



Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Технология бетона и строительные материалы»

Л.Б. Дзэбьева

ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Методическое пособие

Минск
БНТУ
2010

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Технология бетона и строительные материалы»

Л.Б. Дзабиева

ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Методическое пособие по курсовому проектированию
для студентов специальности
1-70 01 01 «Производство строительных изделий
и конструкций»

Минск
БНТУ
2010

УДК 666.9:378.147.091.313(075.8)

ББК 38.32я7

Д 43

Рецензенты:

А.А. Куприянчик, И.И. Тулупов

Дзабиева, Л.Б.

Д 43

Вязущие вещества: методическое пособие по курсовому проектированию для студентов специальности 1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций» / Л.Б. Дзабиева. – Минск: БНТУ, 2010. – 53 с.

ISBN 978-985-525-355-7.

Методическое пособие по курсовому проектированию включает требования к содержанию и оформлению пояснительной записки и графической составляющей проекта, расчеты формовочных масс и расхода сырьевых материалов в производстве портландцемента, строительной извести, изделий на основе автоклавных вяжущих. Методики расчетов основаны на современных технологических инструкциях и согласуются с нормами технологического проектирования соответствующих предприятий.

Приводятся примеры для иллюстрации рассмотренных методик расчета, что способствует приобретению студентами навыков технологического проектирования.

УДК 666.972.017:53

ББК 38.32я7

ISBN 978-985-525-355-7

© Дзабиева Л.Б., 2010

© БНТУ, 2010

ВВЕДЕНИЕ

Производство строительных изделий и конструкций базируется на использовании вяжущих веществ воздушного, гидравлического и автоклавного условий твердения, гидратационного, коагуляционного и полимеризационного типов структурообразования. Поэтому при подготовке инженеров специальности 1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций» изучение дисциплины «Вяжущие вещества» предшествует циклу основных технологических дисциплин специализации.

Задача дисциплины – формирование такого объема знаний, умений и навыков в области вяжущих веществ, который позволил бы будущему инженеру строительной индустрии профессионально использовать их в производстве строительных изделий и конструкций. В свою очередь, изучение базируется на теоретических положениях дисциплин общепрофессионального цикла: неорганической, физической, коллоидной химии, минералогии и строительного материаловедения.

Дисциплина «Вяжущие вещества» носит, в основном, материаловедческий характер и только кратко касается технологических проблем получения вяжущих, детально изучаемых при подготовке инженеров-технологов силикатной промышленности. Поэтому в курсовом проектировании на первый план выдвигаются задачи оценки свойств вяжущих материалов согласно требованиям соответствующих нормативно-технических документов, умение прогнозировать их поведение в различных условиях эксплуатации, что позволит будущему специалисту принимать грамотные решения при разработке технологий получения новых строительных материалов и изделий или совершенствовании технологических параметров производства традиционных.

Однако, поскольку свойства вяжущих формируются в технологических процессах их получения, при курсовом проектировании ставится также задача изучения основных параметров

технологии получения различных вяжущих веществ. При этом устанавливается связь основных технологических параметров (состава сырьевых смесей, температуры их обжига, тонкости помола сырьевых материалов и готового вяжущего и т.д.) с эксплуатационными показателями вяжущих конкретной области применения. Особое внимание должно уделяться ресурсосберегающим и экологически безопасным технологиям, соответствующим современному уровню научно-технического прогресса в области вяжущих веществ. Курсовое проектирование по «Вяжущим веществам» способствует выполнению поставленных задач.

При работе над курсовым проектом следует руководствоваться положениями стандарта СТБ БНТУ 3.01-2003 «Курсовое проектирование. Общие требования и правила оформления». Образец оформления титульного листа курсового проекта приведен в приложении.

1. ТЕМЫ И ЗАДАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

1.1. Тематика курсового проектирования

Тематика курсового проектирования охватывает разнообразные виды вяжущих, выпускаемых предприятиями республики или используемых для производства строительных изделий и конструкций:

- гипс строительный;
- композиционные гипсовые вяжущие;
- известь строительная воздушная;
- вяжущие автоклавного твердения для производства изделий плотной и ячеистой структуры с различными кремнеземистыми компонентами;
- портландцемент бездобавочный и с активными минеральными добавками;

- разновидности портландцемента: дорожный, сульфатостойкий, пластифицированный, гидрофобный, белый, цветной, быстротвердеющий, высокопрочный, шиферный, песчанистый и др.;
- тампонажные цементы;
- пуццолановые портландцементы;
- шлакопортландцементы нормально- и быстротвердеющие, сульфатостойкие;
- расширяющиеся и напрягающие цементы.

1.2. Задание на курсовое проектирование

Задание выдаваемое кафедрой, включает вид выпускаемой продукции, годовую производительность предприятия, характеристику основного сырья: все эти сведения студент обязан использовать при проектировании в точном соответствии с заданием. Если же в проектных расчетах необходимы дополнительные данные, не приведенные в задании, студент самостоятельно или по согласованию с руководителем проектирования принимает их по справочникам, инструкциям, нормам проектирования и другой технической литературе со ссылкой на нее в тексте.

В задании на проектирование кафедрой указываются даты выдачи задания и сдачи студентом готового проекта для проверки руководителем, а также календарный график работы над проектом. Длительность проектирования составляет обычно пять недель. Дата защиты проекта назначается преподавателем, руководившим проектированием.

2. СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Курсовой проект состоит из пояснительной записки (ПЗ) и графической части.

ПЗ (30–35 с.) содержит следующие разделы:

- введение (1–2 с.);
- характеристика продукции (3–4 с.);
- технологическая часть (20–25 с.);

- техника безопасности и охрана труда (2–3 с.);
- список использованной литературы (1 с.).

Графическая часть проекта представляется на листе формата А1 с изображением технологической схемы получения вяжущего.

2.1. Введение

Приводится краткий обзор развития производства заданного вида продукции, его перспективы, зарубежный опыт, основные достижения технологической науки и практики.

2.2. Характеристика продукции

Приводятся сведения о физических, технологических, механических и других эксплуатационных свойствах продукции в соответствии с действующими стандартами, техническими условиями или другой нормативно-технической и справочной литературой, ссылки на которую указываются по тексту и полностью приводятся в библиографическом списке. Основные характеристики желательно приводить в виде таблиц.

2.3. Технологическая часть

2.3.1. Структура раздела. Технологическая часть является главной составляющей ПЗ. Она включает не только технологические вопросы, но и элементы организации производства и состоит из следующих последовательно расположенных подразделов:

- требования к сырьевым материалам и расчет состава сырьевой смеси;
- принципиальная технологическая схема производства вяжущего (с указанием основных технологических параметров производства) и описание технологического процесса, включая график тепловой обработки;
- расчет материального баланса цеха по производству вяжущего, включающий три этапа: 1) выбор режима работы, 2) расчет производственной программы цеха по заданной про-

изводительности, 3) расчет расхода сырья для выполнения производственной программы с учетом производственных потерь;

– описание работы основного технологического оборудования.

2.3.2. Требования к сырьевым материалам, используемым для производства вяжущего и расчет состава сырьевой смеси составляются на основе действующих технологических инструкций, норм технологического проектирования, технологического кодекса установившейся практики, справочников и другой нормативно-технической и специальной литературы с обязательной ссылкой на них в тексте. Методики и примеры расчета составов сырьевых смесей для производства различных вяжущих приведены в разделе 3.

2.3.3. Принципиальная технологическая схема производства показывает, из каких сырьевых материалов, с помощью каких технологических операций может быть получен конечный продукт – вяжущее требуемых параметров. Последовательность операций показывается стрелками, на схеме указываются основные технологические параметры процессов (температура, консистенция массы, текучесть, тонкость помола, диаметр частиц и т.п.). В скобках указывают оборудование, применяемое при осуществлении данного технологического процесса. В схему не включаются транспортные операции и накопительные процессы, кроме случаев, когда они необходимы для протекания технологически значимых изменений в материале при его вылеживании, например, газинирование клинкера. На рис. 1 и 2 приведены примеры составления принципиальных технологических схем для производства портландцемента и вяжущих автоклавного твердения из конкретных сырьевых материалов. Если сырьевые материалы в задании на проектирование отличаются от них, в схему нужно внести соответствующие изменения.

Принципиальная технологическая схема затем подробно комментируется в описании технологического процесса производства, где дается обоснование принятым технологическим решениям.

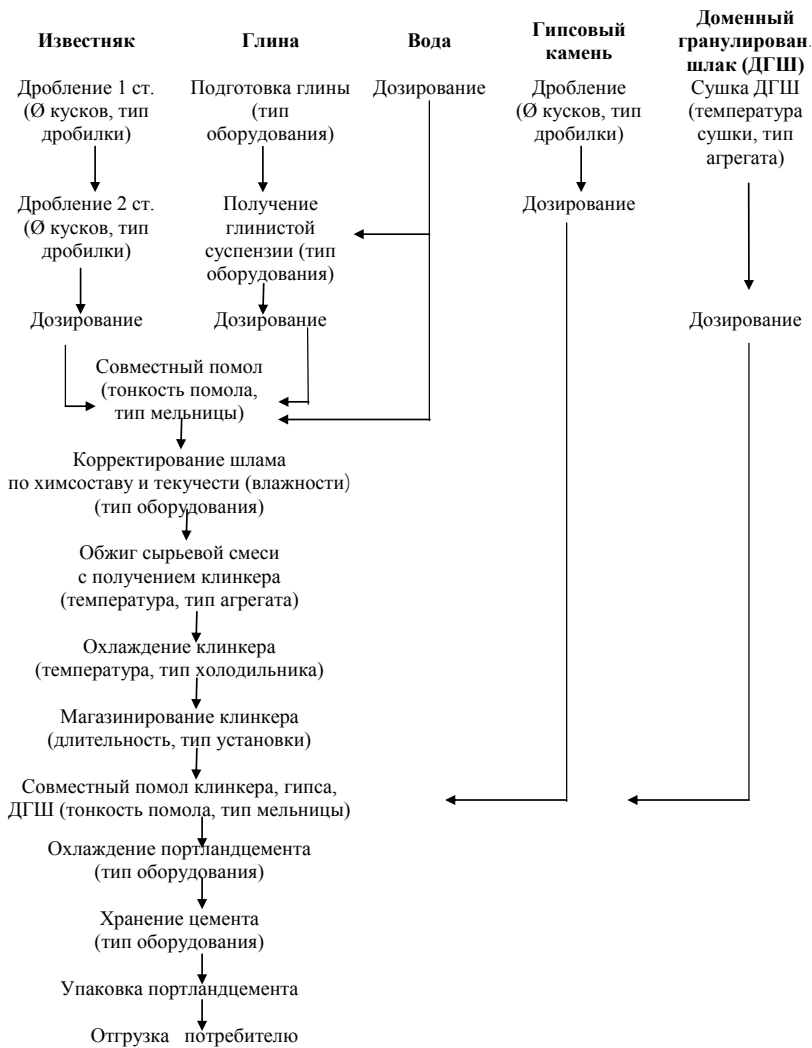


Рис. 1. Пример принципиальной технологической схемы получения портландцемента



Рис. 2. Пример принципиальной технологической схемы производства стеновых блоков на основе известково-кремнеземистых вяжущих автоклавного твердения

Например, пусть на принципиальной технологической схеме указана тонкость помола извести до удельной поверхности $S_{уд} = 6000 \text{ см}^2/\text{г}$. Надо пояснить, что это решение соответствует технологической инструкции, дав ссылку на нее, и объяснить, почему требуется такая высокая дисперсность негашеной молотой извести, какие последствия для качества продукции может иметь недостаточная степень ее измельчения.

Другой пример. При разработке технологической схемы производства белого портландцемента принимается температура обжига сырьевой смеси $1600 \text{ }^\circ\text{C}$, что значительно выше обычной ($1450\text{--}1500 \text{ }^\circ\text{C}$). Требуется пояснить, чем вызывается такая особенность технологии, базируясь на характеристике исходного сырья, в котором содержится пониженное количество плавней (соединений железа), особенностями минералогического состава белого клинкера и т.д.

Здесь же приводятся графики тепловой обработки сырьевых смесей и полуфабрикатов: для автоклавной обработки в координатах давление, температура – длительность процесса (для каждой стадии); для цементного производства приводится график распределения температур по длине вращающейся печи, аналогично для производства извести и гипса.

2.3.4. Расчет материального баланса цеха включает выбор режима его работы, который является основой для расчета требуемой производительности, потоков сырья, оборудования. При этом задается количество рабочих дней в году, количество рабочих смен в сутки и рабочих часов в смене. Выбранный режим работы должен соответствовать требованиям норм технологического проектирования предприятий соответствующей подотрасли или назначаться по аналогии с действующими родственными заводами.

В производстве вяжущих веществ тепловые процессы (обжиг, автоклавная обработка и т.п.) обычно осуществляются по непрерывной рабочей неделе при трехсменной работе. Сопряженные с ними цехи (массоподготовительные, помольные

и др.) могут работать тоже по непрерывному графику, либо, что чаще, по режиму прерывной недели с двумя выходными днями (262 рабочих дня в году) в две смены.

Время, необходимое для ремонта и на вынужденные простои оборудования, учитывается коэффициентом его использования во времени K_n .

Расчет производственной программы по готовой продукции выполняется в соответствии с принятым режимом работы цеха. При этом, исходя из заданной годовой производительности P_r , рассчитываются и сводятся в табл. 1 суточная P_c , сменная P_{cm} и часовая $P_{ч}$ производительности.

Таблица 1

Результаты расчета производственной программы

Продукция, единица измерения	Производительность			
	часовая $P_{ч}$	сменная P_{cm}	суточная P_c	годовая P_r

При расчете потребности в сырье и полуфабрикатах для выполнения производственной программы следует учитывать возможный брак продукции и производственные потери, допустимые величины которых принимаются по соответствующим нормам технологического проектирования.

Исходными данными для расчета потребности в сырье являются результаты расчета состава сырьевой смеси и сложность технологической подготовки каждого из ее компонентов, которая выявляется при анализе принципиальной технологической схемы производства. При этом величина потерь принимается в следующих пределах:

- дробление и последующее транспортирование – до 1 %;
- сухой помол и пневмотранспорт – до 1 %;
- сушка – соответствует влажности материала, %;
- обжиг – потери при прокаливании (п.п.п.) по данным химического анализа, %.

Расчет расхода P_m сырьевого материала в час, смену, сутки, год с учетом брака, отходов и потерь производится по формуле

$$P_m = P_p \cdot \Pi \frac{100}{100 - Б},$$

где P_p – расчетный расход сырьевого материала на единицу продукции;

$Б$ – брак, отходы, потери, %;

Π – производительность цеха в час, смену, сутки, год.

Результаты расчета сводятся в табл. 2.

Таблица 2

**Потребность цеха в сырье для выполнения
производственной программы**

Сырьевой материал, единица измерения	Расход			
	в час	в смену	в сутки	в год

2.3.5. Описание работы основного технологического оборудования выполняется для установок и машин, поименованных в принципиальной технологической схеме, включая дробильное, помольное, смесительное оборудование, тепловые установки и т.п., но исключая транспортирующие и вспомогательные виды оборудования. Описывается принцип их действия, тип оборудования.

2.4. Техника безопасности и охрана труда

Приводятся сведения о мероприятиях, предупреждающих производственный травматизм и обеспечивающих безопасное обслуживание и ремонт оборудования, надлежащие санитарно-гигиенические и безопасные условия труда и охрану окружающей среды.

2.5. Список использованной литературы

Приводится перечень использованной литературы с указанием фамилии и инициалов авторов, полного названия источника, места издания, издательства, года издания и количества страниц в нем. Приводится также перечень всех нормативно-технических документов, использованных в проекте.

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ СЫРЬЕВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

3.1. Расчет сырьевой смеси для получения портландцементного клинкера

3.1.1. Схема расчетов. Целью расчета является определение количественного соотношения составных частей сырьевой смеси. Число сырьевых компонентов должно быть на единицу больше числа заданных характеристик [13]. Если для характеристики сырьевой смеси используют два показателя – коэффициент насыщения и, например силикатный модуль, – то сырьевая смесь должна состоять из трех компонентов; если же задаются только величиной коэффициента насыщения КН, то сырьевая смесь составляется из двух компонентов – глинистого и карбонатного.

Для удобства расчетов и возможности контроля правильности вычислений химический состав сырьевых материалов приводят к сумме, равной 100 %. Для этого умножают содержание каждого оксида на коэффициент К, определяемый путем деления 100 на сумму всех оксидов. Все вычисления при расчете сырьевой смеси ведут с точностью до 0,01.

Исходными данными для расчета являются химический состав карбонатного компонента шихты, химический состав глинистого компонента шихты и заданная величина КН.

Коэффициент насыщения КН рассчитывается по формуле

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

и характеризует отношение того количества CaO в шихте, которое остается после насыщения Al_2O_3 до $3CaO \cdot Al_2O_3 (C_3A)$, Fe_2O_3 до $CaO \cdot Fe_2O_3 (CF)$, к тому количеству CaO, которое необходимо для полного насыщения SiO_2 до $3CaO \cdot SiO_2$ (алита C_3S). Коэффициенты, входящие в выражение для KH, показывают массовую долю CaO, приходящуюся в указанных соединениях на единицу массы соответствующего оксида (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2). В расчетных формулах приняты следующие сокращенные обозначения: CaO – C, SiO_2 – S, Al_2O_3 – A, Fe_2O_3 – F, число молекул данного оксида в соединении обозначается индексом справа внизу.

Если принять за единицу долю глинистого компонента в сырьевой шихте, а отношение массовой доли карбонатного компонента к глинистому – за χ , то, обозначая одним штрихом содержание оксидов в первом компоненте и двумя штрихами – во втором, можно записать следующее выражение для KH:

$$KH = \frac{(C' + \chi C'') - [1,65(A' + \chi A'') + (F' + \chi F'')]}{2,8(S' + \chi S'')} .$$

Решая полученное уравнение относительно χ , получим расчетную формулу для определения соотношения карбонатного и глинистого компонентов шихты, при котором будет обеспечиваться заданное значение коэффициента насыщения KH

$$\chi = \frac{2,8S'' \cdot KH + 1,65A'' + 0,35F'' - C''}{C' - 2,8S' \cdot KH - 1,65A' - 0,35F'}$$

Величина KH задается исходя из требования к клинкеру для конкретного вида цемента по соответствующей нормативно-технической и учебной литературе. При этом в ПЗ кур-

сового проекта приводится соответствующее обоснование принятой величины КН, учитывая, что минимальная величина $КН = 0,67$ соответствует такому состоянию, когда все силикаты клинкера представлены белитом C_2S , а содержание алита C_3S равно 0. Если же имеет место обратная картина, т.е. все силикаты клинкера представлены алитом C_3S , а доля белита равна 0, то величина КН будет равна единице.

Правильность выполненного расчета проверяется путем определения значения КН для клинкера, получаемого из рассчитанной сырьевой смеси, по методике, детально описанной в п.3.1.2.

3.1.2. Пример расчета состава двухкомпонентной шихты для получения портландцементного клинкера. Пусть для получения клинкера быстротвердеющего портландцемента необходимо рассчитать состав двухкомпонентной шихты, состоящей из мела и глины, химический состав которых приведен в табл. 3.

Таблица 3

Химический состав компонентов шихты

Материал	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	п.п.п	Σ
Мел	3,49	1,84	0,92	51,52	0,33	0,43	41,06	99,59
Глина	53,65	17,44	6,86	6,54	2,30	0,43	9,43	96,63

Изучив свойства быстротвердеющего портландцемента, задаемся величиной коэффициента насыщения $КН = 0,92$, исходя из того, что клинкер для быстротвердеющего портландцемента должен содержать повышенное количество трехкальциевого силиката (более 60 %), следовательно, надо принимать повышенное значение КН, обычно находящееся в пределах 0,86–0,96.

Поскольку в справочных данных о химсоставе пород данного месторождения сумма составляющих не равна 100 %, необходимо привести ее к 100 %, выполнив пересчет состава.

Для этого содержание оксидов в первом компоненте надо умножить на коэффициент $K_1 = 100/99,59 = 1,004$, во втором – на $K_2 = 100/96,63 = 1,035$. Химический состав исходных сырьевых материалов после пересчета на 100 % представлен в табл. 4.

Таблица 4

Химический состав компонентов шихты, приведенный к 100 %

Материал	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	п.п.п.	Σ
Мел	3,50	1,85	0,92	51,74	0,33	0,43	41,23	100
Глина	55,51	18,05	7,10	6,67	2,38	0,43	9,76	100

Обозначим соотношение карбонатного компонента шихты (в нашем случае – мела) к глинистому через x и выразим его из уравнения для КН, положив значение последнего равным 0,92. Тогда имеем

$$x = \frac{2,8S_2 \cdot \text{КН} + 1,65A_2 + 0,35F_2 - C_2}{C_1 - 2,8S_1 \cdot \text{КН} - 1,65A_1 - 0,35 \cdot F_1} =$$

$$= \frac{2,8 \cdot 55,51 \cdot 0,92 + 1,65 \cdot 18,05 + 0,35 \cdot 7,10 - 6,77}{51,74 - 2,8 \cdot 3,5 \cdot 0,92 - 1,65 \cdot 1,85 - 0,35 \cdot 0,92} = 4,28.$$

Следовательно, на одну весовую часть глины потребуется взять 4,28 частей мела, что соответствует следующему процентному составу шихты: мела – 81,06 %, глины – 18,94 %.

Подсчитаем, какое количество оксидов будет внесено в шихту каждым ее компонентом при рассчитанном процентном составе шихты, а также суммарное содержание оксидов в сырьевой смеси. Для этого содержание оксидов в каждом компоненте умно-

жим на его процентную долю в шихте, а затем просуммируем. Результаты расчета в весовых частях (в.ч.) сведем в табл. 5.

Таблица 5

Химический состав компонентов шихты и клинкера

Компоненты	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	п.п.п.	Σ
81,06 в. ч. мела	2,84	1,50	0,75	41,94	0,26	0,35	33,42	81,06
18,94 в.ч. глины	10,51	3,43	1,34	1,28	0,45	0,08	1,85	18,94
100 в.ч. сырьевой смеси	13,35	4,93	2,09	43,22	0,71	0,43	35,27	100,00
клинкер	20,62	7,62	3,23	66,77	1,10	0,66	–	100,00

Для проверки правильности произведенного расчета двух-компонентной сырьевой смеси нужно убедиться, что величина коэффициента насыщения КН, если ее рассчитать для клинкера, полученного из предлагаемой шихты, окажется равной заданной величине КН = 0,92. Для этого необходимо вначале рассчитать химический состав клинкера. Поскольку клинкер получается спеканием сырьевых материалов, то п.п.п. в нем отсутствуют. Тогда его химический состав рассчитаем из химического состава сырьевой смеси путем умножения процентного содержания в ней каждого оксида на коэффициент:

$$K = \frac{100}{100 - \text{п.п.п.}}$$

$$\text{В нашем случае } K = \frac{100}{100 - 35,27} = 1,54.$$

Рассчитанный химический состав клинкера показываем в последней строке табл. 5 и рассчитываем для него величину КН

$$KН = \frac{66,77 - (1,65 \cdot 7,62 + 0,35 \cdot 3,23)}{2,8 \cdot 20,62} = 0,92.$$

Величина КН для клинкера оказалась равной заданной, следовательно, расчет выполнен правильно.

3.2. Расчеты сырьевых смесей в производстве изделий на основе автоклавных вяжущих

3.2.1. Общие сведения. Образование цементирующего сростка гидросиликатов кальция при автоклавной обработке известково-кремнеземистых вяжущих лежит в основе технологии таких широко распространенных в строительстве материалов, как силикатный кирпич, плотные и ячеистые силикатные бетоны. Различие в функциональном назначении изделий из этих материалов обуславливает технологические особенности их производства на этапах подготовки сырьевых материалов, формования и термообработки. При составлении материального баланса производства необходимо учитывать следующие технологические особенности подготовки формовочных масс в производстве названных силикатных материалов.

В производстве *силикатного кирпича* используются пески естественного гранулометрического состава, которые являются одновременно и заполнителем, и компонентом вяжущего, вступая тонким поверхностным слоем частиц в химическое взаимодействие с известью при автоклавной обработке.

В *плотном силикатном бетоне*, предназначенном для изготовления несущих конструкций (панелей внутренних стен, перекрытий и др.), основная часть песка не размалывается и выполняет роль заполнителя (в технологии изделий она именуется «песок-заполнитель»). Остальная часть песка размалывается совместно с известью и именуется «песок-компонент вяжущего». Именно этот молотый песок в условиях автоклавной обработки вступает в химическое взаимодействие с известью с образованием кристаллического сростка гидросиликатов кальция. Поскольку в технологии плотных силикатных бетонов формование ведется из жестких формовочных смесей, а изделия имеют большую среднюю плотность, образующегося

количества гидросиликатов кальция оказывается достаточно для обеспечения надлежащей прочности изделий.

В производстве наружных стеновых блоков и панелей, теплоизоляционных и других плит из *ячеистых силикатных бетонов* формование ведется из литых формовочных масс, поэтому, для обеспечения прочности таких изделий приходится размалывать весь песок (или другой кремнеземистый компонент: шлаки, золы и т.п.), чтобы гарантировать образование достаточного количества гидросиликатов кальция, придающих изделиям требуемую прочность и морозостойкость. Исключение составляют крупноразмерные изделия из ячеистых бетонов, в технологии которых для предотвращения значительных усадочных деформаций иногда предусматривается введение некоторого количества немолотого песка или использование песка более грубого помола. Возникающий при этом недобор прочности может быть компенсирован повышенным расходом портландцемента или удлинением изотермического периода автоклавной обработки изделий.

В заводской практике ячеистых бетонов наиболее распространен помол кремнеземистого компонента в двух потоках: сухим способом совместно с известью размалывается часть его, составляющая обычно 20–50 % от расхода извести, остальная часть размалывается мокрым способом.

Изложенное выше необходимо учитывать при составлении в курсовом проекте принципиальных технологических схем производства изделий на основе вяжущих автоклавного твердения. При этом рекомендуется пользоваться нормами технологического проектирования соответствующих предприятий [9, 10, 11].

Существенные различия в технологии получения изделий плотной и ячеистой структуры на основе автоклавных вяжущих отражаются также в методике составления материального баланса для их производства.

3.2.2. *Расчет состава автоклавных ячеистобетонных изделий* производится согласно «Инструкции по изготовлению изделий из ячеистого бетона СН-277-80» [10].

Исходные данные для расчета:

- средняя плотность бетона в сухом состоянии ρ_b , кг/м³;
- активность применяемой извести $A_{из}$, %;
- доля цемента в смешанном известково-цементном вяжущем n ;
- водотвердое отношение В/Т;
- удельный (абсолютный) объем сухих материалов W , л/кг.

Расход сырьевых материалов на 1 м³ ячеистого бетона рассчитывается по [10] в следующей последовательности.

1. В зависимости от вида применяемого автоклавного вяжущего (от количества содержащегося в нем оксида кальция, способного связывать кремнезем в гидросиликаты кальция при автоклавной обработке) по табл. 4 [10] принимается соотношение C между расходом кремнеземистого компонента $P_{кр}$ и расходом вяжущего $P_{вяж}$

$$C = \frac{P_{кр}}{P_{вяж}} .$$

Величина C колеблется в следующих пределах.

Для автоклавных ячеистых бетонов на извести и на портландцементе она составляет $C_{и} = 3 - 6$ и $C_{ц} = 0,75 - 1,5$ соответственно.

Для смешанных известково-цементных вяжущих с долей цемента n отношение кремнеземистого компонента к вяжущему $C_{с.в}$ находится по формуле

$$C_{с.в.} = C_{ц} n + C_{и} (1 - n) .$$

2. Если в исходных данных не приведено значение В/Т формовочной массы, его ориентировочное значение для проектных расчетов принимают по [9, 10] в зависимости от технологии:

– $V/T = 0,5$ для литьевой технологии изготовления изделий с использованием в качестве кремнеземистого компонента кварцевого песка, $V/T = 0,6$ – с использованием золы-уноса ТЭЦ;

– $V/T = 0,4$ для вибротехнологии изделий на песке, $V/T = 0,5$ – на золе.

3. Рассчитывается общий расход $P_{\text{сух}}$ сухих материалов

$$P_{\text{сух}} = \frac{\rho_{\text{б}} \cdot V}{K_{\text{с}}}, \text{ кг,}$$

где V – заданный объем ячеистого бетона в м^3 , в расчете принимается равным 1 м^3 ;

$K_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение массы сухих материалов после автоклавной обработки вследствие гидратационного присоединения воды, в проектных расчетах принимается равным $1,1$.

4. Рассчитывается общий расход вяжущего $P_{\text{вяж}}$ на 1 м^3 изделий

$$P_{\text{вяж}} = \frac{P_{\text{сух}}}{1 + C}, \text{ кг.}$$

На практике для большинства ограждающих конструкций из ячеистых бетонов применяется смешанное вяжущее из извести и портландцемента, вводимого для обеспечения надлежащей атмосферо- и морозостойкости в количестве от $0,1$ до $0,5$ от массы вяжущего. Обозначив долю цемента в вяжущем через n , его расход $P_{\text{ц}}$ можно вычислить как

$$P_{\text{ц}} = P_{\text{вяж}} n, \text{ кг,}$$

а расход извести $P_{\text{и}}$ составит

$$P_{\text{и}} = P_{\text{вяж}} (1 - n), \text{ кг.}$$

Учитывая, что реальная активность извести всегда менее 100 % и составляет $A_{и}$ %, фактический расход ее $P_{и}^{\phi}$ рассчитывается по формуле

$$P_{и}^{\phi} = \frac{P_{и}}{A_{и}} \cdot 100, \text{ кг.}$$

5. Расход $P_{к}$ кремнеземистого компонента автоклавного вяжущего рассчитывается по формуле

$$P_{к} = P_{сух} - (P_{ц} + P_{и}^{\phi}), \text{ кг.}$$

6. Расход воды $P_{в}$ составит

$$P_{в} = P_{сух} \cdot W/T, \text{ кг.}$$

7. Для формирования ячеистой структуры материала вводится порообразователь, чаще всего алюминиевая пудра, расход которой $P_{п}$ рассчитывается по формуле

$$P_{п} = \frac{\Pi_{г}}{\alpha \cdot K},$$

где $\Pi_{г}$ – пористость, которую должен создать газообразователь, чтобы снизить среднюю плотность материала до заданного значения. Она рассчитывается по формуле

$$\Pi_{г} = 1 - \frac{P_{\sigma}}{K_{с}} \cdot (W + B/T),$$

где W – удельный (абсолютный) объем сухих материалов в л/кг, принимается равным 0,34 в случае использования в качестве

Исходные данные:

- тип изделий – мелкие стеновые блоки;
- средняя плотность бетона в сухом состоянии $\rho_b = 650 \text{ кг/м}^3$;
- активность применяемой извести $A_{и} = 85 \%$;
- доля цемента в смешанном вяжущем $n = 0,5$;
- кремнеземистый компонент – кварцевый песок.

Порядок расчетов

1. По табл. 2 [10] принимаем соотношение между кремнеземистым компонентом и составными частями смешанного вяжущего: для портландцемента $C_{ц} = 1$, для извести $C_{и} = 4$. Соотношение между кремнеземистым компонентом и смешанным вяжущим $C_{с.в}$ рассчитывается как

$$C_{с.в} = C_{ц} n + C_{и}(1 - n).$$

Для нашего случая $C_{с.в} = 1 \cdot 0,5 + 4(1 - 0,5) = 2,5$.

2. Задаемся значением В/Т формовочной смеси, принимая комплексную вибротехнологию формования. Исходя из [10,13,14], для вибротехнологии в случае использования в качестве кремнеземистого компонента кварцевого песка принимаем $В/Т = 0,4$.

3. Рассчитываем общий расход сухих материалов на 1 м^3 ячеистого бетона

$$P_{\text{сух}} = \frac{\rho_b \cdot V}{K_c} = \frac{650 \cdot 1}{1,1} = 590,91 \text{ кг}.$$

4. Рассчитываем общий расход вяжущего

$$P_{\text{вяж}} = \frac{P_{\text{сух}}}{1 + C} = \frac{590,91}{1 + 2,5} = 168,83 \text{ кг}.$$

5. Рассчитываем расход портландцемента

$$P_{ц} = P_{\text{вяж}} \cdot n = 168,83 \cdot 0,5 = 84,42 \text{ кг}.$$

6. Рассчитываем расход извести

$$P_{и} = P_{вяз} (1 - \eta) = 168,83 \cdot (1 - 0,5) = 84,42 \text{ кг.}$$

Учитывая, что заданная активность извести составляет $A_{и} = 85 \%$, рассчитываем фактический расход извести

$$P_{и}^{\Phi} = \frac{P_{и}}{A_{и}} \cdot 100 = \frac{84,42}{85} \cdot 100 = 99,32 \text{ кг.}$$

Для замедления скорости гашения извести предусматриваем введение 5 % двуводного гипса (от массы извести), что составляет

$$P_{г} = \frac{99,32 \cdot 5}{100} = 4,97 \text{ кг.}$$

7. Рассчитываем расход кремнеземистого компонента

$$P_{к} = P_{сух} - (P_{ц} + P_{и}^{\Phi} + P_{г}) = 590,91 - (84,42 + 99,32 + 4,97) = 402,2 \text{ кг.}$$

8. Рассчитываем расход воды

$$P_{в} = P_{сух} \cdot В/Т = 590,91 \cdot 0,4 = 236,3 \text{ кг.}$$

9. Расход $P_{п}$ порообразователя – алюминиевой пудры – рассчитываем по формуле

$$P_{п} = \frac{\Pi_{г} \cdot V}{\alpha \cdot K},$$

где $\Pi_{г}$ – пористость, которую должен создать порообразователь – рассчитывается по приведенной ранее формуле

$$\Pi_{г} = 1 - \frac{\rho_{б}}{K_{с}} (W + В/Т) = 1 - \frac{0,65}{1,1} (0,34 + 0,4) = 0,56;$$

K – удельное газообразование порообразователя, определяемое по химическому уравнению реакции газообразования и при температуре формовочной смеси $t = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [10].

Как показано выше, величина K для $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет 1,42 л/г. Тогда

$$P_{\text{п}} = \frac{0,56 \cdot 1000}{0,85 \cdot 1,42} = 466 \text{ г.}$$

10. Рассчитываем расход материалов для приготовления водно-алюминиевой суспензии.

Расход ПАВ: $P_{\text{ПАВ}} = P_{\text{п}} \cdot 0,05 = 466 \cdot 0,05 = 23,3 \text{ г.}$

Расход воды: $P_{\text{в.ал}} = 20P_{\text{п}} = 20 \cdot 466 = 9320 \text{ г} = 9,32 \text{ л.}$

11. Рассчитываем высоту h заполнения формы формовочной массой

$$h = 1,1 (1 - \Pi_{\Gamma}) = 1,1 (1 - 0,56) = 0,48.$$

Результаты расчета сводим в табл. 6.

Таблица 6

Расход сырьевых материалов на 1 м³ ячеистого бетона

Материал	Расход
Портландцемент	84,42 кг
Известь строительная	99,32 кг
Песок кварцевый	402,2 кг
Гипс двухводный	4,97 кг
Пудра алюминиевая	466 г
Вода	236,36 л
в т.ч. в составе водно-алюминиевой суспензии	9,32 л
Поверхностно-активная добавка	23,3 г

3.2.4. Расчет состава автоклавных изделий из плотного силикатного бетона

Исходные данные:

- марка бетона M_i ;
- средняя плотность бетона $\rho_{\text{б}}$, кг/м³;
- содержание активных СаО + MgO в бетонной смеси $A_{\text{см}}$, %;
- активность применяемой извести $A_{\text{и}}$, %;
- содержание тонкомолотого кварцевого песка $\Pi_{\text{м}}$, %;
- водотвердое отношение В/ Т;
- равновесная влажность бетона $W_{\text{б}}$, %;
- карьерная влажность песка $W_{\text{п}}$, %.

Порядок расчетов

1. Теоретический расход I_a извести (100 % активности) для получения заданной активности бетонной смеси $A_{см}$, рассчитывается по формуле

$$I_a = \frac{\rho_b \cdot A_{см}}{100}, \text{ кг.}$$

2. Фактический расход I_f извести (реальной активности $A_{и}$) определяется по формуле

$$I_f = \frac{I_a}{A_{и}} \cdot 100 = \frac{\rho_b \cdot A_{см}}{A_{и}}, \text{ кг.}$$

3. Расход сухого молотого песка (кремнеземистого компонента автоклавного вяжущего) P_m^c определяется по формуле

$$P_m^c = \frac{\rho_b \cdot \Pi_m}{100}, \text{ кг.}$$

Значения $A_{см}$ и Π_m принимаются по [12] в зависимости от проектируемой марки бетона М.

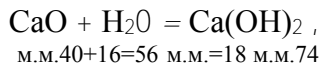
Соответствующая масса песка карьерной влажности $P_m^{вл}$ составит

$$P_m^{вл} = \frac{P_m^c \cdot (100 + W_{\Pi})}{100}, \text{ кг.}$$

4. Общая масса вяжущего $P_{вяж}$, расходуемого на 1 м^3 бетона:

$$P_{вяж} = I_f + P_m^{вл}, \text{ кг.}$$

5. Расход воды на гидратацию извести V_g рассчитывается, исходя из уравнения гашения извести



из которого следует, что

$$V_{\Gamma} = \frac{18}{56} I_a = 0,32 I_a, \text{ кг.}$$

6. Расход гидратированного вяжущего $R_{\text{вяж}}^{\text{гидр}}$ на 1 м^3 плотного силикатного бетона определяем по формуле

$$R_{\text{вяж}}^{\text{гидр}} = I_{\text{ф}} + R_{\text{м}}^{\text{вл}} + V_{\Gamma}^{\text{доп}}, \text{ кг,}$$

где $V_{\Gamma}^{\text{доп}} = V_{\Gamma} - (R_{\text{м}}^{\text{вл}} - R_{\text{м}}^{\text{с}})$.

7. Расход $\Pi_{\text{сух}}$ сухого немолотого песка-заполнителя определяем по формуле

$$\Pi_{\text{сух}} = \rho_{\text{б}} - (R_{\text{вяж}}^{\text{гидр}} + V_{\text{мех}}), \text{ кг,}$$

где $V_{\text{мех}}$ – свободная влага, содержащаяся в бетоне, кг, рассчитывается по формуле

$$V_{\text{мех}} = \frac{\rho_{\text{б}} \cdot W_{\text{б}}}{100},$$

где $W_{\text{б}}$ – остаточная влажность бетона через сутки после автоклавной обработки, %.

8. Расход песка-заполнителя карьерной влажности $\Pi_{\text{вл}}$ определяется по формуле

$$\Pi_{\text{вл}} = \frac{\Pi_{\text{сух}} \cdot (100 + W_{\text{п}})}{100}, \text{ кг.}$$

9. Общий расход воды затворения $V_{\text{общ}}$ определяем как

$$V_{\text{общ}} = (R_{\text{вяж}}^{\text{гидр}} + \Pi_{\text{сух}}) \cdot V/\text{T}, \text{ л.}$$

10. С учетом влаги карьерного песка-заполнителя $V_{\text{кар}}$ необходимая дозировка воды на 1 м^3 плотного силикатного бетона составит

$$V = V_{\text{общ}} - V_{\text{кар}} + V_{\text{г}}^{\text{доп}} \text{ л.}$$

Если в исходных данных проекта не приведены параметры бетонной смеси и состав вяжущего, их можно назначать по [11], исходя из требуемой прочности плотного силикатного бетона по табл. 7.

Таблица 7

Соответствие между параметрами бетонной смеси и маркой бетона

Марка бетона, М	Содержание в бетонной смеси, %	
	активной СаО	молотого песок
150	5–6	5–6
200	6,5–7	6–8
300	7–8	8–10

Минимальное содержание в бетонной смеси активных СаО + MgO при использовании воздушной извести и свободной СаО в случае применения вяжущих известково-белитового типа составляет соответственно 4 и 2 %. Другими словами, если при подборе состава получается в эксперименте $A_{\text{см}} = 3,5$, необходимо принимать в проекте минимально допускаемое значение $A_{\text{см}} = 4 \%$.

Для бетонов, приготовленных по гидратному способу (на пушонке), минимальное содержание суммы оксидов кальция и магния должно быть 5 %, а свободной окиси кальция – 3 %.

Результаты расчета необходимо свести в таблицу расхода сырьевых материалов на 1 м^3 плотного силикатного бетона.

3.2.5. Пример расчета состава автоклавных изделий из плотного силикатного бетона

Исходные данные:

- проектируемая марка бетона $M = 200$;
- средняя плотность бетона $\rho_b = 1950 \text{ кг/м}^3$;
- активность применяемой извести $A_{и} = 75 \%$;
- содержание в бетонной смеси активных $\text{CaO} + \text{MgO} = A_{см} = 6,5 \%$;
- содержание тонкомолотого песка $\Pi_{м} = 6 \%$;
- равновесная влажность бетона $W_6 = 5 \%$;
- карьерная влажность песка $W_{п} = 3 \%$;
- водотвердое отношение $B/T = 0,12$.

Порядок расчетов

1. Рассчитываем теоретический расход извести I_a (100 % активности) как

$$I_a = \frac{\rho_b \cdot A_{см}}{100} = \frac{1950 \cdot 6,5}{100} = 127 \text{ кг.}$$

2. Фактический расход извести $I_{ф}$ получаем из выражения

$$I_{ф} = \frac{I_a \cdot 100}{A_{и}} = \frac{\rho_b \cdot A_{см}}{A_{и}} = \frac{1950 \cdot 6,5}{75} = 169 \text{ кг.}$$

3. Расход сухого молотого песка P_m^c на приготовление вяжущего составит

$$P_m^c = \frac{\rho_b \cdot \Pi_{м}}{100} = \frac{1950 \cdot 6}{100} = 117 \text{ кг,}$$

что соответствует расходу песка карьерной влажности $P_m^{вл}$ в количестве

$$P_m^{вл} = \frac{P_m^c \cdot (100 + W_{п})}{100} = \frac{117 \cdot (100 + 3)}{100} = 121 \text{ кг.}$$

4. Определяем массу вяжущего $P_{\text{вяж}}$, расходуемого на 1 м^3 бетона

$$P_{\text{вяж}} = I_{\text{ф}} + P_{\text{м}}^{\text{вл}} = 169 + 121 = 290 \text{ кг.}$$

5. Расход воды $V_{\text{г}}$ на гидратацию извести определяем как

$$V_{\text{г}} = 0,32 \cdot 127 = 41 \text{ кг.}$$

Потребность в дополнительной воде $V_{\text{г}}^{\text{доп}}$ на реакцию гидратации извести после введения влажного песка составит

$$V_{\text{г}}^{\text{доп}} = V_{\text{г}} - (P_{\text{м}}^{\text{вл}} - P_{\text{м}}^{\text{с}}) = 41 - (121 - 117) = 41 - 4 = 37 \text{ кг.}$$

6. Расход количества гидратированного вяжущего $P_{\text{вяж}}^{\text{гидр}}$ выполняется по формуле

$$P_{\text{вяж}}^{\text{гидр}} = P_{\text{вяж}} + V_{\text{г}}^{\text{доп}} = I_{\text{ф}} + P_{\text{м}}^{\text{вл}} + V_{\text{г}}^{\text{доп}} = 169 + 121 + 37 = 327 \text{ кг.}$$

7. Количество сухого песка-заполнителя $P_{\text{сух}}$ найдем по формуле

$$\begin{aligned} P_{\text{сух}} &= \rho_{\text{б}} - (P_{\text{вяж}}^{\text{гидр}} + V_{\text{мех}}) = 1950 - (327 + \frac{1950 \cdot 5}{100}) = \\ &= 1950 - 424 = 1526 \text{ кг.} \end{aligned}$$

8. Расход песка-заполнителя карьерной влажности $P_{\text{вл}}$ определяется из выражения

$$P_{\text{вл}} = \frac{P_{\text{сух}} \cdot (100 + W_{\text{п}})}{100} = \frac{1526 \cdot (100 + 3)}{100} = 1572 \text{ кг.}$$

Масса воды в карьерном песке-заполнителе $V_{\text{кар}}$ составляет величину

$$V_{\text{кар}} = P_{\text{вл}} - P_{\text{сух}} = 1572 - 1526 = 46 \text{ кг.}$$

9. Общий расход воды затворения $V_{\text{общ}}$ примет значение

$$V_{\text{общ}} = P_{\text{сух}} \cdot V/T = (P_{\text{вяз}}^{\text{гидр}} + P_{\text{сух}}) \cdot V/T = (327 + 1526) \cdot 0,12 = 222 \text{ л.}$$

10. С учетом влажности карьерного песка-заполнителя необходимая дозировка воды на 1 м^3 бетона составит

$$V = V_{\text{общ}} - V_{\text{кар}} + V_{\text{г}}^{\text{доп}} = 222 - 46 + 37 = 213 \text{ л.}$$

Результаты расчета сводим в табл. 8.

Таблица 8

Расход сырьевых материалов на 1 м^3 плотного силикатного бетона марки 200 средней плотности 1950 кг/м^3

Материал	Расход
Известь воздушная	169 кг
Песок кварцевый карьерной влажности, в т.ч.:	1693 кг
молотый песок	121 кг
песок-заполнитель	1572 кг
Вода	213 л

3.3. Расчет расхода карбонатной породы для получения строительной извести

Исходными данными для расчета являются химический или минералогический состав применяемой породы, ее карьерная влажность и степень диссоциации карбонатной породы, достигаемая при конкретных условиях ее обжига, согласно ОНТП-10-85 в качестве сырья для производства извести должны применяться карбонатные породы классов А и Б с содержанием карбонатов кальция и магния в сумме не менее 92 %.

Порядок расчета проследим на следующем примере.

Пусть необходимо рассчитать расход известняка для получения 1 т негашеной комовой извести. Карьерная влажность

известняка $W = 4\%$, содержание $\text{CaCO}_3 = 87\%$, $\text{MgCO}_3 = 5\%$, глинистых примесей 4% , песчаных примесей 4% , степень диссоциации сырья при обжиге $\eta = 0,97$.

Вначале решим обратную задачу. Рассчитаем выход извести из единицы массы известняка, например, из 1 т. Порядок расчета следующий.

Поскольку химический и минералогический состав пород всегда приводится в расчете на сухое вещество, необходимо начать с определения массы известняка m_c после подсушивания (удаления механически связанной влаги).

$$m_c = \frac{1000 \cdot 100}{100 + W} = \frac{1000 \cdot 100}{100 + 4} = 960 \text{ кг.}$$

В процессе обжига известняка его составные части либо претерпевают химические превращения, либо остаются неизменными. Последнее относится к песчаным примесям, которые в неизменном виде перейдут из известняка в известь.

Массу песчаных примесей в извести определим как

$$m_{\text{п}}^{\text{и}} = 0,04 \cdot 960 = 38,4 \text{ кг.}$$

Состав глинистых примесей в процессе обжига изменяется, происходит их дегидратация - удаление химически связанной воды. Условно будем считать, что минералогический состав глины представлен каолинитом $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Чтобы определить, какая доля массы глинистых примесей потеряется за счет дегидратации, надо подсчитать молярную массу каолинита и молярную массу химически связанной воды в нем, что составит

$$\frac{2 \cdot (2 + 16)}{2 \cdot 27 + 16 \cdot 3 + 2 \cdot (28 + 32) + 2 \cdot (2 + 16)} = \frac{36}{258} = 0,14.$$

Тогда массу глинистых примесей $m_{\text{г}}$ в извести рассчитаем как

$$m_r = m_r^c \cdot (1 - 0,14),$$

где m_r^c – масса глинистых примесей в сухом известняке.

Подставляя исходные значения $m_r^c = 0,04 \cdot 960$, получим

$$m_r = 0,04 \cdot 960 \cdot (1 - 0,14) = 33 \text{ кг.}$$

В процессе обжига вначале произойдет декарбонизация магнезита по уравнению



а поскольку температура получения воздушной извести значительно превышает температуру разложения магнезита, декарбонизация его пройдет полностью, и количество оксида магния, перешедшего в известь, можно рассчитать из уравнения реакции его декарбонизации. Предварительно надо определить массу карбоната магния $m_{\text{к.м}}^c$ в исходной сухой породе, которая составит для нашего примера

$$m_{\text{к.м}}^c = 0,05 \cdot 960 = 48 \text{ кг.}$$

Молярная масса магнезита составит $24 + 12 + 48 = 84$, а оксида магния $24 + 16 = 40$, тогда количество активного оксида магния в извести определится из пропорции

$$\begin{array}{l} 84 - 40 \\ 48 - m_m \end{array} \quad \left| \quad m_m = \frac{48 \cdot 40}{84} = 22,8 \text{ кг.} \right.$$

При повышенных температурах (900–1000 °С) протекает декарбонизация карбоната кальция – основного компонента карбонатного сырья. Исходное его количество $m_{\text{к.к}}^c$ в породе составит в нашем случае

$$m_{\text{к.к}}^c = 0,87 \cdot 960 = 835,2 \text{ кг.}$$

В процессе обжига произойдет его декарбонизация по уравнению



Молярная масса карбоната кальция составляет $40 + 12 + 48 = 100$, а оксида магния $40 + 16 = 56$, тогда количество оксида кальция $m_{\text{к}}$, выделившегося при разложении $m_{\text{к.к}}^{\text{с}}$ определится из пропорции

$$\frac{100 - 56}{835,2 - m_{\text{к}}} \quad \Bigg| \quad m_{\text{к}} = \frac{56 \cdot 835,2}{100} = 467,7 \text{ кг}.$$

Поскольку степень диссоциации карбоната кальция для нашего примера составляет 0,97, масса активного CaO в извести составит

$$m_{\text{к}} = 467,7 \cdot 0,97 = 453,7 \text{ кг}.$$

Неразложившаяся часть карбоната кальция перейдет в известь в виде недожога, масса которого $m_{\text{н}}$ может быть рассчитана как

$$m_{\text{н}} = m_{\text{к.к}}^{\text{с}} \cdot (1 - \eta) = 835,2 \cdot 0,03 = 25,1 \text{ кг}.$$

Теперь можно рассчитать валовой выход И извести из 1 т карбонатной породы:

$$\begin{aligned} \text{И} &= m_{\text{к}} + m_{\text{м}} + m_{\text{н}}^{\text{и}} + m_{\text{г}} + m_{\text{н}} = \\ &= 453,7 + 22,8 + 38,4 + 33 + 25,1 = 573 \text{ кг}. \end{aligned}$$

Активность полученной извести рассчитывается как процентное содержание в ней оксидов кальция и магния

$$A_{\text{и}} = \frac{(m_{\text{к}} + m_{\text{м}})}{\text{И}} \cdot 100 = \frac{(453,7 + 22,8)}{573} \cdot 100 = 83 \%,$$

т.е. полученная известь по активности может быть отнесена ко второму сорту.

Зная выход извести из тонны сырья, определим расход известняка $P_{и}$ для получения 1 т извести как

$$P_{и} = \frac{1000}{И} = \frac{1000}{573} = 1,75 \text{ т/т извести.}$$

Полученную в расчете величину $P_{и}$ следует увеличить с учетом пылеуноса, который составляет в % от общего количества загружаемого в печь известняка:

- для шахтных печей: 0,5–1 %;
- для вращающихся печей со слоевыми подогревателями сырья: 4–6 %;
- для длинных вращающихся печей: 8–10 %.

Удельный расход карбонатного сырья с учетом пылеуноса должен находиться в пределах, соответствующих требованиям ОНТП-10-85, приведенным в табл. 9.

Таблица 9

Допустимые нормы расхода карбонатного сырья

Вид сырья	Норма расхода, т/т
Известняк дробленный сортированный: при обжиге в шахтных печах	1,6–1,8
при обжиге во вращающихся печах	1,8–2,0
Рыхлый известняк и мел с влажностью до 15 %	2,0–2,3
Мел с влажностью от 16 до 30 %	2,4–2,6

Удельный расход условного топлива q_0 на получение извести с активностью $A_{и} = 80$ % принимается по ОНТП-10-85 и составляет в зависимости от вида печей значения, приведенные в табл. 10

Таблица 10

Нормы расхода условного топлива на получение извести с $A_{и} = 80$

Тип печей	Расход условного топлива, кг/кг
Шахтные пересыпные	0,148
Шахтные, работающие на природном газе	0,158
Короткие вращающиеся со слоевыми теплообменниками	0,210
Длинные вращающиеся, работающие по сухому способу	0,245
Длинные вращающиеся работающие по мокрому способу	0,280

Рассчитать удельный фактический расход топлива q_{ϕ} на производство извести фактической активности $A_{\text{и}}^{\phi}$ можно по формуле

$$q_{\phi} = q_0 \cdot \frac{A_{\text{и}}^{\phi}}{80}, \text{ кг/кг.}$$

Для расчета потребности предприятия в сырье в час, смену, сутки, год по ОНТП принимается режим его работы как непрерывный круглогодовой с числом рабочих дней в году 365.

Режим работы сырьевых отделений, отделений дробления и помола извести допускается устанавливать 260 или 305 дней в году при наличии промежуточных емкостей, обеспечивающих необходимый запас материалов (не менее 10-часового).

Годовой фонд чистого рабочего времени рассчитывается по формуле

$$T_0 = 8760 \cdot K_{\text{и}} \cdot K_{\text{г}},$$

где $K_{\text{и}}$ – коэффициент использования, равный 0,92 независимо от типа печей (учитывает время простоев в ремонте);

$K_{\text{г}}$ – коэффициент готовности, учитывающий устранение случайных отказов работы оборудования, принимается равным 0,98.

4. СОСТАВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

4.1. Постановка задачи

При составлении материального баланса студент определяет поставки сырьевых материалов в единицу времени для обеспечения выполнения производственной программы предприятия, рассчитанной по заданной производительности. В качестве примера рассматривается составление материального баланса цементного завода, работающего по мокрому способу, поскольку при сухом способе расчеты упрощаются из-за отсутствия расчетов шлама. Пусть заданы следующие исходные данные для расчета:

– годовая производительность 1 350 000 т цемента. Состав портландцемента: клинкер 87 %, гипс 3 %, АМД – 10 %;

– состав 3-х компонентной сырьевой смеси: известняк 82,79 %, глина 10,48 %, опоки 6,73 %;

– естественная влажность сырьевых материалов: известняк 5 %, глина 15 %, АМД (трепел) 20 %, гипс 6 %, опоки 20 %;

– потери при прокаливании сырьевой смеси 35,54 %;

– производственные потери: сырьевых материалов 2,5 %, клинкера 0,5 %, добавок (каждой) 1 %, цемента 1 %. Коэффициент использования вращающихся печей 0,92. Режим работы основных подразделений в течение года: карьер и дробильное отделение 307 дней по 6 ч (4912 ч); отделение помола сырья 307 дней по 24 ч (7368 ч); цех обжига клинкера 337 дней по 24 ч (8088 ч); отделение помола цемента 307 дней по 24 ч (7368 ч); силосно-упаковочное отделение 365 дней по 24 ч (8760 ч).

Годовая производительность завода по клинкеру составит

$$1\,350\,000 \cdot \frac{87}{100} = 1174500 \text{ т/год,}$$

где 87 – содержание клинкера в цементе, % .

При коэффициенте использования вращающихся печей 0,92, печи работают в течение года $365 \cdot 0,92 = 337$ сут или 8088 ч. Отсюда часовая производительность всех печей составит

$$\frac{1174500}{8088} = 145,22 \text{ т/ч.}$$

В табл. 11 приведена производительность вращающихся печей при мокром способе производства в зависимости от диаметра и длины.

Таблица 11

Характеристики вращающихся печей

Диаметр Ø, м	Длина l, м	Производительность П, т/ч
4,5	170	50
5,0	185	75
7,0	230	125

При сухом способе производства принимают короткие печи длиной не более 75 м с установками для использования тепла отходящих газов или шахтные печи. В последних обжигают мергельные породы или искусственно приготовленную сырьевую смесь в виде брикетов.

В данном расчете принимаем решение об установке двух вращающихся печей Ø 5 м, l = 185 м, П = 75 т/ч, суммарная производительность которых составит:

$$75 \cdot 2 = 150 \text{ т/ч, } 150 \cdot 24 = 3600 \text{ т/сут, } 150 \cdot 8088 = 1\,213\,200 \text{ т/год.}$$

4.2. Расчет расхода сырьевых материалов

Если в качестве топлива используется природный газ, расход сырьевых материалов рассчитывается на расчетную производительность 150 т/ч. Если же печи работают на угольной пыли, после ее сгорания происходит присадка золы к сырьевой массе, что уменьшает расход сырьевых материалов. Пусть величина

такой присадки составляет 4 %. Тогда расход сырьевых материалов надо считать не для производства 150 т/ч, а

$$150 \cdot \frac{100 - 4}{100} = 144 \text{ т/ч.}$$

Теоретический удельный расход сухого сырья для производства клинкера определяют с учетом потерь при прокаливании сырьевой смеси:

$$\frac{100}{100 - \text{п.п.п.}} = \frac{100}{100 - 35,4} = 1,55 \text{ т/т клинкера.}$$

Для обеспыливания отходящих газов вращающихся печей устанавливаются электрофильтры, что позволяет считать потери с отходящими газами не более 1 %. Тогда расход сухого сырья при расчетной производительности составит

$$1,55 \cdot 100 \cdot (100 - 1) = 1,566 \text{ т/т клинкера,}$$

а потребность в сырье в единицу времени окажется равной

$$1,566 \cdot 144 = 225,5 \text{ т/ч; } 225,5 \cdot 24 = 5412 \text{ т/сут.; } 225,5 \cdot 8088 = \\ = 1\,823\,844 \text{ т/год.}$$

Далее, как показано в табл. 12, на основе общей потребности в сырье рассчитывается расход отдельных компонентов сухой сырьевой смеси.

Аналогичным образом выполняется расчет расхода сырьевых материалов с учетом карьерной влажности W , результаты которого представлены в табл. 13.

Таблица 12

Результаты расчета расхода отдельных компонентов

Расход компонента	Компонент		
	Известняк	Глина	Опоки
На тонну клинкера, т/т	$1,566 \cdot \frac{82,79}{100} = 1,296$	$1,566 \cdot \frac{10,48}{100} = 0,164$	$1,566 \cdot \frac{6,73}{100} = 0,106$
За час, т/ч	$1,296 \cdot 144 = 183,92$	$0,164 \cdot 144 = 23,62$	$0,106 \cdot 144 = 15,26$
За сутки, т/сут.	$183,92 \cdot 24 = 4414,08$	$23,62 \cdot 24 = 566,88$	$18,32 \cdot 24 = 439,60$
За год, т/год	$183,92 \cdot 8088 = 1\,487\,544,96$	$23,62 \cdot 8088 = 191\,038,56$	$18,32 \cdot 8088 = 148\,172$

Таблица 13

Расход отдельных компонентов с учетом карьерной влажности

Расход компонента, т	Компонент		
	Известняк	Глина	Опоки
На тонну клинкера, т/т	$1,296 \cdot \frac{(100 + W)}{100} =$ $= 1,296 \cdot \frac{105}{100} = 1,361$	$0,164 \cdot \frac{115}{100} = 0,188$	$0,106 \cdot \frac{120}{100} = 0,1272$
За час, т/ч	$1,361 \cdot 144 = 195,95$	$0,188 \cdot 144 = 27,15$	$0,1272 \cdot 144 = 18,32$
За сутки, т/сут.	$195,95 \cdot 24 = 4702,92$	$27,15 \cdot 24 = 651,6$	$18,32 \cdot 24 = 439,60$
За год, т/год	$195,95 \cdot 8088 = 1\,584\,843,6$	$27,15 \cdot 8088 = 219\,589,2$	$18,32 \cdot 8088 = 148\,172$



4.3. Расчет расхода шлама

Часовой расход шлама $A_{ш}$ рассчитывают по формуле

$$A_{ш} = \frac{A_{с} \cdot 100}{(100 - W_{ш}) \rho_{ш}},$$

где $A_{ш}$ – расход шлама, м³/ч;

$A_{с}$ – расход сухого сырья, т/ч;

$W_{ш}$ – влажность шлама, %;

$\rho_{ш}$ – плотность шлама, т/м³.

Плотность шлама определяют интерполяцией по данным, приведенным в табл. 14 [13].

Таблица 14

Зависимость плотности шлама от его влажности

Влажность шлама, %	35	40	45
Плотность шлама, т/м ³	1,650	1,600	1,550

Для рассматриваемого примера влажность шлама принята равной 36%, что при интерполяции дает $\rho_{ш} = 1,64$ т/м³.

Тогда на обе печи необходимо подавать шлам в объеме

$$A_{ш} = \frac{225,5 \cdot 100}{(100 - 36) \cdot 1,64} = 214,84 \text{ м}^3/\text{ч}$$

или $214,84 \cdot 24 = 5156,16$ м³/сут.

или $214,84 \cdot 8088 = 1\,737\,625,9$ м³/год.

Если принят сухой способ производства, то потребность в увлажненном сырье рассчитывается по формуле

$$A_{ш} = A_{с} \frac{(100 + W_{м})}{100},$$

где $W_{м}$ – карьерная влажность сырьевого материала.

4.4. Материальный баланс отделения помола сырья

Из рассчитанной выше потребности в сухих сырьевых материалах 1 823 844 т/год при принятом режиме работы отделения 307 суток в год по 3 смены следует, что сухого сырья должно быть размолото

$$1\ 823\ 844 : 307 = 5940,86 \text{ т/сут или } 5940,86 : 24 = 247,54 \text{ т/ч.}$$

При этом помол отдельных компонентов составит следующие объемы (табл. 15).

Таблица 15

Объемы помола отдельных компонентов

Объем помола	Компонент		
	Известняк	Глина	Опоки
За час, т/ч	$247,54 \cdot \frac{82,79}{100} = 204,94$	$247,54 \cdot \frac{10,48}{100} = 25,9$	$247 \cdot \frac{6,73}{100} = 16,66$
За сутки, т/сут	$5940,86 \cdot \frac{82,79}{100} = 4918,44$	$5940,86 \cdot \frac{10,48}{100} = 622,6$	$5940 \cdot \frac{6,73}{100} = 399,82$
За год, т/т	$1\ 823\ 844 \cdot \frac{82,79}{100} = 1\ 509\ 960,45$	$1\ 823\ 844 \cdot \frac{10,48}{100} = 1\ 911\ 38,85$	$1\ 823\ 844 \cdot \frac{6,73}{100} = 122\ 744$

При мокром помоле сырья одновременно с сырьевыми материалами в мельницы подается вода. Ее количество $V_{ш}$ рассчитывается по формуле

$$V_{ш} = A_{ш} \cdot \rho_{ш} - (A_c + W_i + W_f + W_0),$$

где $V_{ш}$ – количество воды, необходимое для приготовления шлама, м³/г;

$\rho_{ш}$ – плотность шлама, т/м³;

$A_{ш}$ – потребность в готовом шламе, м³/г;

A_c – потребность в сухом сырье, т/ч;

W_i, W_r, W_0 – количество воды, поступающее соответственно с известняком, глиной и опокой естественной влажности, т/ч.

Из приведенных выше расчетов имеем

$$A_{ш} = 214,84 \text{ м}^3/\text{ч}; \rho_{ш} = 1,64 \text{ т/м}^3; A_c = 225,50 \text{ т/ч};$$

$$W_i = 195,95 - 183,92 = 12,03 \text{ т/ч}; W_r = 27,15 - 23,62 = 3,53 \text{ т/ч};$$

$$W_0 = 18,32 - 15,26 = 3,06 \text{ т/ч}.$$

Подставляя эти данные в исходную формулу для $V_{ш}$, находим расход воды на приготовление шлама:

$$V_{ш} = 214,84 \cdot 1,64 - (225,50 + 12,03 + 3,53 + 3,06) = 108,22 \text{ т/ч};$$

$$108,22 \cdot 24 = 2597,28 \text{ т/сут};$$

$$2597,28 \cdot 307 = 797364,96 \text{ т/год}.$$

4.5. Материальный баланс карьера и дробильного отделения

Согласно исходным данным потери сырья составляют 2,5 %. Из них 1,5 % – потери в карьере при транспортировке и дроблении в дробильном отделении, 1 % – потери сырья с отходящими газами вращающихся печей.

Карьер, как и дробильное отделение, работает с выходными днями – 307 суток в году по две смены в сутки или $307 \cdot 16 = 4912$ ч в год.

Для производства 1 213 200 т/год клинкера необходимое количество сырьевых материалов, как рассчитано выше, составляет объемы:

известняка – 1 588 645 т/год;

глины – 224 766 т/год.

Опока является привозным сырьем и в расчетах не учитывается, необходимые поставки известняка и глины определим с учетом потерь 1,5 %.

Для известняка получаем объемы:

$$1\,588\,645 \cdot \frac{(100+1,5)}{100} = 1\,612\,475 \text{ т/год};$$

$$1\,612\,475 : 307 = 5252,36 \text{ т/сут};$$

$$5252,36 : 16 = 328,27 \text{ т/ч};$$

Объемы для глины:

$$224\,766 \cdot \frac{(100+1,5)}{100} = 228\,137 \text{ т/год};$$

$$228\,137 : 307 = 743,12 \text{ т/сут};$$

$$743,12 : 16 = 46,45 \text{ т/ч};$$

Таким образом, производительность карьера должна обеспечить добычу, а дробильное отделение подачу следующего количества дробленых материалов:

в год – 1 612 475 т известняка, 228 137 т глины;

в сутки – 5252,36 т известняка, 743,12 т глины;

в час – 328,27 т известняка, 46,45 т глины.

4.6. Материальный баланс клинкерного склада и отделения помола цемента

На клинкерный склад поступают клинкер, гипс и гидравлические добавки, в данном случае трепел. Из материального баланса цеха обжига следует, что на склад поступает клинкера: в час 150 т;

в сутки 3600 т;

в год 1 213 200 т.

При этом неизбежны некоторые потери поступающих материалов, величины которых приняты для клинкера 0,5 %, трепела 1 %, гипса 1 %. Тогда в отделение помола цемента за год клинкер поступит в количестве:

$$1\,213\,200 \cdot (100 + 0,5)/100 = 1\,207\,134 \text{ т}.$$

При работе отделения помола цемента 307 суток в году по 3 смены (7368 ч в год) необходимое количество клинкера:

$$\text{в сутки} - 1\,207\,134 : 307 = 3932 \text{ т};$$

$$\text{в час} - 1\,207\,134 : 7368 = 163,83 \text{ т}.$$

Определяем потребность отделения помола цемента в компонентах.

$$\text{Трепел: } 1\,207\,134 \cdot 10/87 = 138\,751 \text{ т/год};$$

$$138751 : 307 = 452 \text{ т/сут};$$

$$138751 : 7368 = 18,83 \text{ т/ч}.$$

$$\text{Гипс: } 1207134 \cdot 3/87 = 41625 \text{ т/год};$$

$$41625 : 307 = 135,60 \text{ т/сут};$$

$$41625 : 7368 = 5,65 \text{ т/ч}.$$

Отсюда следует, что производительность отделения помола цемента составляет:

$$1\,207\,134 + 138\,751 + 41\,625 = 1\,387\,510 \text{ т/год цемента};$$

$$3932 + 452 + 135,6 = 4519,6 \text{ т/сут};$$

$$163,83 + 18,83 + 5,65 = 188 \text{ т/ч}.$$

При аспирации цементных мельниц потери цемента могут быть приняты порядка 0,5 %. Тогда действительная производительность помольного отделения составит:

$$1\,387\,510 \cdot (100 - 0,5)/100 = 1\,380\,572 \text{ т/год цемента};$$

$$4519,6 \cdot (100 - 0,5)/100 = 4497 \text{ т/сут};$$

$$188,31 \cdot (100 - 0,5)/100 = 187,36 \text{ т/ч}.$$

Если учесть, что трепел подается на помол после предварительной сушки ($W_{\text{нач}} = 20\%$) и потери его на складе составляют примерно 1 %, то количество трепела, которое поступает на склад за год, должно быть

$$138\,751 \cdot \frac{(100 + 20) \cdot 100}{100 \cdot (100 - 1)} = 168\,183 \text{ т}.$$

Для гипса учитывается только 1 % его потерь, т.к. он поступает на помол без предварительной сушки и его поставка на склад составляет:

$$41625 \cdot \frac{100}{(100-1)} = 42045 \text{ т/год.}$$

4.7. Материальный баланс силосно-упаковочного отделения

В соответствии с приведенными выше расчетами в силосно-упаковочное отделение поступает цемента:

в год – 1 805 2 т;

в сутки – 4497 т;

в час – 187,36 т.

Учитывая потери цемента при упаковке и отгрузке порядка 0,5 %, рассчитаем количество цемента, подлежащее отгрузке:

$$\text{в год } 1\,805\,2 \cdot \frac{(100-0,5)}{100} = 1\,373\,669 \text{ т;}$$

в среднем в сутки $1\,373\,669 : 365 = 3763,5$ т.

Часовая отгрузка не может быть рассчитана, поскольку зависит от ритмичности поступления транспорта под погрузку цемента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества / А.В. Волженский. – М.: Стройиздат, 1986. – 409 с.
2. Рояк, С.М. Специальные цементы / С.М. Рояк, Г.С. Рояк. – М.: Стройиздат, 1983. – 279 с.
3. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий по производству извести: ОНТП-10-85. – М.: Минстройматериалов СССР, 1986. – 76 с.
4. Ведомственные нормы технологического проектирования цементных заводов, работающих по сухому способу производства: ВНТП 06-86. – Л.: Минстройматериалов СССР, 1986. – 106 с.
5. Пособие к Ведомственным нормам (ВНТП 06-86) технологического проектирования цементных заводов, работающих по сухому способу производства. – М.;Л.: Минстройматериалов СССР, 1987. – 297 с.
6. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий по производству гипсовых вяжущих и изделий: ОНТП-15-86. – М.: Минстройматериалов СССР, 1986.
7. Алексеев, Б.В. Производство цемента / Б.В. Алексеев, Г.К. Барбашев. – М.: Высшая школа, 1985. – 262 с.
8. Сулименко, Л.Г. Технология минеральных вяжущих материалов и изделий на их основе: учебник для вузов / Л.Г. Сулименко. – 3-е изд., пераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2000. – 303 с.
9. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий по производству изделий из ячеистого и плотного бетонов автоклавного твердения: ОНТП-09-81. – Таллинн: Минстройматериалов СССР, 1985. – 98 с.
10. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона: СН 277-80. – М.: Стройиздат, 1981. – 47 с.

11. Инструкция по технологии изготовления конструкций и изделий из плотного силикатного бетона: СН 529-80. – М.: Стройиздат, 1981. – 47 с.
12. Дзабиева, Л.Б. Новые направления в технологии ячеистых бетонов. – Минск: БПИ, 1978. – 34 с.
13. Мельник, М.Т. Расчеты сырьевых смесей и материального баланса цементного завода / М.Т. Мельник, И.Д. Берхоер, Ю.С. Ковалев. – Киев, Вища школа, 1972. – 148 с.
14. Колбасов, В.М. Технология вяжущих материалов / В.М. Колбасов, И.И. Леонов, Л.М. Сулименко. – М.: Стройиздат, 1987. – 432 с.
15. Монастырев, А.В. Производство извести / А.В. Монастырев. – М.: Стройиздат, 1986. – 188 с.
16. Пашенко, А.А. Вяжущие материалы / А.А. Пашенко, В.П. Сербин, Е.А. Старчевская. – 2 изд. – Киев: Вища школа, 1985, – 440 с.
17. Зозуля, П.В. Проектирование цементных заводов / П.В. Зозуля, Ю.В. Никифоров. – М.: Синтез, 1995. – 439 с.
18. Кузьменков, М.И. Вяжущие вещества и технология производства изделий на их основе / М.И. Кузьменков, Т.С. Куницкая. – Минск: БГТУ, 2003. – 212 с.
19. Теория цемента / под ред. А.А. Пашенко. – Киев: Будівельник, 1991. – 168 с.
20. Кузьменков, М.И. Химическая технология вяжущих веществ / М.И. Кузьменков, О.Е. Хотянович. – Минск: БГТУ, 2008. – 263 с.
21. Дзабиева, Л.Б. Технологические расчеты сырьевых смесей в производстве вяжущих веществ / Л.Б. Дзабиева. – Минск: БГПА, 1998. – 23 с.
22. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия: ГОСТ 10178-85.
23. Портландцементы белые. Технические условия: ГОСТ 965-89.

24. Портландцемент для производства асбестоцементных изделий: СТБ 1239-2000.
25. Портландцементы тампонажные. Технические условия: ГОСТ 1581-96.
26. Панели из автоклавных ячеистых бетонов для наружных стен зданий: СТБ 1185-99.
27. Блоки из ячеистого бетона стеновые: СТБ 1117-98.
28. Теплоизоляционные плиты из ячеистого бетона: СТБ 1034-96.
29. Блоки из ячеистого бетона для перегородок: ТУ-21-00010257-380-92.
30. Бетоны ячеистые. Технические условия: СТБ 1570-2005.
31. Зола-унос ТЭС для бетонов. ТУ: ГОСТ 25818-91.
32. Безусадочный портландцемент: СТБ 942-93.
33. Сульфатостойкий портландцемент: ГОСТ 22266-94.
34. Портландцемент песчаный: ТУ 590118065.562-2008.
35. Цемент напрягающий. ТУ: СТБ 1335-2002.
36. Породы карбонатные для производства строительной извести: СТБ 1285-2001.
37. Известь строительная: СТБ ЕН 459-2-2002.
38. Цементы общестроительные. ТУ: ГОСТ 31108-2003.
39. Цементы. Ч. 1. Состав, спецификации и критерии соответствия общих цементов: СТБ ЕН 197-1-2000.
40. Цементы. Общие ТУ: ГОСТ 30515-97.
41. Курсовое проектирование. Общие требования и правила оформления: СПП БНТУ 3.01-2003.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.	3
1. ТЕМЫ И ЗАДАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ.	4
1.1. Тематика курсового проектирования.	4
1.2. Задание на курсовое проектирование.	5
2. СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ.	5
2.1. Введение.	6
2.2. Характеристика продукции	6
2.3. Технологическая часть.	6
2.4. Техника безопасности и охрана труда.	12
2.5. Список использованной литературы.	13
3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ СЫРЬЕВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ.	13
Расчет сырьевой смеси для получения	
3.1. портландцементного клинкера.	13
Расчеты сырьевых смесей в производстве	
3.2. изделий на основе автоклавных вяжущих.	18
Расчет расхода карбонатной породы для по-	
3.3. лучения строительной извести.	32
4. СОСТАВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ.	37
4.1. Постановка задачи.	37
4.2. Расчет расхода сырьевых материалов.	39
4.3. Расчет расхода шлама.	42
	51

4.4.	Материальный баланс отделения помола сырья.	43
4.5.	Материальный баланс карьера и дробильного отделения.	44
4.6.	Материальный баланс клинкерного склада и отделения помола цемента.	45
4.7.	Материальный баланс силосно-упаковочного отделения.	47
	ЛИТЕРАТУРА.	48
	ПРИЛОЖЕНИЕ.	53

ПРИЛОЖЕНИЕ

Образец оформления титульного листа курсового проекта

Белорусский национальный технический университет

Кафедра _____

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА к курсовому проекту

по дисциплине _____

Тема _____

Исполнитель _____ (Фамилия, инициалы)
(подпись)

Студент _____ курса _____ группы

Руководитель _____ (Фамилия, инициалы)
(подпись)

Минск 2010

Учебное издание

ДЗАБИЕВА Людмила Батырбековна

ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Методическое пособие
по курсовому проектированию для студентов специальности
1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций»

Редактор Е.О. Коржуева
Компьютерная верстка Л.А. Адамович

Подписано в печать 04.05.2010.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 3,14. Уч.-изд. л. 2,45. Тираж 200. Заказ 147.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.