далее шлак поступает в печь для обжига, диаметр которой достигает 7 м, а длина — 200 м и более. При обжиге из сырья выделяются углекислоты. Затем шарики-клинкеры, которые образуются на выходе из печи, растирают в тонкий порошок, который и является цементом.

2) Сухой

Сухой способ заключается в том, что сырьевые материалы перед помолом или в его процессе высушиваются. И сырьевая шихта выходит в виде тонкоизмельченного сухого порошка. При сухом способе, которому, по всей вероятности, принадлежит будущее цементного производства, навстречу горящим газам подают не шлак, а размолотое в порошок сырьё: известняк, глину, шлаки. При этом экономится топливо, которое при мокром способе расходуется на испарение воды.

Для повышения эффективности цементной промышленности в первую очередь необходимо переходить на сухой способ производства, увеличить выпуск смешанных цементов, шире использовать в качестве сырья и активных минеральных добавок различные отходы промышленности, внедрять помол сырья и цемента в замкнутом цикле, в помольных агрегатах нового поколения, снижать влажность сырьевого шлама, осуществлять дополнительное питание печей техногенными продуктами, разрабатывать и внедрять энерго- и ресурсосберегающие технологии.

Технологическая схема производства цемента сухим способом [2]:

В карьере добывают сырье для производства цемента: известняк и глина. Самосвалами известняк с размерами кусков до 1 м доставляется к сырьевому цеху. Затем сыпается в приемный бункер и поступает в дробилки. Дробление происходит вначале в щековой дробилке, а затем в молотковой. В дробилках сырье измельчается с доведением размера кусков до 8—10 мм и отправляется на склад сырья. Параллельно глина с размерами кусков до 500 мм из карьера доставляется к сырьевому цеху, после чего измельчается в валковой дробилке до кусков размером 0—100 мм и сушится в барабане, а затем отправляется на склад сырья. Также на склад сырья поставляется корректирующая добавка – Шадринский трепел, который доставляется из Курганской области. Полученная смесь называется сырьевой мукой.

Затем известняк, глина и трепел перекачиваются в сырьевую мельницу для измельчения с одновременной сушкой. Далее поступает в силоса сырьевой муки, где происходит корректировка и усреднение муки (гомогенизацию) при помощи перемешивания сжатым воздухом. Через циклонный теплообменник сырьевая мука поступает во вращающуюся печь для обжига клинкера, которая работает на природном газе. Далее клинкер, для снижения температуры, проходит через холодильник. Полученный охлажденный клинкер подается транспортером в склад клинкера и добавок. Здесь же хранят минеральные добавки и гипс, которые по мере надобности подают в бункера цементных мельниц для совместного помола с клинкером.

Клинкер, гипсовое вяжущее и добавки подаются в цементную мельницу в определенных пропорциях, в зависимости от определенного сорта цемента. Мельница заполнена мелющими телами, которые измельчают подаваемое сырье до получения цемента. Готовый цемент из мельницы подается в цементные силоса, так называемые хранилища. Из цементных силосов цемент отгружается в цементовозы, хоперы (саморазгружающийся бункерный грузовой вагон для перевозки массовых сыпучих грузов) или фасуется в мешки.

3) Комбинированный

Комбинированный способ, как уже следует из названия, предполагает использование и сухого и мокрого способа. Комбинированный способ имеет две разновидности. Первая предполагает, что сырьевую смесь готовят по мокрому способу в виде шлама, потом её обезвоживают на фильтрах до влажности 16–18% и отправляют в печи для обжига в виде полусухой массы. Второй вариант приготовления является прямо противоположным первому: сначала используют сухой способ для изготовления сырьевой смеси, а затем, добавляя 10–14% воды, гранулируют, размер гранул составляет 10–15 мм и подают на обжиг.

3.1 Ресурсосберегающие технологии при производстве цемента

Достижение ровного и стабильного процесса обжига в печи в соответствии с установленными параметрами, что является полезным для целей минимизации всех выбросов из печи, а также потребления энергии.

Осуществление тщательного отбора и контроля всех веществ, поступающих в печь, чтобы предотвратить и/или снизить количество выбросов.

Выполнение на постоянной основе мониторинга и измерений параметров процесса и выбросов.

Применение системы управления ремонтом, специально направленной на наблюдение за состоянием фильтров, что позволяет снизить выбросы.

Снижение выбросов пыли из отходящих из печи газов, а также при охлаждении клинкера и помоле материала путем применения сухой очистки газа с помощью фильтра.

Вторичное использование накопленных пылеобразных веществ или использование этой пыли в других производимых продуктах по возможности.

Неоспоримым преимуществом сухого способа является то, что сухой способ характеризуется более низкими выбросами загрязняющих веществ и, таким образом, наносит меньший ущерб окружающей среде по сравнению с мокрым способом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 22266 – 2013 Цементы сульфатостойкие. Технические условия. – Взамен ГОСТ 22233 – 94 ; введ. 14.11.2013. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 12 с.
2. Популярная цементология [Электронный ресурс]. – Москва : ЕВРОЦЕМЕНТ групп. URL: <http://evrocement.by/data/populjarnaja-cementologija.pdf> [дата обращения 01.12.2020].
3. ГОСТ Р 56828.26 – 2017 Ресурсосбережение. Аспекты эффективного обращения с отходами в цементной промышленности. – Взамен ГОСТ Р 55099 – 2012 ; Введ. 04.08.2017. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 19 с.
4. Таймасов Б.Т. Технология производства портландцемента: учеб. пособие / Б.Т. Таймасов. Шымкент : Издательство ЮКГУ, 2003. – 298 с.
5. ГОСТ 31108 – 2016 Цементы общестроительные. Технические условия. – Взамен ГОСТ 31108 – 2003 ; введ. 27.07.2016. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 18 с.
6. Карасев М.С. Вяжущие вещества: учеб.- метод. пособие для курсового проектирования [Электронный ресурс] / М.С. Карасев. Красноярск : Сиб. Федер. ун-т, 2015. – 23 с.
7. ИТС 6 – 2015 Производство цемента. Москва : Бюро НДТ, 2015. – 305 с.
8. Акимова Т.Н. Минеральные вяжущие вещества: учеб. пособие / Т.Н. Акимова. Москва : МАДИ (ГТУ), 2007. – 98 с.
9. Сулеменко, Л.М. Основы технологии вяжущих материалов : учеб. издание / Л.М. Сулеменко, В.Г.Савельев, И.Н. Тихомирова. – Санкт-Петербург : Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 2001. – 172 с.

10. ГОСТ 4013-2019 Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов. Технические условия. – Взамен ГОСТ 4013 – 83 ; введ. 01.06.2020. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 11 с.

11. ГОСТ 3476 – 2019 Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цементов. – Взамен ГОСТ 3476 – 74 ; введ. 30.05.2019. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 7 с.

12. Башкатов Н.Н. Минеральные воздушные вяжущие вещества: учеб. пособие / Н.Н. Башкатов. Екатеринбург : Издательство Урал. ун-та, 2018. – 148 с.

13. ГОСТ 310.2 – 76 Цементы. Методы определения тонкости помола (с Изменением №1). – Взамен ГОСТ 310 – 60 ; введ. 14.10.1976. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2003. – 3 с.

14. ГОСТ 10178 – 85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия (С Изменениями №1, 2). – Взамен ГОСТ 10178 – 76 ; введ. 10.07.1985. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 6 с.

