

**Федеральное агентство по образованию**  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**Томский политехнический университет**

---

**А.А. Громов, Н.А. Митина**

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И  
ОБОРУДОВАНИЕ ЗАВОДОВ ТУГОПЛАВКИХ  
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ И СИЛИКАТНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ (ЧАСТЬ I)**

Методические указания к практическим занятиям, курсовому  
проектированию и самостоятельной работе  
по курсу «Оборудование и основы проектирования заводов ТНСМ»  
направления подготовки бакалавра 240100  
«Химическая технология и биотехнология»

Издательство ТПУ  
Томск 2009

УДК 666.1.01

**Громов А.А., Митина Н.А.**

Основы проектирования и оборудование заводов тугоплавких неметаллических и силикатных материалов (часть I): Методические указания к практическим занятиям, курсовому проектированию и самостоятельной работе по курсу «Оборудование и основы проектирования заводов ТНСМ» направления подготовки бакалавра 240100 «Химическая технология и биотехнология». - Томск: Изд. ТПУ, 2009 г. - 38 с.

В данных методических указаниях рассмотрены основные принципы расчета материального баланса силикатных производств, приведены конкретные примеры расчетов материальных балансов стекольного, цементного и кирпичного заводов. Представленный материал позволяет приобрести навыки выполнения технологических расчетов заводов тугоплавких неметаллических и силикатных материалов и произвести подбор основного оборудования.

УДК 666.1.01

Рекомендовано к печати Редакционно-издательским советом  
Томского политехнического университета

©Томский политехнический университет, 2009  
©Оформление. Издательство ТПУ, 2009

## Введение

Задание на выполнение курсового проекта выдается студентам 5 курса, знающим технологические процессы, происходящие на всех стадиях производства, соответствующего теме проекта, при изучении дисциплин «Основы проектирования» и «Оборудование заводов ТНСМ» для специальности 25.08.00. Тема курсового проекта выбирается в соответствии с профилем предприятия, на котором будет проходить практика и предполагается трудоустройство студента.

Перед студентами, выполняющими курсовой проект ставятся задачи:

- углубление и закрепление теоретических знаний по технологии ТНСМ и оборудованию заводов путем более подробного ознакомления с конструкцией и эксплуатацией отдельных видов специального оборудования;
- овладение методикой выбора и размещения (компоновки) основного и вспомогательного технологического оборудования с учетом требований технологии, строительного дела, техники безопасности и охраны окружающей среды.

### Содержание проекта и основные указания по его выполнению

В соответствии с СТП ТПУ 2.5.01-99 курсовой проект должен содержать:

- текстовый документ 45 – 50 страниц текста;
- графический материал 3 листа.

#### Текстовый документ (ТД)

ТД должен включать в указанной ниже последовательности:

- 1) титульный лист;
- 2) заполненный и подписанный бланк задания;
- 3) содержание;
- 4) введение;
- 5) описание требований к готовой продукции и исходному сырью;
- 6) описание технологического процесса и технологическую схему производства;
- 7) расчетную часть;
- 8) описание устройства и работы основного агрегата;
- 9) возможные виды дефектов, возникающие на данном оборудовании вследствие его неправильной эксплуатации и способы их устранения;
- 10) заключение;
- 11) список использованных источников;
- 12) приложения.

Раздел 1 «Титульный лист» выполняется по установленной форме и является единым для курсовых проектов, выполняемых студентами ТПУ;

В разделе 2 «Задание на проектирование» указываются: тема проекта, производственная мощность, основной агрегат, способ производства, конкретное изделие. Задание на КП выдается в соответствии с СТП ТПУ 2.5.01-99 за подписью заведующего кафедрой и руководителя проекта. В зависимости от специализации предлагаются следующие темы курсовых проектов:

**Специализация Технология цемента**, включающая технологию некоторых видов вяжущих материалов.

- Проект отделения первичного дробления известняка цементного завода (основной агрегат – щековая, конусная дробилка).

- Проект сырьевого цеха цементного завода (основной агрегат – сырьевая трубная мельница).
- Проект цеха помола цементного завода (основной агрегат – цементная трубная мельница).
- Проект участка дробления известняка завода силикатного кирпича (основной агрегат – щековая дробилка).
- Проект массозаготовительного отделения завода силикатного кирпича (основной агрегат – шаровая мельница).
- Проект цеха (участка, отделения) формования силикатного кирпича (основной агрегат – пресс).

**Специализация Технология тонкой и строительной керамики**, включая технологию некоторых видов огнеупоров, радио- и электротехнической керамики.

- Проект дробильно-помольного отделения кирпичного завода (основной агрегат – двухвальная лопастная смеситель, вакуумпресс).
- Проект формовочного отделения завода по производству керамических облицовочных плиток и плиток для полов (основной агрегат – пресс полусухого формования).
- Проект массозаготовительного цеха завода по производству фарфоровых, фаянсовых или майоликовых изделий (основной агрегат – мельница мокрого помола, фильтр-пресс, вакуумпресс).
- Проект участка подготовки массы или формования изделий (основное оборудование – дробилки, шаровые мельницы, литейные машины или прессы).

**Специализация Технология стекла.**

- Проект дробильно-помольного отделения составного цеха стекольного завода (основное оборудование – щековая или молотковая дробилка, шаровая мельница).
- Проект смесительного участка составного цеха стекольного завода (основное оборудование – смеситель).
- Проект формовочного участка (цеха) завода листового стекла.

В разделе 4 «Введение» указывают базовое предприятие и уровень его технического оснащения, область применения продукции в народном хозяйстве страны, приводят краткую характеристику проектируемого участка или отделения.

Раздел 5 «Описание требований к готовой продукции и исходному сырью» проектируемого заводского подразделения, включает назначение, характеристики важнейших свойств, типоразмеры и эскиз. Среди характеристик исходного сырья приводят его важнейшие физико-химические и технологические показатели, условия хранения, упаковки и транспортировки. Описание требований к готовой продукции и компонентам сырья должно соответствовать действующим стандартам (ГОСТ, ТУ) и содержать ссылки на них. Допустимо использование ссылок на технические условия, принятые к исполнению в данной технологии.

Раздел 6 «Описание технологического процесса» должен содержать последовательное изложение теоретических процессов и краткое обоснование необходимости основных технологических переделов (операций) для выпуска конкретного вида продукции с указанием оборудования, которое используется на этих переделах, величины основных контролируемых параметров: технологические потери, влажность, температура и т.д. В тексте при описании каждой технологической операции должны быть проставлены ссылки на ее позицию в технологической схеме. Раздел включает аппаратную или технологическую (операционную) схему с указанием отходов и возвратного брака. При составлении описания технологического процесса рекомендуется пользоваться технологической картой предприятия (исключая подробности, не влияющие на ход

технологического процесса), а также литературой к настоящему пособию. Технологическую схему основных производственных операций в ТД выполняют на отдельном листе или на нескольких последовательных листах формата А4. Ее элементами являются прямоугольники, линии связи и текстовые пояснения. Каждый прямоугольник обозначает отдельную стадию технологического процесса. Последовательность их расположения должна наглядно показывать поточность производства. Фигурными скобками выделяют проектируемый участок (отделение) и на отдельном листе формата А4 или его части изображают подробную технологическую схему производства участка с изображением последовательности всех технологических и транспортных операций с указанием вида и основных параметров оборудования, включая питатели и дозаторы. Проводят линии связи – отрезки прямых или ломаных линий, указывающие на наличие и очередность связей между отдельными стадиями технологии. Направление процесса обозначают стрелками. Если линия связи заканчивается не у следующего прямоугольника, то наименование продукта и его дальнейшее использование записывают над линией связи. Например: «воздух на очистку», «отходы на повторное дробление».

Схема производства может быть выполнена в одном из двух вариантов:

- структурно-технологическая схема (СТС), в которой внутри прямоугольников указывают название передела (дробление, помол, формование и т.д.). Такие схемы, как правило, приводят в ТД.
- структурно-аппаратурная схема (САС), в которой в прямоугольниках указывают вид оборудования (щековая дробилка, шаровая мельница и т.д.). Эта схема может быть применена в ТД при особом указании руководителя проекта. Обычно эскизный вариант схемы САС применяется в графической части курсового проекта.

«Расчетную часть» (раздел 7) курсового проекта выполняют, исходя из задания на проектирование, по результатам изучения технологии и производственной документации при прохождении практики, с учетом норм технологического проектирования, данных научно-технической литературы и другой информации. Расчетная часть проекта включает разделы:

- а) Исходные данные для проектирования;
- б) Расчет материального баланса;
- в) Выбор марки и количества устанавливаемого оборудования.

## **1) Исходные данные для проектирования**

Заданная производительность участка или всего производства (на основе конкретной документации завода (технологический регламент и др. документы)), выраженная в единицах, принятых для учета готовой продукции: тоннах (цемент, огнеупоры), штуках (изделия технической керамики, стекла и др.), квадратных метрах (облицовочные изделия, листовое стекло) и т.п. Может быть задано также количество агрегатов конкретной марки, устанавливаемых на проектируемом участке. Исходные данные для проведения технологических расчетов включают следующие сведения:

- Составы (рецептуры) масс, значения влажности (содержания временной технологической связки) на всех стадиях технологии.
- Состав сырья и его влажность.
- Массы и размеры готовых изделий и полуфабриката.

*Источники информации:* заводской технологический регламент, данные заводской лаборатории, техническая литература и справочники, ГОСТ и ТУ.

Чтобы не упустить какие-то из необходимых для расчета материального баланса исходные данные, полезно сначала нарисовать СТС и записать исходные данные рядом с каждым переделом. Находясь на практике на заводе, следует взвесить и измерить

полуфабрикаты и готовые изделия, особенно до и после сушки (удаления временной технологической связки), до и после обжига.

На основании рецептов масс и химического состава сырья рассчитывают:

- по правилу аддитивности общие потери при прокаливании (ППП), позволяющие учесть изменение массы полуфабриката при обжиге:

$$\text{ППП} = \sum a_i \cdot \text{ППП}_i / 100, \quad (1)$$

где **ППП** – потери при прокаливании массы или шихты, % масс;  
**a<sub>i</sub>**, **ППП<sub>i</sub>** – содержание и потери при прокаливании *i*-го компонента массы(шихты), % масс.

Кроме этого проводят определение следующих показателей работы отдельных стадий и всего производства в целом:

1. **Нормативы потерь на всех стадиях производства:** потери материала при измельчении, транспортировке, формовании, сушке, обжиге (или варке стекла), механической обработке, при хранении и упаковке материалов на складах сырья и готовой продукции. Если потери при обжиге даны в массовом выражении, то их можно суммировать с потерями массы при прокаливании. Потери подразделяют на возвратные и безвозвратные. В расчетах учитывают возврат материалов на соответствующие стадии производства.

2. **Укрупненные нормативы расходов на единицу выпускаемой продукции** (упаковка, тара, смазки, подсыпки, мелющие тела и т.п.).

3. **Режим работы и фонд рабочего времени участка.** Для периодически работающего оборудования режим определяет общую суточную продолжительность его работы (число часов в сутки): при работе в одну смену – 8, в две – 16, в три – 24. Это число надо умножить на число рабочих суток в году, т.е. на 365 и вычесть все выходные и праздничные дни. Следует учитывать, что часть оборудования, например, туннельные, вращающиеся, стекловаренные печи работают непрерывно. Режим работы цеха (участка) выбирают, исходя из особенностей эксплуатации оборудования, а также условий труда работников.

**Например,** если отделение прессования работает в две смены по пять дней в неделю, то для определения фонда рабочего времени необходимо из общего числа дней в году (365) вычесть 9 праздничных дней и 104 (52·2) выходных дней (суббот и воскресений). Тогда годовой фонд рабочего времени составит:

$$(365 - 9 - 52 \cdot 2) \cdot 16 = 4068,64 \text{ час}$$

4. **Производительность оборудования,** которое предполагается включить в технологическую схему. Реальную заводскую производительность оборудования можно при необходимости подсчитать самим. Для машин циклического действия (барабанные мельницы, смесители периодического действия, фильтр-прессы и т.д.)

$$\Pi = V \cdot z = V / (t_1 + t_2 + t_3) \quad (2)$$

где **Π** – объемная производительность в единицу времени;

**V** – объем продукта, производимого за один цикл;

**z** – число циклов в единицу времени. Число циклов – величина, обратная продолжительности цикла. Продолжительность цикла является суммой времени, затрачиваемого на загрузку (*t*<sub>1</sub>), технологическое действие (*t*<sub>2</sub>) и разгрузку (*t*<sub>3</sub>).

Для машин непрерывного действия:

$$\Pi = F \cdot v \cdot k, \quad (3)$$

где  $\Pi$  – объемная производительность в единицу времени;  
 $F$  – площадь поперечного сечения потока материала, перерабатываемого машиной;  
 $v$  – скорость движения потока;  
 $k$  – коэффициент, учитывающий конкретные условия (например, прерывание сплошности потока).

Для перевода объемной производительности в массовую необходимо умножить ее на объемную или насыпную массу перерабатываемого материала.

**5. Коэффициенты использования оборудования**, принимаемые по нормативам или практическим данным и учитывающие его простои, связанные с профилактическими ремонтами, сменой оснастки и т.п. (обычно 0,75 – 0,95).

*Источники информации:* техническая литература и справочники, заводской технологический регламент, данные заводской лаборатории, табличные данные (см. также Приложение), каталоги фирм, выпускающих оборудование, паспорта оборудования.

## 2) Расчет материального баланса

Целью вычислений материального баланса является определение потребности в сырье и материалах при годовом выпуске продукции, заданном ТЗ, и производительности технологических переделов. Расчет материального баланса следует начинать с конечной стадии технологического процесса в направлении начала СТС.

Стрелка линии связи на технологической схеме предполагает наличие транспортной операции, на которой обычно происходят потери материалов. Величина транспортных потерь зависит от вида транспорта, характера транспортируемого материала – сыпучий, штучные изделия и других факторов. Поскольку каждая технологическая операция должна гарантировать полную поставку материалов на последующую за ней операцию, поэтому процент транспортных потерь суммируется с технологическими потерями технологической стадии, от которой исходит стрелка линии связи.

Точность расчетов (количество значащих цифр) определяется погрешностью измерения нормативных потерь (обычно 0,1 %).

Количество материалов при переходе от последующей стадии к предыдущей рассчитывают по формуле:

$$a_1 = a_2 \cdot 100 / (100 - b) \quad (4)$$

или

$$a_2 = a_1 \cdot (100 - b) / 100 \quad (5)$$

где  $a_1$  и  $a_2$  – количество материала на предыдущей и последующей стадии производства,

$b$  – общие потери (отходы) на стадии, %.

Для заполнения таблицы материального баланса рекомендуется параллельно вычислить количество потерь  $\Delta$  на предыдущей стадии по одной из формул:

$$\Delta = a_1 - a_2, \quad (6)$$

$$\Delta = a_2 \cdot b / 100, \quad (7)$$

*Например*, потери на стадии помола  $b=0,3$  %. Если после помола необходимо получить  $a_2=10$  т/ч, то на вход ( $a_1$ ) должно поступать:

$$a_1 = 10 \cdot 100 / (100 - 0,3) = 10,03 \text{ т/ч}$$

*Проверка*: если на помол поступает  $a_1=10,03$  т/ч, то после помола с учетом потерь останется :

$$a_2 = 10,03 \cdot (100 - 0,3) / 100 = 10 \text{ т/ч}$$

$$\Delta = a_1 - a_2 = 10,03 - 10,0 = 0,03 \text{ т/ч}$$

$$\Delta = a_2 \cdot b / 100 = 10,0 \cdot 0,3 / 100 = 0,03 \text{ т/ч}$$

Некоторую особенность представляет учет возвратных потерь, например: в керамической технологии при производстве изоляторов методом обточки или формовании посуды обрезки массы методом раскатки направляются на роспуск и фильтрпрессование, политой и утельный бой изделий также используется в производстве, в стекольной технологии стеклобой возвращают в производство на дробление или непосредственно на варку. Обычно возвращаемая масса движется по замкнутому циклу, показанному на СТС, при этом в процессе переработки возвратных отходов возникают и накапливаются безвозвратные потери, которые увеличивают производительность оборудования в пределах цикла и изменяют потребное количество сырьевых материалов. Для учета возвратных отходов необходимо просчитать материальный поток в пределах цикла, который рекомендуется изобразить на отдельной СТС.

Количество возвращаемого материала по массе ( $F$ ) при величине возвратных отходов ( $f$ , % масс) на  $k$ -том переделе СТС определяется по формуле:

$$F = a_k \cdot f / 100, \quad (8)$$

где  $a_k$  - количество материала на  $k$ -том переделе СТС без учета возвратных потерь.

Производительность оборудования на этом переделе ( $\Pi_f$ ) определяется простым суммированием:

$$\Pi = a_k + F, \quad (9)$$

Пусть возвращаемый материал поступает на  $j$ -тый передел на переработку, где увеличивает производительность оборудования ( $\Pi_j$ ) с учетом транспортных потерь ( $t$ , % масс):

$$\Pi_j = a_j + F \cdot t / 100, \quad (10)$$

где  $a_j$  - количество материала на  $j$ -том переделе технологической схемы.

Если транспортные потери отсутствуют, расчет ведут по формуле (9).

Расчет материального баланса выполняют в штучном исчислении (по количеству полуфабриката или изделий) от заданной программы до стадии формования



включительно и в массовом, определяя расход массы по переделам от склада готовой продукции (программы) до склада исходного сырья. Оба варианта расчетов проводят параллельно. Следует иметь в виду, что изменение количества материала и полуфабриката по массе и в штуках на отдельных переделах могут не совпадать. Так, при механической обработке или обжиге, изменение количества заготовок в штуках определяется только браком на данной стадии, а изменение массы определяется как браком, так и уменьшением (или увеличением, например, в случае глазурования) массы каждой заготовки в результате прохождения процессов сушки, дегидратации и декарбонизации. Если брак при обжиге в штуках составляет (b), а потери при прокаливании (ППП), то количество изделий в штуках рассчитывают по формуле (4), а массу изделий М по формуле:

$$M = a \cdot m \cdot 10000 / [(100-b) \cdot (100-ППП)] \quad (11)$$

где **a** - количество изделий,  
**m** – масса одного изделия.

*Например*, завод должен производить  $a=10^6$  штук / год полнотелого глиняного кирпича. Безвозвратные потери при обжиге и на сортировке  $b=0,6$  %, ППП=8 %, масса одного кирпича  $m=2,7$  кг. Тогда масса заготовок, поступающих на обжиг, равна:

$$M=10^6 \cdot 2,7 \cdot 10000 / [(100-0,6) \cdot (100-8)] = 29\,524\,975 \text{ кг/год} \approx 29525 \text{ т/год}$$

Для пересчета массы с меньшей влажности на большую (или наоборот) пользуются формулой

$$M_1 = M_2 \cdot (100 - W_2) / (100 - W_1) \quad (12)$$

где **M<sub>1</sub>** – масса материала с большей относительной влажностью **W<sub>1</sub>**, %;  
**M<sub>2</sub>** – масса материала с меньшей относительной влажностью **W<sub>2</sub>**, %.

В случае увлажнения абсолютно сухого материала (**W<sub>2</sub>=0**) формула (12) упрощается

$$M_{\text{вл}} = M_{\text{сух}} \cdot 100 / (100 - W_{\text{вл}}) \quad (13)$$

где **M<sub>вл</sub>** и **M<sub>сух</sub>** – масса влажного и сухого материала соответственно,  
**W<sub>вл</sub>** - относительная влажность материала или содержание связки, %.

*Например*, относительная влажность глиняного кирпича, поступающего на сушку, **W<sub>1</sub>** = 20 %. Определить массу глиняных кирпичей (по уравнению (12)), поступающих на сушку (**M<sub>1</sub>**), если их масса после сушки (до обжига) составляла **M<sub>2</sub>** = 29520 т с влажностью **W<sub>2</sub>** = 8 %:

$$M_1 = 29520 \cdot (100 - 8) / (100 - 20) = 33948 \text{ т}$$

Необходимое количество связки при производстве пластичного материала и шликера или удаленной воды при сушке и т.п. рассчитывают по разности значений массы влажного материала на предыдущей и последующей стадии технологии. Для предыдущего примера количество удаленной при обжиге воды составит:

$$33948 - 29520 = 4428 \text{ т}$$

Кроме значений годовых количеств материала и полуфабриката, перерабатываемых на каждом переделе, рассчитывают квартальные, сменные или суточные (при непрерывном производстве) и часовые количества путем деления соответствующего годового значения на фонд рабочего времени каждого участка. Следует обратить внимание на то, что фонд рабочего времени для отдельных участков может не совпадать.

## 1. Пример расчета материального баланса производства изделий электротехнического фарфора

Таблица 1.1

Исходные данные для расчета материального баланса

Компонент шихты	Исходная влажность компонента шихты, %	Содержание компонента в шихте, % (долей)	Потери при прокаливании для компонентов шихты, %
Глина трошковская	20,0	22,2 (0,222)	11,9
Каолин алексеевский	15,0	17,8 (0,178)	11,9
Каолин кыштымский	15,0	8,9 (0,089)	13,8
Шпат белогорский	1,0	28,9 (0,289)	0,2
Кварцевый песок туганский	2,0	22,2 (0,222)	0,0

Средневзвешенная влажность ( $W_{СРВ}$ ) сырья составляет:

$$W_{СРВ} = 20,0 \cdot 0,222 + 15,0 \cdot 0,178 + 15,0 \cdot 0,089 + 1 \cdot 0,289 + 2 \cdot 0,222 = 9,17 \%$$

Средневзвешенные потери при прокаливании ( $ППП_{СРВ}$ ) составляют:

$$ППП_{СРВ} = 11,9 \cdot 0,222 + 11,9 \cdot 0,178 + 13,8 \cdot 0,089 + 0,2 \cdot 0,289 = 6,1 \%$$

Таблица 1.2

Технологические параметры производства

№	Технологическая стадия	Влажность массы (W), %	Брак и потери (b), %
1.	Дробление и транспортировка	9,17	1,0
2.	Тонкий помол компонентов	50,0	0,5
3.	Формование (этап 1)	20,0	1,5
4.	Подвялка	17,5	0,0
5.	Оправка Формование (этап 2)	17,5	1,0
6.	Сушка	1,0	4,0
7.	Глазурование	1,0	0,5
8.	Обжиг	0,0	7,0
9.	Электрические испытания изделий	0,0	0,5

Технологические потери:

I этап формования – 10% (влажность изделий – 20%);

II этап формования – 30% (влажность изделий – 17,5%).

## Расчет материального баланса

Производительность проектируемого предприятия (она же  $M_{\text{сух}}$  для расчета первого действия материального баланса) – 20000 т/год.

Расчет материального баланса производится от конечной технологической стадии к начальной. Индексы у буквенных обозначений массы, влажности и брака соответствуют номеру выполняемого действия.

**1. Поступает на электрические испытания готовой продукции по абсолютно сухой массе с учетом брака:**

$$M_1 = \frac{M_{\text{сух}} \cdot 100}{100 - b_1} = \frac{20000 \cdot 100}{100 - 0,5} = 20101 \text{ т/год};$$

**Брак электрических испытаний составляет:**

$$b_1 = 20101 \cdot 0,5 \% = 101 \text{ т/год} \quad \text{или} \quad b_1 = 20101 - 20000 = 101 \text{ т/год.}$$

Весь брак электрических испытаний возвратный.

**2. Поступает в печь по абсолютно сухой массе с учетом брака при обжиге:**

$$M_2 = \frac{M_1 \cdot 100}{100 - b_2} = \frac{20101 \cdot 100}{100 - 7,0} = 21614 \text{ т/год.}$$

**Брак обжига составляет:**

$$b_2 = 21614 \cdot 7,0 \% = 1513 \text{ т/год} \quad \text{или} \quad b_2 = 21614 - 20101 = 1513 \text{ т/год.}$$

**Брак возвратный составляет 90%,** то есть  $1513 \cdot 0,90 = 1362$  т/год.

**Брак безвозвратный составляет 10%,** то есть  $1513 \cdot 0,10 = 151$  т/год.

**3. Поступает в печи по абсолютно сухой массе с учетом потерь при прокаливании:**

$$M_3 = \frac{M_2 \cdot 100}{100 - \text{ППП}_{\text{СРВ}}} = \frac{21614 \cdot 100}{100 - 6,1} = 23018 \text{ т/год.}$$

**Потери при прокаливании составляют:**

$$\text{ППП}_{\text{СРВ}} = 23018 \cdot 6,1 \% = 1404 \text{ т/год} \quad \text{или} \quad \text{ППП}_{\text{СРВ}} = 23018 - 21614 = 1404 \text{ т/год.}$$

**4. Поступает в печи по фактической массе с учетом остаточной влажности:**

$$M_4 = \frac{M_3 \cdot 100}{100 - W_4} = \frac{23018 \cdot 100}{100 - 1,0} = 23251 \text{ т/год.}$$

**Испаряется влаги в печах:**

$$W_4 = 23251 \cdot 1,0 \% = 233 \text{ т/год} \quad \text{или} \quad W_4 = 23251 - 23018 = 233 \text{ т/год.}$$

**5. Поступает на глазурование по абсолютно сухой массе с учетом брака:**

$$M_5 = \frac{M_3 \cdot 100}{100 - b_5} = \frac{23018 \cdot 100}{100 - 0,5} = 23134 \text{ т/год.}$$

**Безвозвратный брак при глазуровании по абсолютно сухой массе составит:**

$$b_5 = 23134 \cdot 0,5 \% = 116 \text{ т/год} \quad \text{или} \quad b_5 = 23134 - 23018 = 116 \text{ т/год.}$$

**6. Поступает на сушку по абсолютно сухой массе с учетом брака сушки:**

$$M_6 = \frac{M_5 \cdot 100}{100 - b_6} = \frac{23134 \cdot 100}{100 - 4,0} = 24098 \text{ т/год.}$$

**Брак сушки составляет:**

$$b_6 = 24098 \cdot 4,0 \% = 964 \text{ т/год} \quad \text{или} \quad b_6 = 24098 - 23134 = 964 \text{ т/год.}$$

**Брак возвратный составляет 90%, то есть  $964 \cdot 90 \% = 868$  т/год.**

**Брак безвозвратный составляет 10%, то есть  $964 \cdot 10 \% = 96$  т/год.**

**7. Выходит из сушки по фактической массе с учетом остаточной влажности:**

$$M_7 = \frac{M_6 \cdot 100}{100 - W_7} = \frac{23134 \cdot 100}{100 - 1,0} = 23368 \text{ т/год.}$$

**8. Поступает в сушила по фактической массе с влажностью  $W_8 = 17,5\%$ :**

$$M_8 = \frac{M_7 \cdot (100 - W_7)}{100 - W_8} = \frac{24098 \cdot 100}{100 - 17,5} = 29210 \text{ т/год.}$$

**Испаряется влаги в сушилах:**

$$W_8 = 29210 - 23368 = 5842 \text{ т/год.}$$

**9. Поступает изделий на оправку по абсолютно сухой массе с учетом брака:**

$$M_9 = \frac{M_6 \cdot 100}{100 - b_9} = \frac{24098 \cdot 100}{100 - 1,0} = 24341 \text{ т/год.}$$

**Возвратный брак при оправке по абсолютно сухой массе составляет:**

$$b_9 = 24341 \cdot 1,0 \% = 243 \text{ т/год} \quad \text{или} \quad b_9 = 24341 - 24098 = 243 \text{ т/год.}$$

**10. Требуется подать изделий на оправку с учетом технологических потерь по абсолютно сухой массе:**

При оправке (2 этап формования) имеют место значительные технологические отходы (снятие стружки с заготовок петлевыми резцами Першина). Технологические отходы все возвратные, они составляют 30,0 %.

$$M_{10} = \frac{M_9 \cdot 100}{100 - b_{10}} = \frac{24341 \cdot 100}{100 - 30,0} = 34773 \text{ т/год.}$$

**Количество отходов по абсолютно сухой массе:**

$$b_{10} = 34773 \cdot 30,0 \% = 10432 \text{ т/год} \quad \text{или} \quad b_{10} = 34773 - 24341 = 10432 \text{ т/год.}$$

**11. Выходит заготовок после подвялки по фактической массе с учетом влажности  $W_{11}=17,5\%$ :**

$$M_{11} = \frac{M_{10} \cdot 100}{100 - W_{11}} = \frac{34773 \cdot 100}{100 - 17,5} = 42149 \text{ т/год.}$$

**12. Поступает заготовок на подвялку (после первого этапа формования) по фактической массе с учетом влажности  $W_{12}=20,0\%$ :**

$$M_{12} = \frac{M_{11} \cdot (100 - 17,5)}{100 - W_{12}} = \frac{42149 \cdot (100 - 17,5)}{100 - 20,0} = 43466 \text{ т/год.}$$

**Испаряется влаги при подвялке заготовок:**

$$W_{12} = 43466 - 42149 = 1317 \text{ т/год.}$$

**13. Поступает на формование с учетом брака формования по абсолютно сухой массе:**

$$M_{13} = \frac{M_3 \cdot 100}{100 - b_{13}} = \frac{34773 \cdot 100}{100 - 1,5} = 35303 \text{ т/год.}$$

**Возвратный брак формования по абсолютно сухой массе:**

$$b_{13} = 35303 \cdot 1,5\% = 530 \text{ т/год} \quad \text{или} \quad b_{13} = 35303 - 34773 = 530 \text{ т/год.}$$

**14. Требуется подать формовочной массы на первый этап формования с учетом технологических отходов (10%) по абсолютно сухой массе:**

$$M_{14} = \frac{M_{13} \cdot 100}{100 - b_{14}} = \frac{35303 \cdot 100}{100 - 10} = 39226 \text{ т/год.}$$

На первом этапе формования технологические отходы составляют 10%, они полностью возвратные.

**Количество возвратных технологических отходов по абсолютно сухой массе:**

$$b_{14} = 39226 - 35303 = 3923 \text{ т/год} \quad \text{или} \quad b_{14} = 39226 \cdot 10\% = 3923 \text{ т/год.}$$

**15. Требуется изготовить формовочной массы, подаваемой на I этап формования по фактической массе:**

$$M_{15} = \frac{39226 \cdot 100}{100 - 20} = 49033 \text{ т/год.}$$

**16. Изготавливается шликера по фактической массе:**

$$M_{16} = \frac{39226 \cdot 100}{100 - 50} = 78452 \text{ т/год.}$$

**Извлекается влаги при фильтпрессовании:**

$$W_{16} = 78452 - 49033 = 29419 \text{ т/год.}$$

**17. Изготавливается шликера по абсолютно сухой массе с учетом потерь в массаготовительном цехе – МЗЦ:**

$$M_{17} = \frac{M_{14} \cdot 100}{100 - b_{17}} = \frac{39226 \cdot 100}{100 - 0,5} = 39423 \text{ т/год.}$$

**18. Изготавливается шликера с учетом потерь в МЗЦ по фактической массе:**

$$M_{18} = \frac{M_{16} \cdot 100}{100 - b_{17}} = \frac{78452 \cdot 100}{100 - 0,5} = 78846 \text{ т/год.}$$

**Потери в МЗЦ по фактической массе:**

$$b_{17} = 78846 - 78452 = 394 \text{ т/год.}$$

**19. Требуется сырья для приготовления шликера с учетом возвратного брака по абсолютно сухой массе:**

$$M_{19} = 39423 - (101 + 1362 + 868 + 243 + 530 + 10432 + 3923) = 21964 \text{ т/год.}$$

**20. Фактическая масса потребного сырья:**

$$M_{20} = \frac{M_{19} \cdot 100}{100 - W_{CPB}} = \frac{21964 \cdot 100}{100 - 9,17} = 24181 \text{ т/год.}$$

**21. Фактическая масса потребного сырья с учетом потерь сырья при дроблении и транспортировке:**

$$M_{21} = \frac{M_{20} \cdot 100}{100 - b_{21}} = \frac{24181 \cdot 100}{100 - 1,0} = 24425 \text{ т/год.}$$

**Потери сырья при дроблении и транспортировке по фактической массе:**

$$b_{21} = 24425 - 24181 = 244 \text{ т.}$$

**22. Требуется технологической воды для приготовления шликера:**

$$W_{22} = 78846 - \left( \frac{24181 \times 100}{100 - 9,17} + \frac{3923 \times 100}{100 - 20} + \frac{10432 \times 100}{100 - 17,5} \right) = 34666 \text{ т/год.}$$

**23. Требуется технологической воды с учетом потери воды в количестве 10%:**

$$34666 \cdot 1,1 = 38133 \text{ т.}$$

**Потери технологической воды**

$$38133 - 34666 = 3467 \text{ т.}$$

**24. Поступает на склад сырья по фактической массе:**

Глины  $\frac{24425 \cdot (100 - 9,17) \cdot 0,222}{100 - 20} = 6156,4 \text{ т/год;}$

Каолина  
алексеевского  $\frac{24425 \cdot (100 - 9,17) \cdot 0,178}{100 - 15} = 4645,8 \text{ т/год;}$

Каолина  
кыштымского  $\frac{24425 \cdot (100 - 9,17) \cdot 0,089}{100 - 15} = 2322,9 \text{ т/год;}$

Полевого шпата  $\frac{24425 \cdot (100 - 9,17) \cdot 0,289}{100 - 1} = 6476,3 \text{ т/год;}$

Кварцевого песка  $\frac{24425 \cdot (100 - 9,17) \cdot 0,222}{100 - 2} = 5025,6 \text{ т/год;}$

**Всего поступает на склад сырья:**  $6156,4 + 4645,8 + 2322,9 + 6476,3 + 5025,6 = 24627 \text{ т/год.}$

На основании проведенных расчетов можно составить баланс.

Материальный баланс производства изоляторов  
с годовой производительностью 20000 тонн в год

Статьи прихода	Значение тонн в год	Статьи расхода	Значение тонн в год
<b>Поступает на склад сырья</b>	24627	<b>Поступает на склад</b>	
Возвращается в производство		готовой продукции	20000
брака:		- возвратный брак	17459
- испытаний	101	Безвозвратные потери:	
- обжига	1362	- при обжиге	151
- сушки	868	- глазурировании	117,2
- оправки	243	- сушке	116,4
- формования	530	- дроблении и транспортировке	244,4
Технологические отходы	10432	Потери шликера в МЗЦ	394
	3923		
Итого: возвратный брак	17459	Итого: безвозвратные потери	1023
		Испаряется влаги:	
Технологическая вода	38133	- в печах	233
		- в сушилах	5842
Итого:	80219	- при подвялке	1317
		Удаляется влаги при фильтрпрессовании	29419
		Итого:	36811
		Потери технологической воды	3467
		Потери массы при прокаливании (п.м.п.п.)	1404
		Итого:	80164

Невязка баланса – 55 т, что составляет 0,07%. Допустима невязка до 0,25%. Невязка в расчетах получилась за счет округления цифр до целого числа тонн.

Теперь подсчитаем расходные коэффициенты по каждому виду сырья, учитывая при этом и возвратный брак производства. Общее количество возвратного брака составляет 17459 т. Разделим это количество пропорционально процентному содержанию в массе каждого компонента и добавим полученные цифры к количеству сырьевых материалов, поступающих на склад.

Глина –  $(6156,4 + 3875,9) : 20000 = 0,502$  т/т

Каолин алексеевский –  $(4645,8 + 3107,7) / 20000 = 0,388$  т/т

Каолин кыштымский –  $(2322,9 + 1553,9) / 20000 = 0,194$  т/т

Полевой шпат –  $(6476,3 + 5045,7) / 20000 = 0,576$  т/т

Кварцевый песок –  $(5025,6 + 3875,9) / 20000 = 0,445$  т/т

Всего: 2,11 т/т.

Приведенная схема расчета материального баланса производства не является единственной. Материальный баланс можно считать, используя так называемые коэффициенты запуска на отдельных технологических операциях. Эти данные необходимо брать на заводе при прохождении практики.



На основании материального баланса составляется таблица 1.4 объемов перерабатываемого сырья при выполнении заданной производственной программы.

Для составления этой таблицы принимается следующий режим работы массозаготовительного цеха:

Число рабочих дней в году – 307, число рабочих дней в месяце – 25,6; число смен при работе склада сырья и дробильно-помольного оборудования – 3; (исключение – работа в 3 смены по приготовлению каолинового и производственного шликера). Число смен при работе фильтр-прессов, вакуум-прессов и формовочного оборудования – 2.

Используем эти данные для составления сводной таблицы объемов перерабатываемого сырья на проектируемом заводе. В основу подсчетов положены данные материального баланса производства. Результаты расчетов сведены в табл.1.4.

Таблица 1.4

Потребности в сырье при производстве 20000 тонн в год высоковольтных фарфоровых изоляторов

Название сырья	Перерабатывается в тоннах в течение				
	Года	Месяца	Суток	Смены	Часа
Глина	6156,4	513	20,0	10,02	1,25
Каолин алексеевский	4645,8	387	15,1	7,56	0,95
Каолин кыштымский	2322,9	194	7,6	3,78	0,47
Полевой шпат	6476,3	540	21,1	10,54	1,32
Кварцевый песок	5025,6	419	16,4	8,18	1,02
Бой изделий	1362	114	4,45	2,22	0,28

## 2. Пример составления материального баланса кирпичного завода, выпускающего керамический кирпич по методу пластичного формования

Годовая производительность кирпичного завода – 24 600 000 шт. кирпича/год.

Производительность завода, выраженная в весовом эквиваленте, т/год:

$$P = 24600000 \cdot m_K = 24600000 \cdot 3,1 = 76260, \text{ т/год}$$

где  $m_K$  - масса готового кирпича, кг,  $m_K = 3,1$  кг.

Таблица 2.1

Данные по влажности и потерям на определенных технологических переделах

Тип оборудования	Потери, X, %	Влажность, W, %
Туннельная печь	5	0
Туннельная сушилка	5	5
Автомат-резчик	1	20
Вакуум-пресс	1	20
Глиномешалка	1	20
Вальцы тонкого помола	0,5	22
Вальцы грубого помола	0,5	22
Ящичный питатель	1	22

Расчет материального баланса производится от конечной технологической стадии к начальной. Индексы у буквенных значений массы, влажности и брака соответствуют номеру технологической операции начиная с конечной стадии.

### 1. Производительность печи

С учетом производственных потерь:

$$П_1^* = \frac{П \cdot 100}{100 - X_1} = \frac{76260 \cdot 100}{100 - 5} = 80273,63 \text{ т/год,}$$

где  $X_1$  - потери на данной технологической стадии, %

Производительность печи в пересчете на влажность полуфабриката после сушки

$$П_1 = \frac{П_1^* \cdot (100 - W_i)}{100 - W} = \frac{80273,63 \cdot (100 - 0)}{100 - 5} = 84498,61 \text{ т/год,}$$

где  $W_i$  - влажность на данном технологическом переделе, %;

$W$  - влажность на предыдущем технологическом переделе, %.

### 2. Производительность туннельной сушилки

$$П_2^* = \frac{П_1 \cdot 100}{100 - X_2} = \frac{84498,61 \cdot 100}{100 - 5} = 88945,91 \text{ т/год.}$$

Производительность сушилка с учетом формовочной влажности  
т/год.

### 3. Производительность автомата-резчика

$$П_3 = П_3^* = \frac{П_2 \cdot 100}{100 - X_3} = \frac{105623,26 \cdot 100}{100 - 1} = 106690,16 \text{ т/год}$$

В данном случае производительность автомата-резчика с учетом влажности равна производительности с учетом потерь вследствие одинаковой влажности сырца – 20%.

### 4. Производительность вакуум-пресса

$$П_4 = П_4^* = \frac{П_3 \cdot 100}{100 - X_4} = \frac{106690,16 \cdot 100}{100 - 1} = 107767,84 \text{ т/год.}$$

### 5. Производительность глиномешалки

С учетом потерь

$$П_5^* = \frac{П_4 \cdot 100}{100 - X_5} = \frac{107767,84 \cdot 100}{100 - 1} = 108856,41 \text{ т/год.}$$

С учетом карьерной влажности

$$П_5 = \frac{П_5^* \cdot (100 - W_i)}{100 - W} = \frac{108856,41 \cdot (100 - 20)}{100 - 22} = 111647,6 \text{ т/год}$$

### 6. Производительность вальцов тонкого помола

$$П_6 = П_6^* = \frac{П_5 \cdot 100}{100 - X_6} = \frac{111647,6 \cdot 100}{100 - 0,5} = 112208,64 \text{ т/год}$$

### 7. Производительность вальцов грубого помола

$$П_7 = П_7^* = \frac{П_6 \cdot 100}{100 - X_7} = \frac{112208,64 \cdot 100}{100 - 0,5} = 112772,50 \text{ т/год}$$

### 8. Производительность ящичного питателя

$$П_8 = П_8^* = \frac{П_7 \cdot 100}{100 - X_8} = \frac{112772,50 \cdot 100}{100 - 1} = 113911,62 \text{ т/год}$$

В производстве керамического кирпича используется шихта следующего состава:

Глина красная -	75 %;
Глина белая -	15 %;
Песок -	10 %

Производительность ящичного питателя по компонентам составит (это также является величиной годовой потребности в основных сырьевых компонентах керамического кирпича):

По красной глине:  $0,75 \cdot P_8 = 0,75 \cdot 113911,62 = 85433,72$  т/год;

По белой глине:  $0,15 \cdot P_8 = 0,15 \cdot 113911,62 = 17086,74$  т/год;

По песку:  $0,10 \cdot P_8 = 0,10 \cdot 113911,62 = 11391,2$  т/год.

Таблица 2.2

Потребность в сырьевых материалах

Сырье	В год, т	В квартал, т	В месяц, т	В сутки, т	В смену, т	В час, т
Глина красная	85 433,72	21 358,45	7 119,5	237,3	118,65	9,90
Глина белая	17 086,74	4 271,70	1 423,9	47,5	23,75	1,98
Песок	11 391,16	2 847,80	949,3	31,6	15,80	1,30

### Расчет количества оборудования в формовочном отделении

1. Полезный фонд рабочего времени

$$E_K = K - P, \text{ час};$$

где  $E_K$  - полезный фонд рабочего времени одного агрегата при непрерывной работе в течение года, час;

$P$  - время ремонта, связанного с остановкой, час;

$K$  - календарное время работы в году, час.

$$K = 365 \cdot 24 = 8760, \text{ час};$$

$$P = 12 \cdot 24 = 288, \text{ час};$$

$$E_K = 8760 - 288 = 8472, \text{ час}.$$

2. Количество оборудования определенного вида  $M_X$ :

$$M_X = Q \cdot E_K,$$

где  $Q$  – стандартная производственная мощность оборудование по паспорту, т/час.

3. Количество оборудование определенного вида:

$$n = \frac{\Pi_i}{M_X},$$

где  $\Pi_i$  – производительность оборудования по материальному балансу, т/год

### 3. Пример составления материального баланса цементного завода, работающего по мокрому способу

Годовая производительность завода - 1 350 000 т цемента, завод работает по мокрому способу.

Таблица 3.1

Состав портландцемента и исходной сырьевой смеси

Портландцемент	Содержание, %	Сырьевая смесь	Содержание, %
Клинкер	87	Известняк	82,79
Гидравлические добавки	10	Глина	10,48
Гипс	3	Трепел	6,73
Присадка золы топлива	4		

Потери при прокаливании сырьевой смеси – 35,54%.

Таблица 3.2

Естественная влажность сырьевых материалов, топлива и добавок

Производственные потери

Материал, топливо, добавка	Влажность, %	Статья потерь	Потери, %
Известняк	5	Сырьевые материалы	2,5
Глина	15	Клинкер	0,5
Трепел	20	Добавки (каждой)	1,0
Гипс	6	Цемент	1,0
Топливо	6	Топливо	1,0
Шлам	36		

Таблица 3.3

Удельный расход топлива

Статья расхода	Расход, тн/тн
На обжиг клинкера	0,246
На сушку добавок	0,023
На сушку топлива	0,033

Состав топлива: пылеугольная смесь донецких углей марок «Т» и «Г» (1:1);  
Калорийность смеси: 6100 ккал/кг(25559 кДж/кг);

Таблица 3.4

Режим работы основных цехов и отделений в течение года

Отделение, цех	Дней в год	Часов в суки	Часов в год
Карьер и дробильное отделение	307	16	4912
Отделение помола сырья	307	24	7368
Цех обжига клинкера	336	24	8064
Отделение помола цемента	307	24	7368
Силосно-упаковочное отделение	365	24	8760

Коэффициент использования вращающихся печей - 0,92;

Определение количества печей зависит от производительности завода (по клинкеру) и производительности печного агрегата.

В рассматриваемом примере годовая производительность завода по клинкеру составит:

$$1350000 \cdot \frac{87}{100} = 1174500 \text{ т/год};$$

где 87 – содержание клинкера в цементе, %;

1350000 – годовая производительность завода по цементу, т/год.

При коэффициенте использования вращающихся печей = 0,92, печи работают в течение года:

$$365 \cdot 0,92 \approx 336 \text{ суток}$$

или

$$336 \cdot 24 = 8064 \text{ ч.}$$

Отсюда часовая производительность всех печей составит:

$$\frac{1174500}{8064} = 145,65 \text{ т/ч;}$$

Следовательно, в данном расчете к установке принимаем две вращающиеся печи производительностью по 75 т/ч.

## 1. Производственное задание цеха обжига

### 1.1 Производительность двух вращающихся печей.

$$75 \cdot 2 = 150 \text{ т/ч;}$$

$$150 \cdot 24 = 3600 \text{ т/сутки;}$$

$$150 \cdot 8064 = 1\,209\,600 \text{ т/год.}$$

### 1.2 Расчет расхода сырьевых материалов

Учитывая 4% присадки золы в процессе обжига клинкера расход сырьевых материалов следует считать:

$$150 \text{ т/ч} - 100\%$$

$$X \text{ т/ч} - (100-4)\%, \text{ тогда}$$

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

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

$$\frac{100}{100-35,54} = 1,55 \text{ т/т клинкера,}$$

где 35,54 – потери при прокаливании сырьевой смеси.

На современных заводах для обеспыливания отходящих газов вращающихся печей устанавливают электрофильтры, что дает возможность считать потери сырья с отходящими газами не более 1%. Тогда расход сухого сырья составит:

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

$$1,566 \cdot 144 = 225,50 \text{ т/ч;}$$

$$225,50 \cdot 24 = 5412,0 \text{ т/сутки;}$$

$$225,50 \cdot 8064 = 1\,818\,432 \text{ т/год.}$$

Определяем расход отдельных компонентов сухой сырьевой смеси:

а) Известняка

$$1,566 \cdot \frac{82,79}{100} = 1,296 \text{ т/т клинкера};$$

$$1,296 \cdot 144 = 186,62 \text{ т/ч};$$

$$186,62 \cdot 24 = 4478,88 \text{ т/сутки};$$

$$186,62 \cdot 8064 = 1\,504\,603,70 \text{ т/год.}$$

б) Глины

$$1,566 \cdot \frac{10,48}{100} = 0,164 \text{ т/т клинкера};$$

$$0,164 \cdot 144 = 23,62 \text{ т/ч};$$

$$23,62 \cdot 24 = 566,88 \text{ т/сутки};$$

$$23,62 \cdot 8064 = 190\,471,70 \text{ т/год};$$

в) Трепела

$$1,566 \cdot \frac{6,73}{100} = 0,106 \text{ т/т клинкера};$$

$$0,106 \cdot 144 = 15,26 \text{ т/час};$$

$$15,26 \cdot 24 = 366,24 \text{ т/сутки};$$

$$15,26 \cdot 8064 = 123\,056,60 \text{ т/год.}$$

С учетом естественной влажности расход сырьевых материалов соответственно составит:

а) Известняка

$$1,296 \cdot \frac{100}{100 - 5} = 1,364 \text{ т/т клинкера};$$

$$1,364 \cdot 144 = 196,42 \text{ т/ч};$$

$$196,42 \cdot 24 = 4714,08 \text{ т/сутки};$$

$$196,42 \cdot 8064 = 1\,583\,930,9 \text{ т/год.}$$

б) Глины

$$0,164 \cdot \frac{100}{100 - 15} = 0,193 \text{ т/т клинкера};$$

$$0,193 \cdot 144 = 27,79 \text{ т/ч};$$

$$27,79 \cdot 24 = 666,96 \text{ т/сутки};$$

$$27,79 \cdot 8064 = 224\,098,6 \text{ т/год,}$$

в) Трепела

$$0,106 \cdot \frac{100}{100 - 20} = 0,1325 \text{ т/т клинкера};$$

$$0,1325 \cdot 144 = 19,08 \text{ т/ч};$$

$$19,08 \cdot 24 = 457,92 \text{ т/сутки};$$

$$19,08 \cdot 8064 = 153\,861,1 \text{ т/год.}$$

### 1.3 Расчет расхода шлама

Часовой расход шлама рассчитывают по формуле:

$$A_{ш} = \frac{A_c \cdot 100}{(100 - W_{ш}) \gamma_{ш}},$$

где  $A_{ш}$  – расход шлама, м<sup>3</sup>/ч;  
 $A_c$  – расход сухого сырья в час, т/ч;  
 $W_{ш}$  – влажность шлама, %;  
 $\gamma_{ш}$  – плотность шлама, т/м<sup>3</sup>.

Плотность шлама определяют интерполяцией данных:

Таблица 2.5

Влажность шлама, %	Плотность шлама, т/м <sup>3</sup>
45	1,550
40	1,600
35	1,650
30	1,700
25	1,750

Для рассматриваемого случая  $\gamma = 1,640$  т/м<sup>3</sup>.

Тогда на обе печи необходимо подать шлама:

$$A_{ш} = \frac{225,50 \cdot 100}{(100 - 36)1,640} = 214,84 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$214,84 \cdot 24 = 5156,16 \text{ м}^3/\text{сутки};$$

$$214,84 \cdot 8064 = 1\,732\,469,8 \text{ м}^3/\text{год}.$$

## 2. Производственное задание для отделения помола сырья

Из предыдущих расчетов следует, что отделение помола сырья, работающее с выходными днями (307 суток в году по 3 смены в сутки), должно обеспечить помол 1 818 432 т/год сухих сырьевых материалов.

Следовательно, должно быть измолото сухого сырья:

$$1\,818\,432 / 307 = 5923,23 \text{ т/сутки};$$

$$5923,23 / 24 = 246,8 \text{ т/час}.$$

В том числе расход отдельных компонентов составит:

### Известняка

$$246,8 \cdot \frac{82,79}{100} = 204,33 \text{ т/час};$$

$$5923,23 \cdot \frac{82,79}{100} = 4903,84 \text{ т/сутки};$$

$$1\,818\,432 \cdot \frac{82,79}{100} = 1\,505\,479,85 \text{ т/год};$$

### Глины

$$246,8 \cdot \frac{10,48}{100} = 25,86 \text{ т/час};$$

$$5923,23 \cdot \frac{10,48}{100} = 620,75 \text{ т/сутки};$$

$$1\,818\,432 \cdot \frac{10,48}{100} = 190\,571,67 \text{ т/год};$$

### Трепела

$$246,8 \cdot \frac{6,73}{100} = 16,61 \text{ т/час};$$

$$5923,23 \cdot \frac{6,73}{100} = 398,63 \text{ т/сутки};$$

$$1\,818\,432 \cdot \frac{6,73}{100} = 122\,380,47 \text{ т/год}.$$

Для образования шлама одновременно с исходными материалами в сырьевые мельницы подается и вода. Потребность в воде определяется по формуле:

$$W_B = A_{ш} \gamma_{ш} - (A_c + W_{и} + W_{г} + W_{т}),$$

где  $W_B$  – количество воды, необходимое для приготовления шлама, м<sup>3</sup>/ч;

$\gamma_{ш}$  – плотность шлама, т/м<sup>3</sup>;

$A_{ш}$  – потребность в готовом шламе, м<sup>3</sup>/ч;

$A_c$  – потребность в сухом сырье, т/ч;

$W_{и}, W_{г}, W_{т}$  – количество воды, поступающее соответственно с известняком, глиной и трепелом, т/ч.

На основании приведенных ранее расчетов:

$$A_{ш} = 214,84 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\gamma_{ш} = 1,640 \text{ т/м}^3;$$

$$A_c = 225,50 \text{ т/ч};$$

$$W_{и} = 196,42 - 186,62 = 9,8 \text{ т/ч};$$

$$W_{г} = 27,79 - 23,62 = 4,17 \text{ т/ч};$$

$$W_{т} = 19,08 - 15,26 = 3,82 \text{ т/ч}.$$

Подставляя эти данные в формулу, определяем расход воды на приготовление шлама:

$$W_B = 214,84 \cdot 1,640 - (225,50 + 8,5 + 4,17 + 3,82) = 109,05 \text{ т/ч};$$

$$109,05 \cdot 24 = 2617,1 \text{ т/сутки};$$

$$2617,1 \cdot 307 = 803449,7 \text{ т/год}.$$

### **3. Производственное задание карьера и дробильного отделения**

Согласно исходным данным, потери сырья составляют 2,5%, из них 1,5% - это потери на карьере, при транспортировке и дроблении в дробильном отделении и 1% - потери сырья с отходящими газами вращающихся печей (см. производственное задание цеха обжига).

Карьер, как и дробильное отделение, работает с выходными днями – 307 суток в году, в 2 смены в сутки:

$$307 \cdot 16 = 4912 \text{ ч}.$$

Для производства 1 209 600 т/год клинкера необходимое количество сырьевых материалов, как было подсчитано выше, составляет:

Известняка: \_\_\_\_\_ 1 583 931 т/год;

Глины: \_\_\_\_\_ 224 099 т/год.



(Трепел данным расчетом не учитывается, так как является привозным материалом).

С учетом 1,5% потерь требуется:

$$\text{Известняка: } 1\,583\,931 \cdot \frac{100 + 1,5}{100} = 1\,607\,690 \text{ т/год;}$$

$$1\,607\,690 / 307 = 5236,78 \text{ т/сутки;}$$

$$5236,78 / 16 = 327,29 \text{ т/ч;}$$

$$\text{Глины: } 224\,099 \cdot \frac{100 + 1,5}{100} = 227\,461 \text{ т/год;}$$

$$227\,461 / 307 = 740,92 \text{ т/сутки;}$$

$$740,92 / 16 = 46,31 \text{ т/ч.}$$

Таким образом, производительность карьера должна обеспечивать добычу, а дробильное отделение – дробление следующего количества материалов:

Таблица 2.6

	известняка	глины
В год:	1 607 690 т	227 461 т
В сутки:	5236,78 т	740,92 т
В час:	327,29 т	46,31 т

#### 4. Производственное задание клинкерного склада и отделения помола цемента

На клинкерный склад отправляют: клинкер, гидравлические добавки и гипс.

Из данных производственного задания цеха обжига следует, что в склад поступает клинкера:

$$\text{В час: } \underline{\hspace{10em}} \quad 150 \text{ т;}$$

$$\text{В сутки: } \underline{\hspace{10em}} \quad 3600 \text{ т;}$$

$$\text{В год: } \underline{\hspace{10em}} \quad 1\,209\,600 \text{ т.}$$

При хранении сыпучих материалов в складских помещениях неизбежны некоторые потери:

$$\text{Клинкера: } \underline{\hspace{10em}} \quad 0,5\%;$$

$$\text{Трепела: } \underline{\hspace{10em}} \quad 1,0\%;$$

$$\text{Гипса: } \underline{\hspace{10em}} \quad 1,0\%.$$

Таким образом, в отделение помола цемента за год поступает клинкера:

$$1\,209\,600 \cdot \frac{100 - 0,5}{100} = 1\,203\,552 \text{ т.}$$

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

$$\text{В сутки: } 1\,203\,552 / 307 = 3920,37 \text{ т;}$$

$$\text{В час: } 1\,203\,552 / 7368 = 163,35 \text{ т.}$$

Введение при помоле цемента гидравлических добавок трепела (10%) и гипса (3%) определяет потребность отделения помола клинкера в этих материалах:

$$\text{Трепела: } 1\,203\,552 \cdot \frac{10}{100-13} = 138\,339 \text{ т/год;}$$

$$138\,339 / 307 = 450,6 \text{ т/сутки;}$$

$$138\,339 / 7368 = 18,8 \text{ т/ч;}$$

$$\text{Гипса: } 1\,203\,552 \cdot \frac{3}{100-13} = 41\,502 \text{ т/год;}$$

$$41\,502 / 307 = 135,2 \text{ т/сутки;}$$

$$41\,502 / 7368 = 5,6 \text{ т/ч.}$$

Из приведенных выше расчетов следует, что производительность отделения помола цемента составляет:

$$1\,203\,552 + 138\,339 + 41\,502 = 1\,383\,393 \text{ т/год (цемента);}$$

$$3920,37 + 450,6 + 135,2 = 4506,2 \text{ т/сутки (цемента);}$$

$$163,35 + 18,8 + 5,6 = 187,75 \text{ т/ч (цемента).}$$

Аспирация цементных мельниц осуществляется на современных заводах с помощью электрофильтров. При этом потери цемента могут быть приняты порядка 0,5%. Тогда действительная производительность помольного отделения составит:

$$1\,383\,393 \cdot \frac{100-0,5}{100} = 1\,376\,476 \text{ т/год (цемента);}$$

$$4506,2 \cdot \frac{100-0,5}{100} = 4\,483,6 \text{ т/сутки (цемента);}$$

$$187,75 \cdot \frac{100-0,5}{100} = 186,82 \text{ т/ч (цемента).}$$

Если учесть, что на помол трепел подают после предварительной сушки (естественная влажность трепела 20%) и потери его на складе примерно 1%, то количество трепела, поступающее на склад за год, должно быть:

$$138\,339 \cdot \frac{100 \cdot 100}{(100-20)(100-1)} = 174\,670,5 \text{ т.}$$

Что же касается гипса, то здесь должен быть учтен только 1% его потерь, так как гипс поступает на помол без предварительной сушки:

$$41\,502 \cdot \frac{100}{100-1} = 41\,921 \text{ т/год.}$$

Поступающий из вращающихся печей на склад клинкер поливают водой, при этом расход воды на поливку принимается равным 1% от веса клинкера, то есть:

$$150 \cdot \frac{1}{100} = 1,5 \text{ т/час;}$$

$$3600 \cdot \frac{1}{100} = 36 \text{ т/сутки;}$$

$$1\,209\,600 \cdot \frac{1}{100} = 12\,096 \text{ т/год.}$$

## 5. Производственное задание силосно-упаковочного отделения

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

В год:	_____	1 376 476 т;
В сутки:	_____	4 483,6 т;
В час:	_____	186,8 т.

Учитывая потери цемента при упаковке и отгрузке порядка 0,55, получим количество цемента, подлежащее отгрузке:

$$\begin{aligned} \text{В год:} & \quad 1\,376\,476 \cdot \frac{100 - 0,5}{100} = 1\,369\,594 \text{ т;} \\ \text{В среднем в сутки:} & \quad 1\,369\,594 / 365 = 3752,3 \text{ т.} \end{aligned}$$

Поскольку суточная отгрузка зависит от количества и времени поступления транспорта под погрузку цемента, то отгрузка цемента в час не может быть подсчитана.

## 6. Расчет расхода топлива

Топливо расходуется на следующие технологические нужды завода:

- 1) обжиг клинкера;
- 2) сушку гидравлических добавок;
- 3) сушку топлива.

При подсчете расхода топлива на обжиг клинкера принимаем затраты тепла на обжиг 1 кг клинкера равным 6285 кДж (1500 ккал).

Если калорийность смеси марок угля 25559 кДж/кг (6100 ккал/кг), то расход его на обжиг определяется в 0,246 т на 1 т обожженного клинкера.

При производительности вращающихся печей 150 т/ч на обжиг необходимо угля:

$$\begin{aligned} \text{В час:} & \quad 0,246 \cdot 150 = 36,9 \text{ т;} \\ \text{В сутки:} & \quad 36,9 \cdot 24 = 885,6 \text{ т;} \\ \text{В год:} & \quad 36,9 \cdot 8064 = 297\,562 \text{ т.} \end{aligned}$$

Естественная влажность трепела 20%, отсюда расход выбранного топлива может быть принят равным 23 кг на 1 т<sub>н</sub> высушенного трепела. Потребность в сухом трепеле (138 751 т / год) определяет расход угля на его сушку:

$$\begin{aligned} \text{В год:} & \quad 138339 \cdot 0,023 = 3181,8 \text{ т;} \\ \text{В сутки:} & \quad 3181,8 / 337 = 9,44 \text{ т;} \\ \text{В час:} & \quad 9,44 / 24 = 0,393 \text{ т.} \end{aligned}$$

**П р и м е ч а н и е:** Пылеугольная смесь для сушки трепела готовится в угольных мельницах, режим работы которых принят в соответствии с режимом работы вращающихся печей 337 суток в году по 24 ч в сутки.

Расход топлива на сушку топлива может быть принят при данных условиях порядка 0,033 т на 1 т<sub>н</sub> высушенного топлива. Сушке подлежит топливо в количестве:

$$\begin{aligned} \text{В год:} & \quad 297\,562 + 3181,8 = 297\,880,8 \text{ т;} \\ \text{В сутки:} & \quad 885,6 + 9,44 = 895,04 \text{ т;} \\ \text{В час:} & \quad 36,9 + 0,393 = 37,293 \text{ т.} \end{aligned}$$

Отсюда расход топлива на сушку самого топлива:

$$\text{В год: } 297\,880,8 \cdot 0,033 = 9830,1 \text{ т;}$$

$$\text{В сутки: } 895,04 \cdot 0,033 = 29,5 \text{ т;}$$

$$\text{В час: } 37,293 \cdot 0,033 = 1,23 \text{ т.}$$

Общий расход топлива на технологические нужды завода составит:

$$\text{В год: } 297\,880,8 + 9830,1 = 307\,710,9 \text{ т;}$$

$$\text{В сутки: } 895,04 + 29,5 = 924,57 \text{ т;}$$

$$\text{В час: } 37,293 + 1,23 = 38,524 \text{ т.}$$

Оценивая потери топлива на всех стадиях производства примерно в 1%, получим полный расход топлива:

$$\text{В год: } 307\,710,9 \cdot \frac{100+1}{100} = 310\,788 \text{ т;}$$

$$\text{В сутки: } 924,57 \cdot \frac{100+1}{100} = 933,8 \text{ т;}$$

$$\text{В час: } 38,524 \cdot \frac{100+1}{100} = 38,9 \text{ т.}$$

Таблица 2.7

**Производственная программа цементного завода**  
производительностью 1 350 000 т цемента в год

Наименование производства и Материал	Режим работы	Характеристика материала	Выпуск продукции			Примечание
			В час	В сутки	В год	
<b>Карьер и дробильное отделение</b>	307 дней в год по 16 ч					
Известняк		Естественная влажность 5%	327,29	5236,78	1 607 690	
Глина		Естественная влажность 15%	46,31	740,92	227 461	
<b>Отделение помола сырья</b>	307 суток в год					Расход указан с учетом 1% потерь
Известняк		Аб. сухой	204,33	4903,84	1505479,85	
Глина			25,86	620,75	190571,67	
Трепел			16,61	398,63	122380,5	
Вода			109,05	2617,1	803449,7	
<b>Цех обжига клинкера</b>	337 суток в год по 24ч					Поступление трепела и гипса на склад в час и в сутки не указано вследствие периодичности работы отделений дробления гипса и сушки трепела
Известняк		Аб. сухой	186,62	4478,88	1504903,7	
Глина		То же	23,62	556,88	190471,7	
Трепел		То же	15,26	366,24	123056,6	
Шлам		влажность 36%	214,84	5156,16	1732469,8	

Наименование производства и Материал	Режим работы	Характеристика материала	Выпуск продукции			Примечание
			В час	В сутки	В год	
<b>Клинкерный склад</b>	307 суток в год по 24ч					Учены потери на складе 0,5% при хранении клинкера и при хранении трепела и гипса
Клинкер		Естественная влажность 20%	150,0	3600,0	1209600	
Трепел		Естественная влажность 6%			174670,46	
Гипс		Аб. сухой			41921	
Вода				1,5	36,0	

<b>Отделение помола цемента</b>	365 дней в год					Учены потери цемента–0,5%
Клинкер		Естественная влажность 6%	163,35	3920,37	1203552	
Трепел		То же	18,78	450,6	138339	
Гипс		То же	5,63	135,19	41501,8	
Цемент		То же	186,82	4483,64	1376476	
<b>Силосно-упаковочное отделение</b>	337 суток в год по 24ч					Часовая отгрузка цемента не указана вследствие неравномерности подачи транспорта
Цемент на отгрузку				3752,3	1369594	
<b>Расход топлива</b>						
На обжиг клинкера			36,9	885,6	297562	Калорийность пылеугольной смеси 6100 ккал/кг
На сушку трепела			0,393	9,44	3181,8	
На сушку топлива			1,23	29,5	9830,1	
<b>Итого</b>			38,524	924,57	307710,9	С учетом 1% потерь
<b>Всего топлива</b>			38,9	933,8	310 788	

Таблица 2.8

**Материальный баланс цементного завода**  
производительностью 1 350 000 тонн цемента в год

Приход	Количество т/год	Расход	Количество т/год
<b>По производству клинкера</b>			
Карьером добывается:		Поступает на склад клинкера	1209600,0
Известняк	1 607 690	Потери в печи при обжиге сырья:	
Глина	227 461	известняк 9,8·8064	79027,2
Поступает на помол:		глина 4,17· 8064	33626,9
Трепел	174671	трепел 3,82 · 8064	30804,5
Вода для шлама	803449,7	Испаряется воды:	
Вода для охлаждения клинкера	12096,0	шлама	803449,7
Зола топлива (4%) (150 – 144)8064	48384,0	при охлаждении шлама	12096,0
Итого	2873751,7	Потери при прокаливании сырья (1,55 – 1)·144·8064	638668,8
Невязка баланса : 1,3%		Потери при дроблении и транспортировке сырья:	
		известняка 1 607 690-1 583 931	23759,00
		глины 227 461-224 099	3362,00
		Итого	2834394,1
<b>По производству цемента</b>			
Поступает на клинкерный склад :		Отгружается цемента	1369594
клинкер	1209600	Потери:	
трепел	174671	клинкера на складе 1209600 – 1203552	6048,00
гипс	41921	цемента при помоле 11383393 – 1376476	6917,00
Итого	1426192	цемента при упаковке и отгрузке 1376476 – 1369594	6882,00
		при сушке и транспортировке трепела 174670,46 – 138339	36332,00
		при транспортировке гипса 41921 -41502	419,00
		Итого	1426192

#### 4. Пример составления материального баланса завода силикатного кирпича

В состав завода по производству силикатного кирпича входят следующие отделения:

- Склад сырья, топлива, добавок, готовой продукции;
- Цех обжига известняка;
- Помольное отделение;
- Массозаготовительное отделение;
- Прессовое отделение;
- Автоклавное отделение.

##### 1. Производительность завода силикатного кирпича.

Исходными данными к данному разделу являются

- Производительность завода – 1 200 000 шт. кирпича в мес.,  
Годовая производительность,  $N = 1\,200\,000 \cdot 12 = 14\,400\,000$  шт. кирп./год
- Производственные потери – 1,5 %:  
 Брак при формовании,  $B_f = 0,5\%$ ;  
 Брак в автоклавном отделении,  $B_{ав} = 0,5\%$ ;  
 Потери на складе готовой продукции,  $P_{скл} = 0,5\%$ .
- Коэффициент использования основного оборудования –  $K_{исп} = (0,80-0,82)$
- Число рабочих суток в году –  $n$ : 5 дней в неделю, 52 недели в год  
 $n = 5 \cdot 52 = 264$  суток.
- Эффективный фонд рабочего времени –  $T_{эфф}$  :

$$T_{эфф} = T_{кал} \cdot 24 \cdot K_{исп}, \text{ час}$$

где  $T_{кал}$  – число дней в году;

$K_{исп}$  - коэффициент использования основного оборудования.

$$T_{эфф} = 264 \cdot 24 \cdot 0,8 = 5132,16, \text{ час}$$

Годовая производительность завода с учетом производственных потерь составит:

$$N_{год} = N + \frac{N \cdot (B_f + B_{ав} + P_{скл})}{100}, \text{ шт. кирп./год}$$

$$N_{год} = 14400000 + \frac{14400000 \cdot 1,5}{100} = 14616000, \text{ шт. кирп./год}$$

в сутки:

$$N_{сут} = \frac{N_{год}}{n} = \frac{14616000}{264} = 55363,64, \text{ шт. кирп./сут}$$

в час

$$N_{час} = \frac{N_{год}}{T_{эфф}} = \frac{14616000}{5132,16} = 2847,92, \text{ шт. кирп./час}$$

##### 2. Расчет состава силикатной смеси

Исходные данные:

- Активность силикатной смеси,  $A_{см}$ , % – 9%;
- Активность извести,  $A_{изв}$ , % - 35%;
- Влажность кирпича-сырца,  $W_{кс}$ , % - 8%;
- Влажность песка,  $W_{п}$ , % - 6%;
- Производственные потери:  
 Извести –  $ПП_{изв} = 0,7\%$ ;  
 Песка –  $ПП_n = 0,5\%$ ;  
 Воды –  $ПП_B = 0,3\%$ .

Целью расчетов является определение расхода компонентов силикатной смеси – извести, песка, воды – на 1000 штук кирпича и на 1 м<sup>3</sup> смеси.

Объем лицевого (рядового) кирпича:

$$V_K = 0,250 \cdot 0,120 \cdot 0,065 = 0,00264, \text{ м}^3;$$

$$P_K = V_K \cdot \rho_K;$$

где  $\rho_K$  – средняя плотность кирпича, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_K = 1800-1850$  кг/м<sup>3</sup>.

$$P_K = 0,00264 \cdot 1800 = 4,752, \text{ кг};$$

$$P_K^{1000} = 4,752 \cdot 1000 = 4752, \text{ кг}.$$

*Определение расхода извести, песка и воды на 1 000 штук кирпича (кг, м<sup>3</sup>)*

Известь:

$$Q_{изв}^P = \frac{P_K^{1000} \cdot A_{см}}{A_{изв}} = \frac{4752 \cdot 9}{35} = 1221,9 \text{ кг}$$

$$Q_{изв}^V = \frac{Q_{изв}^P}{\gamma_{изв}}, \text{ м}^3$$

где  $\gamma_{изв}$  – насыпная плотность извести, кг/м<sup>3</sup>.

Воды:

$$Q_в = \frac{P_K^{1000} \cdot W_{КС}}{100} = \frac{4752 \cdot 8}{100} = 380,16, \text{ л} = 0,380 \text{ м}^3$$

Песка:

$$Q_n^P = P_K^{1000} - Q_{изв}^P - Q_в = 4752 - 1221,9 - 380,16 = 3149,9, \text{ кг}$$

$$Q_n^V = \frac{Q_n^P}{\gamma_n} = \frac{3149,9}{1400} = 2,25, \text{ м}^3$$

где  $\gamma_n$  – насыпная плотность песка, кг/м<sup>3</sup>,  $\gamma_n = 1400$  кг/м<sup>3</sup>.

Расход песка с учетом его естественной влажности:

$$Q_n^P = Q_n^P \left( \frac{100 + W_{П}}{100} \right) = 3149,9 \left( \frac{100 + 6}{100} \right) = 3338,9, \text{ кг}$$

*Определение расхода извести, песка и воды на 1000 штук кирпича с учетом производственных потерь*

Известь:

$$I^P = Q_{изв}^P \cdot \left( \frac{100 + ПП_{изв}}{100} \right) = 1221,9 \cdot \left( \frac{100 + 0,7}{100} \right) = 1230,5, \text{ кг}$$

$$I^V = Q_{изв}^V \cdot \left( \frac{100 + ПП_{изв}}{100} \right) =$$

Песок:

$$П^P = Q_n^P \cdot \left( \frac{100 + ПП_n}{100} \right) = 3149,9 \cdot \left( \frac{100 + 0,5}{100} \right) = 3165,6, \text{ кг}$$

$$П^V = Q_n^V \cdot \left( \frac{100 + ПП_n}{100} \right) = 2,25 \cdot \left( \frac{100 + 0,5}{100} \right) = 2,26, \text{ м}^3$$

Вода:



$$B = Q_6^P \cdot \left( \frac{100 + III_6}{100} \right) = 380,16 \cdot \left( \frac{100 + 0,3}{100} \right) = 381,3 \text{ кг} = 0,3813 \text{ м}^3$$

Расчет расхода компонентов с учетом годовой программы

Известь:

$$I_{\text{час}} = \frac{I^P \cdot N_{\text{час}}}{1000} = \frac{1230,5 \cdot 2847,92}{1000} = 3504,36, \text{ кг}$$

Песок:

$$P_{\text{час}} = \frac{P^P \cdot N_{\text{час}}}{1000} = \frac{3165,6 \cdot 2847,92}{1000} = 9015,37, \text{ кг}$$

Вода:

$$B_{\text{час}} = \frac{B \cdot N_{\text{час}}}{1000} = \frac{381,3 \cdot 2847,92}{1000} = 1085,9, \text{ л.}$$

После расчетов составляется сводная таблица расхода сырьевых материалов .

Таблица 4.1

Расход компонентов на 1000 шт. кирпича

Компонент силикатной смеси	Расход компонентов							
	кг	м <sup>3</sup>	кг/час	м <sup>3</sup> /час	кг/сут	м <sup>3</sup> /сут	кг/год	м <sup>3</sup> /год
Известь	1230,5		3504,75					
Песок	31,65	2,26	9015,37	6,44	216368,8	154,56	57121363	40803,84
Вода	381,3	0,381	1085,9	1,086	26061,6	26,064	6880262,4	6880,9

### 3. Материальный баланс цеха обжига известняка

Исходные данные:

- Производительность печи, т/сут;
- Состав известняка, % (CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>);
- A<sub>и</sub> – активность извести, %;
- Степень обжига известняка, %, η = 94,3%

При производстве силикатного кирпича для приготовления известко-кремнеземистого вяжущего используют негашеную известь, которую получают непосредственно на заводе обжигом предварительно подготовленного известняка в шахтных печах.

В шахтных печах происходит прогрев известняка (t = 197-697°C), обжиг (t = 1097-1197°C) и его охлаждение (до t = 97°C), что сопровождается следующими реакциями, которые и составляют основу материального баланса цеха обжига известняка.

При обжиге известняка происходит разложение (диссоциация) основных активных составляющих известковой породы CaCO<sub>3</sub> и MgCO<sub>3</sub>:



Выход CaO и MgO из печи рассчитывается:

$$\text{CaO} = \frac{(\text{CaCO}_3 - \eta) \cdot 56}{100}, \text{ кг}$$

$$\text{MgO} = \frac{(\text{MgCO}_3 - \eta) \cdot 40,35}{84,35}, \text{ кг}$$

где η – степень обжига известняка, %.

Неразложившийся остаток при обжиге известняка рассчитывается следующим образом:

$$X = [\%CaCO_3 - (\%CaCO_3 \cdot \eta)], \text{ кг}$$

Активность извести согласно составу известняка рассчитываем по формуле:

$$\frac{A_u}{100 - A_u} = \frac{(CaCO_3 - X) \cdot \frac{56}{100} + MgCO_3 \cdot \frac{40,35}{84,35}}{X + (R_2O_3 + SiO_2)}$$

Выход  $CO_2$  из  $CaCO_3$  и  $MgCO_3$ .

$$CO_2(CaCO_3) = \left( \frac{CaCO_3 - X}{100} \right) \cdot \frac{44}{100}, \text{ кг}$$

$$CO_2(MgCO_3) = MgCO_3 \cdot \frac{44}{84,35}, \text{ кг}$$

Пусть имеем известняк следующего состава:

$$CaCO_3 = 93,5 \%;$$

$$MgCO_3 = 0,5 \%;$$

$$R_2O_3 + SiO_2 = 3 \%;$$

$$H_2O = 3 \%$$

$$X = 5,7 \text{ кг при } A_u = 85\%$$

При обжиге 1 кг известняка указанного состава выделяется:

$$CO_2 \text{ из } CaCO_3 \quad CO_2(CaCO_3) = (0,935 - 0,057) \cdot \frac{44}{100} = 0,386 \text{ кг}$$

$$CO_2 \text{ из } MgCO_3 \quad CO_2(MgCO_3) = 0,005 \cdot \frac{44}{84,35} = 0,003 \text{ кг}$$

$$H_2O = 0,03 \text{ кг}$$

---


$$\text{Всего: } 0,419 \text{ кг}$$

Расход известняка на 1 кг извести стандартного качества составит:  $\frac{1}{1 - 0,419} = 1,72 \text{ кг}$

При обжиге 100 кг известняка разлагается  $CaCO_3 - 93,5 \cdot 0,943 = 87,8 \text{ кг}$

Неразложившийся остаток составит:  $93,5 - 87,8 = 5,7 \text{ кг}$

Количество образовавшихся  $CaO$  и  $MgO$  из 100 кг известняка:

$$CaO: \frac{87,8 \cdot 56}{100} = 49,16 \text{ кг}$$

$$MgO: \frac{0,5 \cdot 40,35}{84,35} = 0,24 \text{ кг}$$

Материальный баланс обжига известняка на 100 кг

Приход	Количество, кг	Расход	Количество, кг
Известняк		Известь	
$CaCO_3$	93,5	$CaO$	49,16
$MgCO_3$	0,5	$MgO$	0,24
$R_2O_3 + SiO_2$	3	$CaCO_3$	5,7
$H_2O$	3	$R_2O_3 + SiO_2$	3
ИТОГО	100	ИТОГО	58,1

Данные материального баланса представленные в таблице материального баланса учитывают образование твердой части продукта – извести, но не учитывают газообразных продуктов обжига известняка.

Газообразная составляющая будет в количестве:

CO <sub>2</sub> из CaCO <sub>3</sub> -	38,6 кг
CO <sub>2</sub> из MgCO <sub>3</sub> -	0,3 кг
<u>H<sub>2</sub>O (пар) из известняка -</u>	<u>0,3 кг</u>
ИТОГО -	41,9 кг

Тогда расходная статья увеличится на данное количество газообразных продуктов:  
41,9 + 58,1 = 100кг

## 5. Пример составления материального баланса составного цеха стекольного завода

### 1 Материальный баланс дозировочно-смесительного отделения

Исходные данные (линия вертикального вытягивания стекла (ВВС)):

Годовое количество требуемой влажной шихты:	78981 т;
Годовое количество требуемой сухой шихты:	75822 т;
Годовое количество воды, содержащееся в шихте:	3159 т;

Таблица 3.1

Теоретический расход абсолютно сухих материалов на 100 кг стекломассы  
Влажность компонентов и потери при хранении и обработке

Компонент	Расход абсолютно сухих материалов на 100кг стекломассы, кг	Влажность до обработки, %	Влажность после подсушивани я, %	Потери при хранении и обработке, %
Песок	64,7	5,0	1,0	7,0
Пегматит	15,4	1,0	1,0	1,0
Сода	23,1	1,5	1,5	2,0
Сульфат	2,1	2,0	2,0	2,0
Известняк	1,2	6,0	1,0	6,0
Доломит	16,5	6,0	1,0	6,0
Всего	123			

Одинаковая влажность до и после подсушивания свидетельствует о том, что компонент не подвергается сушке и должен храниться в силосах или в навесовых бункерах.

#### 1.1 Определим теоретический годовой расход сырьевых компонентов (сухих):

Песок:  $64,7 \cdot \frac{75822}{123,0} = 39883,6 \text{ т};$

Пегматит:  $15,4 \cdot \frac{75822}{123,0} = 9493,2 \text{ т};$

$$\text{Сода: } 23,1 \cdot \frac{75822}{123,0} = 14239,7 \text{ т;}$$

$$\text{Сульфат: } 2,1 \cdot \frac{75822}{123,0} = 1294,5 \text{ т;}$$

$$\text{Известняк: } 1,2 \cdot \frac{75822}{123,0} = 739,7 \text{ т;}$$

$$\text{Доломит: } 16,5 \cdot \frac{75822}{123,0} = 10171,3 \text{ т;}$$

$$\text{Всего: } 75822,0 \text{ т}$$

**1.2 Определим годовой расход сырьевых компонентов с влажностью, с которой они приходят в дозировочное отделение, т.е. после подсушивания:**

$$\text{Песок: } 39883,6 \cdot \frac{100}{100 - 1} = 40286,5 \text{ т;}$$

$$\text{Пегматит: } 9493,2 \cdot \frac{100}{100 - 1} = 9589,1 \text{ т;}$$

$$\text{Сода: } 14239,7 \cdot \frac{100}{100 - 1,5} = 14456,5 \text{ т;}$$

$$\text{Сульфат: } 1294,5 \cdot \frac{100}{100 - 2} = 1320,9 \text{ т;}$$

$$\text{Известняк: } 739,7 \cdot \frac{100}{100 - 1} = 747,2 \text{ т;}$$

$$\text{Доломит: } 10171,3 \cdot \frac{100}{100 - 1} = 10274 \text{ т;}$$

**1.3 Определим количество воды увлажнения которую надо добавить, чтобы получить шихту влажностью 4,0 %:**

Очевидно,

Вода увлажнения = (Вода в конечной шихте) минус ( вода, которую уже содержала шихта после подсушивания)

Вода, содержащаяся в шихте после подсушивания равна сумме воды в отдельных ее компонентах.

$$\text{Песок: } \text{Вода увлажнения} = 40286,5 - 39883,6 = 402,9 \text{ т;}$$

Пегматит: Вода увлажнения =  $9589,1 - 9493,2 = 95,9$  т;

Сода: Вода увлажнения =  $14456,5 - 14239,7 = 216,8$  т;

Сульфат: Вода увлажнения =  $1320,9 - 1294,5 = 26,4$  т;

Известняк: Вода увлажнения =  $747,2 - 739,7 = 7,5$  т;

Доломит: Вода увлажнения =  $10274 - 10171,3 = 102,7$  т;

Итого: Вода увлажнения =  $402,9 + 95,9 + 216,8 + 26,4 + 7,5 + 102,7 = 852,2$  т;

Вода увлажнения:  $3159 - 852,2 = 2306,8$  т

#### 1.4 На основании полученных данных составляем годовой материальный баланс дозирочно-смесительного отделения:

Таблица 3.2

Приход	Влажность, %	Количество, т	Расход	Количество, т
Песок	1,0	40286,6	Шихта с влажностью 4 %	78981,0
Пегматит	1,0	9589,1		
Сода	1,5	14456,5		
Сульфат	2,0	1320,9		
Известняк	1,0	747,2		
Доломит	1,0	10274,0		
Вода увлажнения		2306,8		
Всего		78981,0		

#### 2 Расчет материального баланса отделения подсушивания

Переходим к расчету материального баланса отделения обработки материалов. Если нет заводских данных по потерям при хранении и обработке материалов, воспользуемся справочными данными, где эти потери даны суммарно, разбив их примерно в соотношении  $\frac{1}{4}$

Таблица 3.3

Компонент	Потери при хранении и обработке, %	Из них потери	
		При хранении на складе, % (0,2)	При обработке, % (0,8)
Песок	7,0	1,5	5,5
Пегматит	1,0	0,2	0,8
Сода	2,0	0,4	1,6
Сульфат	2,0	0,4	1,6
Известняк	6,0	1,0	5,0
Доломит	6,0	1,0	5,0

#### 2.1 Определим требуемое годовое количество материалов, которое должно приходиться на обработку, в состоянии складской влажности, то есть влажности до обработки:

Песок:  $39883,6 \cdot \frac{100}{100 - 5} = 41982,7$  т;

Пегматит: Не сушится

Сода: Не сушится

Сульфат: Не сушится

$$\text{Известняк: } 739,7 \cdot \frac{100}{100 - 6} = 786,9 \text{ т;}$$

$$\text{Доломит: } 10171,3 \cdot \frac{100}{100 - 6} = 10820,5 \text{ т;}$$

## 2.2 Определим количество воды, которое испарится из материалов при сушке:

$$\text{Песок: } 41982,7 - 40286,5 = 1696,2 \text{ т;}$$

$$\text{Известняк: } 786,9 - 747,2 = 39,7 \text{ т;}$$

$$\text{Доломит: } 10820,5 - 10247,2 = 546,5 \text{ т;}$$

$$\text{Всего: } 1696,2 + 39,7 + 546,5 = 2282,4 \text{ т.}$$

## 2.3 Определим требуемое годовое количество материалов, которое должно приходиться на обработку с учетом потерь на обработку:

$$\text{Песок: } 41982,7 \cdot \frac{100}{100 - 5,5} = 44426,1 \text{ т;}$$

$$\text{Пегматит: } 9589,1 \cdot \frac{100}{100 - 0,8} = 9666,4 \text{ т;}$$

$$\text{Сода: } 14456,5 \cdot \frac{100}{100 - 1,6} = 14691,6 \text{ т;}$$

$$\text{Сульфат: } 1320,9 \cdot \frac{100}{100 - 1,6} = 1342,4 \text{ т;}$$

$$\text{Известняк: } 786,9 \cdot \frac{100}{100 - 5} = 828,3 \text{ т;}$$

$$\text{Доломит: } 10820,5 \cdot \frac{100}{100 - 5} = 11390,0 \text{ т;}$$

## 2.4 Потери материалов при обработке:

$$\text{Песок: } 44426,1 - 41982,7 = 2443,4 \text{ т;}$$

$$\text{Пегматит: } 9666,4 - 9589,1 = 77,3 \text{ т;}$$

Сода:  $14691,6 - 14456,5 = 235,1$  т;

Сульфат:  $1342,4 - 1320,4 = 21,5$  т;

Известняк:  $828,3 - 786,9 = 41,4$  т;

Доломит:  $11390,0 - 10820,5 = 569,5$  т;

Всего:  $2443,4 + 77,3 + 235,1 + 21,5 + 41,4 + 569,5 = 3388,2$

## 2.5 На основании полученных данных составляем материальный баланс отделения обработки:

Таблица 3.4

Приход	Влажность	Количество , т	Расход	Влажность	Количество , т
Песок	6,0	44426,1	Песок	1,0	40286,5
Пегматит	1,0	9666,4	Пегматит	1,0	9589,1
Сода	1,5	14691,6	Сода	1,5	14456,5
Сульфат	2,0	1342,4	Сульфат	2,0	1320,9
Известняк	6,0	828,3	Известняк	1,0	747,2
Доломит	6,0	11390,0	Доломит	1,0	10274,0
			Вода испаренная		2282,4
			Потери при обработке		3388,2
Всего		82344,8			82344,8

## 3 Расчет материального баланса склада сырья

### 3.1 Определим количество материалов складской влажности (до обработки), приходящих на склад, с учетом потерь при хранении:

Песок:  $44426,1 \cdot \frac{100}{100 - 1,5} = 45102,6$  т;

Пегматит:  $9666,4 \cdot \frac{100}{100 - 0,2} = 9685,8$  т;

Сода:  $14691,6 \cdot \frac{100}{100 - 0,4} = 14750,6$  т;

Сульфат:  $1342,4 \cdot \frac{100}{100 - 0,4} = 1347,8$  т;

Известняк:  $828,3 \cdot \frac{100}{100 - 1,0} = 836,7$  т;

Доломит:  $11390,0 \cdot \frac{100}{100 - 1,0} = 11505,1$  т;

Потери материалов при хранении:

Песок:  $45102,6 - 44426,1 = 676,5$  т;

Пегматит:  $9685,8 - 9666,4 = 19,4$  т;

Сода:  $14750,6 - 14691,6 = 59,0$  т;

Сульфат:  $1347,8 - 1342,4 = 5,4$  т;

Известняк:  $836,7 - 828,3 = 8,4$  т;

Доломит:  $11505,1 - 11390,0 = 115,1$  т;

Сумма потерь: 883,8 т

### 3.2 Годовой материальный баланс склада сырья:

Таблица 3.5

Приход	Влажность, %	Количество , т	Расход	Влажность, %	Количество , т
Песок	6,0	45102,6	Песок	6,0	44426,1
Пегматит	1,0	9685,8	Пегматит	1,0	9666,4
Сода	1,5	14750,6	Сода	1,5	14691,6
Сульфат	2,0	1347,8	Сульфат	2,0	1342,4
Известняк	6,0	836,7	Известняк	6,0	828,3
Доломит	6,0	11505,1	Доломит	6,0	11390,0
			Потери сырья		883,8
Всего		83228,6			83228,6



### Список рекомендованной литературы

1. Ахлестин Е.С. Проектирование и расчет сырьевых цехов стекольных заводов: Учебное пособие / Владимирский политехнический институт. Владимир, 1987. 96 С.
2. Клячко Л.И., Умашин А.Н., Бобров В.Н. Оборудование и оснастка для прессования порошковых материалов. – М.: Металлургия, 1986. – 336 с.
3. Константинополо Г.С. Дипломное проектирование механического оборудования заводов промышленности строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1974. – 280 с.
4. Кошляк Л.Л., Калиновский В.В. Производство изделий строительной керамики. – М.: Высш. школа, 1990. – 207 с.
5. Мартынов В.Д., Алешин Н.И., Морозов Б.П. Строительные машины и монтажное оборудование. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
6. Машины и оборудование для производства керамических и силикатных изделий. Отраслевой каталог. – М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1990. – 315 с.
7. Мороз И.И., Комская М.С., Олейникова Л.Л. Справочник по фарфоро-фаянсовой промышленности. Т.2. – М.: Легкая индустрия, 1980. – 352 с.
8. Огнеупорное производство: Справочник / Под ред. Д.И. Гавриша. – М.: Металлургия, 1965. – Т. 1,219. Оборудование и сооружения для защиты биосферы от промышленных выбросов. – М.: Химия, 1985. – 352 с.
9. Производство огнеупоров полусухим способом / А.К.Карклит, А.П.Ларин, С.А.Лосев, В.Е.Верниковский – М.: Металлургия, 1981. – 320 с.
10. Процессы изостатического прессования: Под ред. П.Дж.Джеймса, пер. с англ. – М.: Металлургия, 1990. 192 с.
11. Стрелов К.К., Кашеев И.Д., Мамыкин П.С. Технология огнеупоров. – М.: Металлургия, 1988. – 529 с.
12. Строительная керамика: Справочник. – М.: Стройиздат, 1976. – 493 с.
13. Технология фарфорового и фаянсового производства / А.И.Булавин, А.И.Августиник, А.С.Жуков и др. – М.: Легкая индустрия, 1975. – 448 с.

## Приложение

Таблица П1

Нормы безвозвратных потерь (%) для производства огнеупорных изделий

Операции	Вид сырья		
	Пластичные	Магнезит	Доломит
Разгрузка	0,5	0,5	0,5
Хранение на складе	1,0	1,0	1,0
Сортировка		0,3	0,3
Дробление и рассев	0,3	0,3	0,3
Помол	0,3	0,3	0,3
Транспортировка	0,2	0,2	0,2
Смешивание и формование	0,4	0,3	0,3
Обжиг и сортировка	0,6	0,6	0,6
Упаковка и отгрузка	0,1	0,1	0,1
Дробление и рассев после обжига	0,1*	0,1*	0,1*

\* для кусковых и порошкообразных материалов (шамот, магнезит и т.п.)

Таблица П2

Усадка образцов из различных материалов

Материал	После сушки, %	После обжига, %
Фарфор	4,5 – 7,1	17,4 – 19,2
Шамотные изделия	-	2,0 – 3,0
Техническая керамика	-	12,0 – 16,0

Таблица П3

Кажущаяся плотность некоторых керамических материалов

Материал	Объемная масса (Кажущаяся плотность) г/см <sup>3</sup>
Магнезит	2,85-2,97
Магнезит плавленный	3,20-3,40
Кварцит	2,63-2,66
Глина при влажности, %:	
3-9	1,80-1,20
20-25	1,7
Брак изделий:	
Магнезит	2,63-3,33
Динас	1,89-2,11
Шамот	1,92-2,20
Высокоглиноземистый шамот	2,39-2,68
Шамот кусковой	2,00-2,46
Твердый фарфор	2,25-2,50
Твердый фаянс	1,92-1,96

Свойства молотых материалов и полуфабриката

Материал	Зерновой состав, %	Влажность, %	Насыпная масса, г/см <sup>3</sup>	Углы, град		
				Естественного откоса	Обрушения	Скольжения
1	2	3	4	5	6	7
Глина	5 % > 0,5 мм 95 % < 0,5 мм	3,5	0,86 - 0,96	30	60	37
	То же	9,5	0,89 - 1,00	30	66	35
	11 % > 0,5 мм 89,9 % < 0,5 мм	4,7	0,83 - 0,90	30	68	35
	То же	11,2	0,92 - 1,07	35	67	31
	17 % > 0,5 мм 83 % < 0,5 мм	4,7	0,82 - 0,91	30	58	35
	То же	9,1	0,84 - 1,00	29	61	30
Шамот	15 % > 2,0 мм 85 % < 0,5 мм	0	1,35-1,6	35	49	32
Кварцит	9,4 % > 2,0 мм 25 % < 0,25 мм	0,5	1,53-1,85	40	62	32
Шамотная масса: Шамот (85%) Глина (15%)	4,3 % > 2,0 мм 53,3 % < 0,5 мм	5,4	0,99-1,15	38	58	33
Масса фарфоровая		23-27	1,80-2,00	-	-	-

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЗАВОДОВ  
ТУГОПЛАВКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ И СИЛИКАТНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ (ЧАСТЬ I)

Методические указания  
к практическим занятиям, курсовому проектированию  
и самостоятельной работе  
по курсу «Оборудование и основы проектирования заводов ТНСМ»  
направления подготовки бакалавра 240100  
«Химическая технология и биотехнология»

Составители            А.А. Громов, Н.А. Митина

Подписано к печати  
Формат 60x84/16. Бумага офсетная.  
Печать RISO. Усл. печ. л.        Уч.-изд.л.        .  
Тираж                    экз. Заказ        . Цена свободная.  
Издательство ТПУ. 634050, Томск, пр. Ленина, 30.