

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ КЕРАМИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рекомендовано Редсоветом университета
в качестве учебного пособия для студентов,
обучающихся по направлению подготовки 270800.62 «Строительство»,
профиль «Производство строительных материалов,
изделий и конструкций»

Под общей редакцией доктора технических наук
профессора В.И. Калашникова

Пенза 2013

УДК 691.002: 666.3 (075.8)

ББК 38.3 я73

П79

Рецензенты: доктор технических наук, профессор В.И. Логанина (ПГУАС); директор ООО «Инновационные технологии» Я.А. Санягина

Авторы: кандидат технических наук, доцент В.А. Тяпкин;
кандидат технических наук, доцент М.Н. Мороз;
доктор технических наук, профессор Н.И. Макридин;
доктор технических наук, профессор А.Н. Бобрышев

Проектирование предприятий по производству керамических строительных материалов: учеб. пособие / В.А. Тяпкин [и др.]; под общ. ред. В.И. Калашникова. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 144 с.

Содержит ряд справочных данных и типовые решения отдельных этапов технологической схемы в зависимости от специфических особенностей исходного сырья, рекомендаций по выбору режима работы отдельных цехов и участков, составлению материального баланса предприятия.

Приведены основные положения по разработке архитектурно-строительной части, оценке технико-экономической схемы генерального плана, контроля технологических процессов и качества готовой продукции. Приведен расчет туннельной печи обжига кирпича. Рассчитаны тепловые балансы для туннельной печи и камерной сушилки для сушки сырца.

Выбраны горелочные устройства, вентиляторы для отбора воздуха, продуктов горения и подачи воздуха для охлаждения. Приведена схема автоматизации и теплового контроля туннельной печи. Рассмотрены вопросы безопасности при обслуживании туннельной печи.

Пособие подготовлено на кафедре «Технологии строительных материалов и деревообработки» и предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 270800.62 «Строительство», профиль «Производство строительных материалов, изделий и конструкций».

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2013

© Тяпкин В.А., Мороз М.Н.,
Макридин Н.И., Бобрышев А.Н., 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

В технологии строительных материалов и изделий важнейшими технологическими процессами являются сушка и обжиг. В соответствии с современными требованиями, предъявляемыми к технологии строительных материалов, в учебном пособии изложены методы проектирования предприятий строительной керамики, выбора технологии, сформулированы общие принципы конструирования сушильных и установок для обжига и их основные характеристики.

Учебное пособие состоит из четырех разделов. В первом разделе приведены основные положения по разработке архитектурно-строительной части, оценке технико-экономической схемы генерального плана, контроля технологических процессов и качества готовой продукции.

Второй раздел посвящен теплотехническому расчету процесса сушки и обжига, где рассмотрены графо-аналитический метод теплового расчета сушильных установок, сформированы материальный и тепловой баланс процесса сушки и обжига. Подробно изложены вопросы получения сушильного агента, приведены методики расчетов расхода сушильного агента и тепла на сушку и обжиг, а также потери теплосодержания. Рассмотрены примеры расчетов сушильного процесса и вариантный для обжига, выполняемых при курсовом проектировании.

В третьем разделе рассматриваются тепловой контроль и автоматизация работы печи. Для реализации этих задач на систему управления возложены функции теплового контроля, автоматического регулирования, технологической сигнализации и защиты. Она разработана в соответствии с ГСП (государственная система промышленных приборов) и предусматривает контроль и регулирование следующих параметров: температуры, давления, расхода теплоносителя. Приведена схема автоматизации и теплового контроля туннельной печи.

В четвертом разделе излагаются вопросы безопасного обслуживания туннельной печи. Приведены характеристики воздействий тепловых агрегатов на производственный персонал, оценка их техногенных воздействий (включая тепловое и взрывное) и мероприятия, обеспечивающие безопасность.

В приложениях к учебному пособию содержатся необходимая для технологических расчетов методика, техническая характеристика тепловых промышленных установок, основные параметры сушки строительных материалов и справочный материал.

Особенностью данного учебного пособия является комплексное решение вопросов проектирования, расчета и подбора оборудования, выбора технологии производства.

ВВЕДЕНИЕ

Задача учебного пособия – систематизировать, расширить и закрепить теоретические знания и практические навыки и реализовать их в проектной работе. Работа над проектом является заключительным этапом обучения будущего технолога-строителя.

Основные положения данного учебного пособия также могут быть использованы при изучении разделов ряда специальных дисциплин.

1. СОСТАВ И ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЕКТА

Проект состоит из пояснительной записки, выполненной в формате А4, и графической части, выполненной в формате А1-А2.

Пояснительную записку к проекту следует писать от руки на одной или обеих сторонах стандартного листа писчей бумаги. Допускается машинописное оформление текстового материала.

В состав пояснительной записки должны быть включены иллюстрации, схемы, выполняемые в соответствии с требованиями единой системы конструкторской документации (ЕСКД) на листах, соответствующих формату записки.

Схемы и описания алгоритмов расчетов на ЭВМ следует включать в состав пояснительной записки, а распечатки машинного счета нужно давать в приложении к ней.

Пояснительная записка должна иметь стандартный титульный лист, сквозную нумерацию страниц, включая все рисунки и схемы, четкую рубрикацию по частям и разделам, оглавление с указанием нумерации страниц всех частей и разделов, список использованных источников. Каждая часть пояснительной записки должна открываться соответствующим заголовком, а раздел – подзаголовком.

Графическая часть проекта (чертежи) выполняется на стандартных листах (формат А1-А2) при горизонтальном положении листа. Формат выбирают с учетом размеров проекций, размещаемых на чертежах, и стандартных масштабов их изображения. Желательно, чтобы все чертежи проекта выполнялись на листах одного формата. Исключение может быть сделано для листов с изображением плана основного цеха и генплана проектируемого объекта, где изменение рекомендованных НТД масштабов нежелательно, а пропуски осей – недопустимы.

Дополнительные рекомендации по оформлению чертежей, входящих в состав только дипломного проекта: чертежи должны иметь в правом нижнем углу основную надпись в соответствии с ЕСКД для графических материалов с подписями автора, консультантов по отдельным разделам, руководителя проекта, нормоконтролера и заведующего выпускающей кафедрой.

На листах с изображением фасада и генплана вместо стандартной основной надписи в правом нижнем углу могут быть сделаны соответствующие надписи архитектурным шрифтом.

Общий объем графической части курсового проекта – 1–2 листа формата А1, а дипломного проекта – 10–12 листов. Количество планов, разрезов, узлов и деталей должно быть таким, чтобы дать достаточно полное представление о расположении и взаимосвязи техноло-

гического и транспортного оборудования, об объёмно-планировочных и конструктивных решениях строительной части.

1.1. Задание

Для выполнения проекта современного предприятия по выпуску керамических строительных материалов различного функционального назначения (стенowych и кровельных изделий, элементов перекрытий, трубных и декоративно-защитных плиточных изделий и т.д.) необходимо в первую очередь иметь исчерпывающие данные для проектирования, которые задаются руководителем проекта в техническом задании (ТЗ) или приводятся в технико-экономическом обосновании (ТЭО), разрабатываемом заказчиком проекта:

- вид и категория выпускаемой продукции;
- номенклатура, ассортимент и качество выпускаемой продукции;
- проектная мощность предприятия;
- предполагаемое место строительства;
- наличие и характеристика сырьевых ресурсов. Специфика глинистого сырья, необходимые добавки (тип и количество);
- режимы сушки и обжига.

1.2. Выбор и обоснование способа производства

Если способ производства керамических стеновых материалов (изделий) указан в задании – пластическое, шликерное или полусухое формование – необходимо «внутри» каждого способа рассмотреть альтернативные варианты для достижения наиболее высокого качества материала (изделия), норм выработки и минимальных расходов сырьевых и энергетических ресурсов.

При отсутствии указания на конкретный способ производства необходимо проанализировать существующие способы и варианты производства конкретных материалов (изделий) с требуемыми качественными показателями применительно к имеющимся основным сырьевым материалам и привести аргументированные доводы в пользу того или иного способа производства:

- энерго- и трудозатраты на ед. продукции (на 1000 шт. кирпича или 1000 м² плитки или черепицы);
- металлоемкость оборудования, длительность производственного цикла;
- рациональное использование сырьевых материалов;

- возможность утилизации собственных отходов и отходов соседних (близлежащих) предприятий в качестве выгорающих, отощающих или пластифицирующих добавок, плавней и т.п.

Проектируемое предприятие должно быть обеспечено запасами сырья не менее, чем на 25 лет эксплуатации.

Строительство предприятий по производству кирпича и камней керамических должно осуществляться, как правило, вблизи месторождений глинистого сырья или предприятий, имеющих промышленные отходы, пригодные для производства изделий (угольные шахты).

1.3. Составление технологической схемы производства

После выбора конкретного способа производства следует приступить к составлению технологической схемы производства данного вида изделия с учетом особенностей этого способа и специфических требований, обусловленных качеством сырья, в первую очередь, глинистого.

При выполнении дипломного или курсового проекта следует ориентироваться на свойства рекомендуемого сырья и типовые схемы переработки.

Первоначально технологическая схема должна отражать основные этапы переработки всех компонентов:

- добыча глинистого сырья и легование;
- приемка из транспортных средств и хранение основного и вспомогательного сырья;
- подработка на подготовительном этапе; дробление, рыхление или помол, просев или фракционирование различными способами, выделение твердых и металлических включений;
- сушка в случае переувлажненного сырья, а при необходимости – разувлажнение путем смешивания с ранее высушенным сырьем или добавками;
- выбор ёмкостей для промежуточного хранения подработанных компонентов с учетом их влажности, сыпучести и склонности к самоуплотнению (слеживанию);
- дозирование и смешивание всех компонентов и последующее хранение (вылеживание) шихты для достижения равной влажности вне зависимости от фракционного состава;
- формование изделий с указанием способа резки и перекладки на сушильные или обжиговые вагонетки, возврат сушильных вагонеток и полок к автомату-укладчику свежееотформованного сырца;

- возврат в производство брака, образующегося на стадии формования, сушки и обжига;
- сушка сырца в камерных или туннельных сушилках;
- перекладка высушенного сырца с сушильных вагонеток на обжиговые при раздельном способе термообработки;
- обжиг с рециркуляцией теплоносителя и его повторным использованием в сушильных агрегатах или для других целей;
- пакетирование, складирование и отгрузка готовой продукции.

После выбора типа и расчета количества необходимого основного технологического оборудования в соответствии с особенностями сырья и производственной мощностью предприятия, а также с учетом эскизной проработки размещения оборудования по отделениям и цехам, его габаритов и способов загрузки (питатели, дозаторы), наличия тех или иных передающих транспортных средств (ленточных, пластинчатых и шнековых транспортеров или элеваторов, систем пневмотранспорта с устройствами осаждения и очистки) необходимо пересмотреть технологическую схему и внести соответствующие дополнения, то есть составить условно-контурную технологическую схему производства, которая и будет предоставлена на соответствующем листе графической части проекта.

Если в результате расчетов окажется целесообразным разделить производственный поток на несколько полностью или частично изолированных технологических линий, то на технологической схеме изображается только одна технологическая «нитка» от начала производства и до конца.

1.4. Режим работы предприятия

Режим работы предприятия по основным и вспомогательным участкам должен быть обоснован автором проекта.

Количество рабочих дней в году соответствует:

- 260 дней – пятидневной рабочей неделе;
- 305 дней – шестидневной рабочей неделе;
- 365 дней – семидневной рабочей неделе.

Продолжительность смены – 8 часов.

Пятидневная рабочая неделя рекомендуется для вспомогательных производств (ремонтно-механической мастерской, материальных складов и др.).

Шести- и семидневная рабочие недели – для основного производства (подготовительное, формовочное и сушильное отделения).

Для головного участка производства – обжига изделий – устанавливается непрерывный режим работы.

Рекомендуемый режим работы по основным технологическим периодам производства приведен в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Наименование отделений и переделов производства	Кол-во рабочих смен в сутки	Кол-во рабочих дней в году
1	2	3
Прием глинистого сырья: • в открытый глинозапасник (конус) • закрытый глинозапасник • подача добавок в производство	1–2 1–2 1–2–3	160–260 260–305 305–365
Отделение приготовления добавок: • прием сырья или добавок • обжиг	1–2–3 3	305–365 365
Отделение переработки сырья: • при наличии шихтозапасника • при отсутствии	1–2 2–3*	305 305–365
Шихтозапасник: • по загрузке • по выгрузке	1–2 2–3*	305 305–365
Формовочно-перегрузочное отделение: • формование сырца, укладка на сушильные вагонетки или на паллеты, перекладка высушенного сырца на печные вагонетки	2–3*	305–365
Печное отделение: • загрузка, выгрузка печей, обжиг • отделение пакетирования • ремонт печных вагонеток	3 2	365 305–365
Склад готовой продукции: • отгрузка готовой продукции • автотранспортом • железнодорожным транспортом	2 2–3**	305–365 305–365**

* Трехсменная работа допускается только для заводов с конвейерными сушильными агрегатами.

** Отгрузка готовой продукции на железнодорожный транспорт производится по мере подачи железнодорожных вагонов.

Так как, согласно «Временному руководству по проектированию предприятия», производственная мощность проектируемого предприятия определяется производительностью ведущего оборудования (в данном случае – обжигового агрегата), которое относится к установкам непрерывного действия и практически работает в течение года без остановки, за исключением времени на планово-предупредительный ремонт (ППР), то и фонд рабочего времени (ФРВ) ведущего оборудования определяется как

$$\text{ФРВ} = (365 - \text{ППР}) \cdot 3 \cdot 8, \quad (1.1)$$

где 3 – количество смен;

8 – продолжительность смены;

ППР – 10–15 суток.

В то же время практика показывает, что 3-сменная работа на всех остальных переделах (участках, реках) необязательна и даже нежелательна в связи с повышенной степенью травматизма и снижением норм выработки в ночные смены.

В связи с этим при наличии технологических возможностей следует проектировать работу подготовительных и формовочных отделений, а также работу склада готовой продукции и складов сырья рассчитывать на 2 или 1 смену.

При этом надо учитывать, что соответственно изменяется и фонд рабочего времени, что в свою очередь будет влиять на часовую потребность сырья и полуфабрикатов (глины и добавок, шихты и высушенного сырца), и это соответствующим образом должно быть учтено при подборе необходимого оборудования для этих переделов. Соответственно должны быть предусмотрены технологические и физические возможности для накопления задела при 1-2-сменной работе, особенно если предполагается пяти- или шестидневная рабочая неделя, который бы обеспечивал непрерывную 3-сменную работу как сушильного, так и обжигового отделений.

После проведения соответствующего анализа составляется таблица режимов работы каждого отделения с указанием объемов часовой выработки и пропускной способности в смену, сутки, месяц и год в соответствующих единицах.

1.5. Расчет производственной мощности проектируемого предприятия

Производственная мощность предприятия устанавливается на основании задания на проектирование, выдаваемого заказчиком с учетом запасов сырья и наличия топливно-энергетических ресурсов.

На основании выданного проектного задания с учетом запасов сырья и наличия топливно-энергетических ресурсов проводится определение производственной программы проектируемого предприятия и уже на основании этих данных производится расчет требуемого количества основного, вспомогательного и транспортного оборудования с учетом стандартных (усредненных) рецептур или данных, полученных в результате проведения научно-исследовательских работ (НИР) по испытанию конкретного сырья.

Производственная мощность предприятия выражается в единицах выпускаемой продукции переводом ее в условный кирпич нормального формата с габаритными размерами 250×120×65 мм, независимо от пустотности изделия. Для перевода выпускаемой продукции в условный кирпич следует пользоваться коэффициентами, приведенными в табл. 2.

Таблица 2

Вид изделия	Размеры, мм			Коэффициент перевода в усл. кирпич
	длина	ширина	толщина	
1. Кирпич	250	120	65	1,00
2. Кирпич утолщенный	250	120	88	1,35
3. Камень	250	120	136	2,12
4. Камень укрупненный	250	250	138	4,42
5. Камень с горизонтальным расположением пустот	250	200	120	3,85

В зависимости от заданной мощности и результатов испытания сырья для вновь проектируемых предприятий предусматриваются комплекты оборудования следующей производительности: 5, 10, 15, 30, 60 и 75 млн шт. условного кирпича в год.

При реконструкции, расширении или техническом перевооружении действующих производств в целом или реконструируемых отдельных переделов мощность определяется исходя из производительности головного участка – отделения обжига.

Производительность остальных производственных участков должна надежно и бесперебойно обеспечивать работу обжигового агрегата.

На основании рецептуры (состава) производится расчет материального баланса потребности всех составляющих компонентов и готовой продукции на заданные промежутки времени – год, месяц, сутки, смену, час.

1.6. Материальный баланс предприятия

Сырьем для производства керамических стеновых изделий служат природные глинистые и кремнеземистые, горные породы (трепелы, диатомиты, лессы и др.), побочные продукты промышленности – отходы углеобогащения, золы ТЭС, шлаки и др. Для корректировки технологических свойств керамической массы применяются органические и минеральные добавки.

Основные признаки классификации глинистого сырья для производства керамических изделий определяются ГОСТ 9169–75. Сырьё и способы производства из него определенных видов керамических стеновых изделий устанавливаются заданием.

Расход глинистого сырья. Ориентировочный расход сырья на производство керамических стеновых изделий следует принимать из расчета:

- 2,7 м³ на 1000 шт. условного полнотелого кирпича пластического прессования из вакуумированной массы без добавок;
- 2,5 м³ на 1000 шт. условного полнотелого кирпича пластического прессования из невакуумированной массы без добавок. Расход сырья указан в плотном теле.

При производстве пустотелых изделий расход сырья сокращается пропорционально их пустотности. При производстве керамических изделий с габаритами, отличными от габаритов условного кирпича, для определения расхода сырья производится пересчет выпускаемой продукции в условный кирпич (см. табл. 2).

Расчет потребного количества глинистого сырья при шихте без добавок B , м³, производится по формуле:

$$B = \frac{A \cdot C \cdot (100 - \Pi) \cdot 100}{(100 - K_1) \cdot (100 - K_2)}, \quad (1.2)$$

где A – производственная мощность в год, тыс. шт. условного кирпича;

C – расход сырья, м³ на 1000 шт. условного полнотелого кирпича (см. п. 6.4);

Π – пустотность изделий, %;

K_1 – отходы, получаемые при сушке и обжиге, %;

K_2 – отходы сырья при транспортировке, %.

Таблица 3

Наименование добавок	Кол-во, % (по объему)	Максимально допустимая фракция, мм
Отощающие добавки:		
• кварцевый песок	10–15	
• древесные опилки		
• лигнин, целлолигнин	5–15	1,5
• уносы керамзитового производства	5–10	
• дегидратированная глина	5–40 (в виде исключения)	
• шамот	–	–
– для полнотелых изделий	3–10	3,0
– для лицевых изделий	–	2,0
– для пустотелых изделий	–	1,5
• доменные и ваграночные шлаки	5–25	3,0
Топливосодержащие добавки:		
• уголь (тощий)	2–10	0,6
• золы ТЭС	10–75	0,6
• отходы угледобычи	10–25	0,6
Пластифицирующие добавки:		
• высокопластичная глина	5–20	В виде порошка или шликера 50–60 %-го
• бентонитовая глина	2–3	В виде водного раствора
Флюсующие добавки (плавни):		
• стеклобой	5–10	0,5
• пиритные огарки	5–10	1,0
Добавки, предотвращающие высо- лы на поверхности лицевых изде- лий:		
• углекислый барий	0,5–1	В виде водной суспензии или
• гидрат окиси бария	0,5–1	водного раствора

При возврате отходов сушки и обжига в производство K_1 из формулы исключается. При шихте с добавками производится расчет потребного количества глинистого сырья и добавок.

Расход добавок. Потребное количество добавок определяется в процессе испытания сырья и устанавливается в процентном отношении по объему от общего количества сырья. Для ориентировочных расчетов расхода добавок рекомендуется пользоваться данными табл.3 (для наиболее распространенных добавок).

В производстве кирпича следует максимально использовать местные промышленные отходы угольной, химической, металлургической, нефтяной промышленности, теплоэнергетики.

Расход воды. При низкой карьерной влажности сырья производится ступенчатое увлажнение массы с доведением её до заданной формовочной. Увлажнение производится до обработки на перерабатывающем оборудовании и перед формованием сырца. Ступенчатое увлажнение обеспечивает равномерное распределение влаги по общему объёму массы, повышает её однородность, улучшает пластические и прочностные свойства.

Расход воды на увлажнение массы с доведением её до формовочной определяется разностью между формовочной и карьерной влажностями.

Формовочная влажность массы колеблется в пределах:

- 16–23 % – относительная (19–30 % – абсолютная) – при пластическом формовании сырца.
- 8–12 % – относительная – при производстве изделий методом полусухого прессования.
- 12–15 % – относительная – при формовании изделий из жестких масс.

Приведем формулы для определения относительной $W_{\text{отн}}$ и абсолютной $W_{\text{абс}}$, %, влажности массы:

$$W_{\text{абс}} = \frac{(q_0 - q_1) \cdot 100}{q_1}; \quad (1.3)$$

$$W_{\text{отн}} = \frac{(q_0 - q_1) \cdot 100}{q_0}, \quad (1.4)$$

где q_0 – масса влажного сырца или изделия, кг;

q_1 – масса абсолютно сухого сырья или изделия, кг.

Для перевода абсолютной влажности в относительную и наоборот следует пользоваться формулами

$$W_{\text{отн}} = \frac{W_{\text{абс}} \cdot 100}{100 + W_{\text{абс}}}; \quad (1.5)$$

$$W_{\text{абс}} = \frac{W_{\text{отн}} \cdot 100}{100 - W_{\text{отн}}}. \quad (1.6)$$

При пластическом способе формования для ориентировочных расчетов расход воды на увлажнение массы следует принимать:

- 300–350 л на 1000 шт. условного полнотелого кирпича при одновременном пароувлажнении;
- 400–450 л на 1000 шт. условного полнотелого кирпича без пароувлажнения.

При производстве пустотелой продукции расход воды сокращается пропорционально пустотелости изделий. При других способах производства изделий – полусухой метод прессования или формование изделий из жестких масс – расход воды не рассчитывается. Расход воды при пароувлажнении массы снижается за счет конденсации пара, количество которого составляет 60–70 % от расхода пара (1 кг пара вносит в массу 600–700 г воды). Расход воды на орошение мундштука при безвакуумном формовании составляет 70 л на 1000 шт. условного кирпича. Для глинистых масс, высокочувствительных к сушке, рекомендуется масляное орошение мундштука. Расход масла составляет 0,3 л на 1000 шт. условного кирпича.

Расход пара. Увлажнение паром улучшает формовочные и сушильные свойства сырья. Прогрев массы паром осуществляется до температуры 35–40 °С перед прессом. Для прогрева массы используется пар с давлением 0,4–0,5 МПа. Расход пара для прогрева и частичного увлажнения глинистой массы на 1000 шт. условного полнотелого кирпича приведен в табл. 4.

При производстве пустотелой продукции расход пара сокращается пропорционально пустотности изделий.

Т а б л и ц а 4

Температура глинистого сырья, °С	0	5	10	15	20	25	30
Расход пара, кг	190	175	160	145	130	115	100

Расчет потребности энергоресурсов. В качестве топлива могут применяться природный газ любого месторождения, мазут, каменный уголь, электроэнергия. Топливом также являются углесодержащие отходы, используемые в качестве основного сырья или добавок, воды ТЭС, древесные опилки и другие органические добавки.

Расчет электроэнергии на 1000 шт. усл. полнотелого кирпича принимается 190 кВт·ч. Расход топлива (теплоты) на сушку и обжиг керамических изделий определяется на 1 т готовой продукции по результатам материального и теплового баланса соответствующих тепловых агрегатов. Для ориентировочных расчетов расход теплоты на испа-

рение 1 кг влаги при сушке сырца и сырьевых материалов приведен в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

№ п/п	Тип сушки	Расход теплоты, кДж/ на 1 кг испаренной влаги
1.	Сушка сырца в туннельной сушилке: <ul style="list-style-type: none"> • пластический способ формования • жесткий способ формования • полусухой способ прессования 	5000–5900 6300–7100 7500–8400
2.	Сушка сырья: <ul style="list-style-type: none"> • сушильный барабан • шахтная мельница 	5000–5800 8400–8800

Примечание: при сушке сырца в камерных сушилках расход теплоты увеличивается на 20–25 %.

Удельный расход условного топлива на обжиг 1 т готовой продукции в туннельной печи, работающей на природном газе, с учетом полной утилизации тепла на сушку, принимается ориентировочно 70 кг при содержании в шихте окислов магния и кальция ($\text{CaO} + \text{MgO}$) – 4 %, окиси алюминия (Al_2O_3) – 12 %.

Для приближенных расчетов теплотеря горячих газов при транспортировке их по металлическим изолированным трубопроводам теплотери принимать равными 836 кДж на 1 м² поверхности трубопроводов в час при температуре наружной поверхности изоляции, равной +45 °С.

При сушке глины в сушильном барабане влагосъем принимать в пределах 25–35 кг/м³ в зависимости от исходной влажности глины, причем верхний предел соответствует влажности глины более 25 %, нижний – менее 25 %. Горячий воздух, отбираемый из зоны охлаждения туннельных печей, вентилируемого межсводового пространства, простенок и подподового канала, необходимо утилизировать для сушки изделий. Отработанный сушильный агент необходимо утилизировать путем рециркуляции до 60 %.

1.7. Общие указания по проектированию предприятия

Технологическая схема производства разрабатывается в соответствии с регламентом, выданным научно-исследовательской организацией, проводившей испытание сырья. В дипломном или курсовом проектировании технологическая схема составляется на основании

дополнительных данных, выдаваемых руководителем, или данных, полученных в результате проведенных НИР (например, оптимальный состав шихты с применением глин нового месторождения или рекомендованной добавки, улучшающей технологические свойства сырьевой массы или эксплуатационные параметры готовой продукции).

Разработка проекта как нового производства, так и реконструкции существующих, должна осуществляться преимущественно с использованием типовых решений, разработок и комплексов передового отечественного оборудования, которые позволят выпускать конкурентоспособную продукцию при относительно небольших капитальных вложениях.

В зависимости от свойств сырья и требований, предъявляемых к готовой продукции, применяются конкретные технологические решения при подготовке исходного сырья, переработке шихты, формовании изделий, сушке и обжиге изделий.

Нормы рекомендуют следующие способы производства керамических стеновых изделий:

- пластический способ подготовки сырья с последующим пластическим или жестким способами формования сырца;
- полусухой способ подготовки сырья с последующим пластическим или жестким способами формования изделий;
- полусухой способ производства с формованием изделий методом прессования.

Внутри каждого из перечисленных способов существует несколько альтернативных вариантов компоновки оборудования в зависимости от многочисленных факторов: влажности, плотности и пластичности глинистого сырья, наличия и типа технологических добавок и т.п.

Склады сырья и добавок. Для приема и хранения сырья рекомендуется применять:

- открытый склад (конус) в случае сезонного режима работы карьера;
- закрытый склад (глинозапасник), как правило, блокируемый с основным производством.

Тип и емкость склада добавок должны определяться в зависимости от вида используемых добавок и их потребного количества. Золой ТЭС (сухого удаления) рекомендуется складировать в складах бункерного или силосного типа, шамот – в бункерах запаса на открытой площадке, склады угля и опилок организовывать под навесом.

Нормы запасов и складирования сырья, топлива, готовой продукции и материалов:

– запас сырья на холодный период года создается в виде конуса или глинозапасника вблизи производственного корпуса при удаленности

карьера на расстоянии более 3 км от промплощадки завода, при малой мощности полезного ископаемого или других особых условиях, препятствующих нормальному снабжению глиной в зимнее время;

– при круглогодичном режиме работы карьера для бесперебойного обеспечения производства сырьем в осенне-весенний и зимний периоды необходимо предусматривать теплый глинозапасник в составе производственного корпуса;

– для привозных глин и отходов промышленности, используемых в качестве добавок, предусматривать на промплощадке завода отдельно стоящий глинозапасник;

– нормы запасов сырья, добавок, топлива и готовой продукции следует принимать в соответствии с данными, приведенными в табл. 6;

– *отделение приема сырья*. Отделение предназначено для приема сырья, а также добавок, не требующих специальной подготовки (рыхления и дробления) и питания сырьем технологических линий.

Т а б л и ц а 6

Наименование	Норма запаса расчетных суток
Запас сырья и добавок: в конусе	90–180
В глинозапаснике в составе производственного корпуса	7–10
На открытой площадке	15–30
В силосах	5–15
Запас жидкого и твердого топлива	15
В приемных, и промежуточных бункерах (расчетные часы)	8–32
В таре	15–30

Отделение проектируется:

- как отдельно стоящее, крытое, соединяющееся с производственным корпусом конвейерной галереи;
- как встроенное в состав производственного корпуса.

Отделение оборудуется:

- глинорыхлителями для предварительного рыхления крупных и плотных кусков сырья;
- ящичными питателями с резиновой и пластинчатой лентой;
- бункерами запаса добавок с дозирующими устройствами.

Питатели ящичные с резиновой лентой применяются для приема добавок, не требующих подготовки (дробления и отсева). Питатели ящичные пластинчатые применяются для приема крупнокускового

(сухого) глинистого и др. сырья. Для каждого вида сырья и добавок устанавливается свой питатель.

Для увеличения емкости приемные бункера глинохранилищ и питателей могут наращиваться.

Отделение приготовления добавок. Отделение предназначено для приема добавок, измельчения их до заданного зернового состава и рассева. Добавки, не требующие дробления (золы ТЭС, опилки, песок и др.), подвергаются только просеву для отделения некондиции по размеру и посторонних (особенно металлических) включений.

Дробильно-сортировочное оборудование выбирается исходя из характеристики сырья, требований к готовому продукту, заданной производительности. В зависимости от требуемой крупности материала и размеров исходного сырья дробление производится в одну или две стадии. Для первичного грубого дробления пород высокой и средней прочности и абразивности (шамот, брак кирпича, отходы углеобогащения) применяются щековые, роторные, конусные дробилки. Для вторичного (мелкого) дробления в зависимости от требуемой крупности готовой продукции и физико-механических свойств дробимого материала применяются молотковые дробилки, шаровые и стержневые мельницы и др.

При повышенной влажности указанных пород во избежание замазывания колосников рекомендуется совместное дробление их с отходами, полученными при обжиге. При использовании в качестве отощающей добавки шамота и дегидратированной глины в отделении предусматривается оборудование для их получения (вращающиеся печи, холодильники и т.п.). Для рассева и классификации дробленого материала применяются грохоты барабанного, инерционного и вибрационного типа.

Подача материала на дробление осуществляется ленточными или пластинчатыми конвейерами. Подача материала на рассев осуществляется ленточными конвейерами, элеваторами.

Распределение фракционированного материала по бункерам запаса производится:

- ленточными, закрытыми конвейерами (абразивных материалов);
- конвейерами с погруженными скребками, конвейерами винтовыми (неабразивных пылящих материалов);
- пневмотранспортом (неабразивных пылящих материалов).

Выдача материала из бункеров в производство осуществляется питателями:

- дисковыми – для зернистых материалов;
- ленточными – для зернистых материалов;
- винтовыми – для порошковых материалов.

На бункерах запасов добавок устанавливаются указатели верхнего и нижнего уровней, сигнализирующие о наличии материала в бункерах.

Отделение подготовки сырья. Отделение предназначено для переработки сырья, разрушения его структуры, получения однородной по влажности и по составу массы с приданием ей надлежащих формовочных свойств.

В зависимости от природных свойств основное сырье условно классифицировано по требуемой интенсивности переработки на шесть разновидностей:

- глины рыхлые, малой пластичности, быстроразмокающие (лессы, лессовидные суглинки);
- глины средней плотности и пластичности (покровные суглинки);
- глины пластичные, вязкие, плотные, трудно размокающие в воде;
- глины плотные, аргиллитовые алевролитовые, сланцевые;
- глины, не размокающие или трудно размокающие в воде;
- глинистые сланцы, аргиллиты в природном виде или в виде отходов углеобогащения с наличием повышенного содержания карбонатных включений.

Переработка сырья при пластическом способе подготовки массы и пластическом формовании сырца включает в себя следующие операции:

- грубое измельчение сырья с выделением из него недробимых каменистых включений;
- подсушку сырья (при повышенной карьерной влажности);
- смешивание и растирание компонентов шихты с увлажнением массы;
- первичное измельчение шихты;
- вторичное тонкое измельчение шихты после вылеживания (при необходимости);
- дополнительное перемешивание массы с пароувлажнением.

Сухой способ подготовки сырья применяется в соответствии с регламентом, выданным исследовательской организацией, в случаях повышенного содержания карбонатных и других включений, а также при использовании сухого трудноразмокаемого глинистого сырья (аргиллитов, алевритов).

Подготовка сырья при сухом способе подготовки массы и последующем пластическом формовании включает следующие операции:

- дробление сырья;
- грубое измельчение глинистого сырья с выделением из него крупных включений;
- смешивание с добавками (при необходимости);

- сушка;
- измельчение сухой глины в порошок и просеивание;
- интенсивное увлажнение водой и паром глинистого порошка до требуемой формовочной влажности;
- пластическое формование.

Подготовка сырья при полусухом способе прессования изделий аналогична предыдущему способу подготовки сырья, но без дальнейшего увлажнения полученного глинистого порошка (возможна корректировка влажности порошка).

Рекомендуемые технологические схемы переработки глинистого сырья с приготовлением шихты в зависимости от свойств сырья и добавок даны в прил. 3.

Основное оборудование, используемое для переработки глинистого сырья:

- глинорыхлители – для первичного дробления;
- ящичные питатели – для равномерного и непрерывного питания сырьем перерабатывающего оборудования;
- вальцы камневыделительные, дезинтеграторные, дырчатые – для первичного измельчения сырья, выделения камней, растительных и других включений;
- сушилки барабанные для сушки переувлажненного сырья;
- двухвальные смесители без пароувлажнения и с пароувлажнением – для смешивания сырьевых компонентов;
- бегуны мокрого помола для измельчения и растирания плотной, медленно набухающей глины;
- глинорастиратели – для улучшения обработки глины, преимущественно при производстве пустотелой продукции;
- вальцы тонкого помола – для вторичного измельчения и дальнейшей обработки глинистой массы при наличии карбонатных включений в сырье;
- двухвальные смесители с фильтрующей решеткой для дополнительного перемешивания глиняной массы и выделения из сырья растительных включений и других отходов;
- молотковые (шахтные) мельницы с подачей теплоносителя для совместного помола и сушки глины;
- железоотделители – для извлечения металлических включений из сырья;
- стержневые мельницы – для помола плотных материалов;
- стержневые смесители – для обработки массы при полусухом способе прессования сырца.

Шихтозапасник. Вылѐживание переработанной массы рекомендуется с целью повышения качества готовой продукции при медленно набухающих глинах.

Для вылѐживания переработанной массы используются шихтозапасники:

- ямного типа, оснащенные загрузочным конвейером со сбрасывающей тележкой, многоковшовыми элеваторами на рельсовом ходу с управлением на ходу из кабины;
- силосного типа, совмещающие процесс вылеживания с паровым прогревом, что дает возможность получить массу высокого качества.

Шихтозапасники ямного типа проектируются в закрытом выгороженном помещении с соблюдением определенного температурно-влажностного режима ($t \geq 5^\circ\text{C}$; $W = 80\%$) с боковым ленточным остеклением, без общеобменной принудительной вентиляции. Ввиду возможности подсыхания в шихтозапаснике верхнего слоя переработанной шихты рекомендуются легкое поверхностное увлажнение и вторичная переработка массы перед прессом на вальцах тонкого помола. Силосные шихтозапасники устанавливаются перед прессами для создания запаса и обеспечения их ритмичной работы. Вторичной переработки массы в этом случае обычно не требуется.

Для определения запаса шихты в зависимости от типа шихтозапасника следует пользоваться табл. 7.

Т а б л и ц а 7

Тип шихтозапасника	Норма запаса
Шихтозапасники ямного типа (расчетные рабочие часы):	
• с загрузочным конвейером со сбрасывающей тележкой	7–14
• с загрузочными и разгрузочными самоходными мостами	7–14
Шихтозапасник силосного типа (расчетные рабочие часы):	
• с паропрогревом	4–8
• без паропрогрева	8–12

П р и м е ч а н и е: выбор шихтозапасника зависит от конкретных условий привязки проекта, наличия производственных площадей.

Формовочно-перегрузочное отделение

Формование сырца может производиться:

- пластическим способом (из масс с нормальной формовочной влажностью $W = 16\text{...}23\%$);
- жестким способом (из масс с пониженной формовочной влажностью $W = 12\text{...}16\%$);
- полусухим способом (из глинистых порошков с $W = 8\text{...}12\%$).

При пластическом способе формования изделий используются вакуумные прессы. Безвакуумные шнековые прессы используются как

исключение при формировании полнотелых изделий на заводах малой мощности.

Формовочно-перегрузочное отделение при пластическом способе формирования оснащается прессовым оборудованием с резательным устройством и комплексом оборудования, состоящим из автомата-укладчика для укладки сырца на сушильные вагонетки или паллеты системы передвижения сушильных вагонеток в сушильные камеры и доставки их после сушки к автомату-садчику для перекладки высушенного сырца на печные вагонетки.

Между автоматами-укладчиками и автоматами-садчиками предусматриваются пути накопления и возврата сушильных и печных вагонеток, обеспечивающих независимую работу этих автоматов, а также накопители реек, ремонт паллет – перед автоматами -укладчиками.

Формовочно-перегрузочное отделение при полусухом прессовании или пластическом жестком формировании оснащается прессовым оборудованием с резательным устройством (только для жесткого формирования), автоматом-садчиком для укладки сырца на печные вагонетки и системой специальных транспортных средств передвижения вагонеток (толкатели, лебедки и т.п.)

Сушильное отделение. Для сушки свежесформованных изделия применяются сушилки туннельного, камерного и конвейерного типов. Выбор того или иного типа сушилок обуславливается результатами испытаний и свойствами сырья, номенклатурой изделий, режимом сушки и другими предпосылками (прил. 2).

Туннельные сушилки (однозонные, многозонные и полунепрерывного действия) являются основным сушильным агрегатом. Камерные сушилки рекомендуется применять на заводах малой мощности при 1-2-сменной работе формовочного отделения и при высокочувствительной к сушке шихте.

Конвейерные сушилки рекомендуются при:

- сушке изделий с высокой прочностью;
- сроке сушки сырца не более 8 часов.

Режим сушки кирпича и керамических камней устанавливается при испытании сырья специализированными организациями.

В качестве агента сушки принимаются:

- при туннельных печах, работающих на природном газе – горячий воздух из зоны охлаждения межсводного пространства и отходящие дымовые газы, не засоренные сернистыми включениями и токсичными продуктами горения выгорающих добавок;

- при туннельных печах, работающих на жидком или твердом топливе – горячий воздух из зон охлаждения печей, межсводного про-

странства, горячий воздух из паровых калориферов, тепло- регенераторов и других источников, обеспечивающих сушку без примесей продуктов горения. При этом отходящие газы печей выбрасываются в атмосферу. В этом случае возможна запрессовка топлива и других топливосодержащих добавок в шихту;

- при реконструкции предприятий с кольцевыми печами, работающими на природном газе, без запрессовки топлива в шихту – отходящие дымовые газы и смесь наружного воздуха с продуктами сгорания природного газа в подтопках;

- при реконструкции предприятий с туннельными печами, работающими на твердом топливе, все действующие сушилки, работающие ранее на отходящих газах печей, должны быть переведены на сушку чистым воздухом, получаемым от калориферов или теплогенераторов.

Для более экономичного использования производственных площадей допускается оборудование сушилок (вентиляторы, калориферы, смесительные камеры, трубопроводы, коллекторы раздачи теплоносителя и т.п.) располагать на перекрытиях сушильных туннелей и камер. Для монтажа и демонтажа сушильного оборудования, размещенного на перекрытиях сушилок, необходимо предусмотреть установку ручных и электрических талей.

Отделение обжига

При проектировании нового предприятия для обжига изделий следует принимать туннельные печи унифицированного ряда, с шириной канала 2,5 – 4,7 – 7,0 м. Отделение оборудуется над участком загрузки и выгрузки краном подвесным электрическим для обеспечения монтажа механизированным способом.

При реконструкции и расширении цехов, оснащенных туннельными печами с каналом шириной 1,74; 2,0; 3,0 м, использование указанных агрегатов допускается при условии модернизации тепловой и аэродинамических схем (прил. 2).

Проектирование кольцевых печей и их применение для новых заводов любых мощностей запрещается. Исключение составляют кольцевые печи со съёмным покрытием при реконструкции действующих заводов и строительстве заводов малой мощности.

При отсутствии конкретных рекомендаций научно-исследовательской организации, проводившей испытания сырья по срокам обжига, принимать следующие сроки обжига:

- для полнотелой продукции – 48 часов;
- для пустотелой продукции – 40 часов.

При исчислении мощности печей их производительность принимается по выходу годной продукции за вычетом брака обжига

(до 2 %, см. табл.8). При проектировании необходимо предусматривать тепловую блокировку печей и сушилок с целью экономии топлива.

Утилизировать дымовые газы туннельных печей для нужд сушки возможно при соблюдении следующих условий:

- использование природного газа в качестве технологического топлива;
- отсутствие в топливе и сырье сернистых включений;
- отсутствие в продуктах горения пылеуносов;
- обеспечение требуемого начального влагосодержания при смешении продуктов горения с остальными источниками сушильного агента.

На площадках строительства печей и сушилок в северных районах страны, а также при высоком стоянии уровня грунтовых вод устройство подземных трубопроводов (боровов) для передачи горячих газов не применять (во избежание переувлажнения и повышения теплопотерь), а использовать верхнюю систему транспорта горячих газов металлическими теплоизолированными трубопроводами.

Отделение разгрузки и пакетирования готовой продукции. Отделение предназначено для запаса обожженной продукции на печных вагонетках, устанавливаемых после печей на путях запаса (при несоответствии режимов работы печного отделения и склада готовой продукции) на поддоны. Для разгрузки обожженной продукции с печных вагонеток и формирования транспортных пакетов применяются автоматы-пакетировщики.

Формирование транспортных пакетов кирпича и керамических камней производится на поддонах (деревянных, деревометаллических и металлических), соответствующих ГОСТу и другой нормативной документации. В зависимости от способа садки кирпича на печную вагонетку и типа автомата-пакетировщика пакет кирпича бывает плотный и разряженный.

Упаковка пакетов производится путем обвязки металлической лентой $b=16$ мм; $h = 0,5$ мм (ГОСТ 3560–73) (норма расхода – 80 п.м. на 1000 шт.); с помощью термоусадочной пленки $L=1,6$ м; $h = 0,15$ мм (ГОСТ 25951–83) (норма расхода – 2,6 кг на 1000 шт.); плотные пакеты упаковывают обвязкой металлической лентой или в термоусадочную пленку.

На реконструируемых кирпичных заводах как временное решение возможна ручная разгрузка печных вагонеток с перекладкой обожженной продукции на поддоны с возможностью последующей установки

автоматов-пакетировщиков в отделении. Для частичной механизации этого передела предусматриваются:

- подвесные электрические краны с управлением с пола для перемещения груженых поддонов от мест укладки к краю рампы;
- специализированные средства для перемещения печных вагонеток к постам разгрузки;
- самоходные тележки и электропогрузчики для вывоза груженых поддонов на склад.

Склад готовой продукции

На 1 квадратный метр площади склада готовой продукции укладывается:

- 200–240 шт. усл. кирпича при укладке поддонов с готовой продукцией в 1 ярус;
- 400–480 шт. усл. кирпича при укладке поддонов с готовой продукцией в 2 яруса.

Площадь склада готовой продукции рассчитывается с учетом следующих коэффициентов:

- при обслуживании склада погрузчиками автотранспорта $K = 1,3$;
- при обслуживании склада козловым краном, погрузчиком и автотранспортом $K = 1,7$.

Нормы использования и хранения отходов

Потери сырья, топлива и отходы производства не должны превышать величин, приведенных в табл. 8.

Т а б л и ц а 8

Наименование материала	Величина, %
Потери сырья при транспортировке по переделам производства	1,0
Отходы при сушке сырца	3,0
Отходы при обжиге	2,0
Потери твердого топлива при хранении на складе и транспортировке в производство	1,0

Отходы, получаемые при сушке, ленточными конвейерами транспортируются в бункер отходов и периодически вывозятся в конус или карьер, возвращаясь в производство вместе с глинистым сырьем. Отходы, получаемые при обжиге, могут перерабатываться в отделении приготовления добавок и использоваться как добавка сырья или отпущаться потребителю с готовой продукцией без разбраковки, соответственно с учетом нормативного количества отходов обжига. Пыль, уносимая из тепловых агрегатов и мельниц после улавливания, должна возвращаться в производство.

Отделение ремонта печных вагонеток. Отделение располагается в печном отделении и предназначено для смены и ремонта футеровки, металлоконструкций и ходовой части вагонеток. Отделение оборудуется механизмами для подъема и опускания вагонеток, необходимым набором станков для их ремонта и подвесным грузоподъемным оборудованием. Для складирования готовой продукции проектируется открытая площадка, оборудованная необходимым подъемно-транспортным оборудованием. Все операции по разгрузке, перемещению к месту погрузки готовой продукции на транспорт должны быть механизированы. Склад оборудуется козловыми кранами, погрузчиками для погрузки готовой продукции в авто- и железнодорожный транспорт. Кирпич и камни керамические складываются на поддонах в 1-2 яруса по высоте.

Подача поддонов с готовой продукцией к транспорту может производиться кранами с помощью траверс или подхватов-футляров, рассчитанных на одновременное транспортирование двух груженых поддонов, а также погрузчиками.

1.8. Выбор и расчет количества основного технологического оборудования

При выборе основного технологического оборудования в первую очередь следует руководствоваться принципом использования самого современного парка машин или установок для каждого из требуемых переделов. При проектировании предприятий небольшой производительности (до 10–15 млн шт. условного кирпича в год) следует предусматривать одну технологическую линию. При проектировании предприятий большей мощности целесообразно разделить производство на две и более технологические линии, которые могут работать независимо друг от друга и при этом выпускать как одноименную, так и разноименную продукцию.

На основании существующих каталогов специализированного оборудования и других апробированных источников информации следует выбрать несколько конкурентоспособных марок машин или установок и произвести их технико-экономическое сравнение по следующим параметрам:

- энергоемкость произведенной продукции (установленная мощность токоприемников, приходящаяся на ед. продукции – в данном случае на 1000 шт. усл. кирпича в час);
- металлоемкость оборудования (масса оборудования, приходящаяся на 1000 шт. усл. кирпича в час).

Также следует принимать во внимание отзывы производителей о работе уже установленного и апробированного на практике аналогичного оборудования, его надежности, о качестве получаемой продукции.

Особое внимание следует обратить на погрузочно-разгрузочные операции, при выполнении которых степень механизации и автоматизации невелика, что приводит к увеличению трудозатрат и снижению показателей по всему производству.

Номинальный годовой фонд рабочего времени оборудования T_r , ч, определяется по формуле

$$T_r = N \cdot n \cdot t, \quad (1.7)$$

где N – количество рабочих дней в году;

n – количество рабочих смен в сутки;

t – продолжительность рабочей смены, ч.

Расчетное рабочее время оборудования в год T_p , ч, определяется по формуле

$$T_p = T_r \cdot K_{\text{ти}}, \quad (1.8)$$

где $K_{\text{ти}}$ – коэффициент технического использования, равный

$$K_{\text{ти}} = K_1 \cdot K_2, \quad (1.9)$$

где K_1 – коэффициент использования внутрисменного времени работы технологического оборудования, предусматривающий потери времени на чистку, смазку, наладку оборудования, внутрисменные потери времени по передаче смены и уборке рабочего места.

$K_1 = 0,9$ при трехсменной работе оборудования;

$K_2 = 0,97$ при двухсменной работе оборудования с учетом планово-предупредительного ремонта;

$K_1 = 0,93$ при прерывной работе оборудования 305 дней в году;

$K_2 = 0,9$ при непрерывной работе оборудования 365 дней в году.

При расчетах, не учитывающих простои оборудования, перебои в подаче сырья, отсутствие топлива, электроэнергии, недостаток рабочей силы и другие организационные потери, коэффициент использования тепловых агрегатов к плановому времени работы этих агрегатов соответствует 0,95.

Расчетная часовая производительность технологических линий $Q_{\text{час}}$, шт./ч.(т/ч), и отдельных переделов производства, ограниченных буферными емкостями, обеспечивающих независимую работу смеж-

ных переделов на определенный период времени, определяется по формуле

$$Q_{\text{час}} = Q_{\text{п}} \cdot K_{\text{тн}} \cdot K_{\text{гн}}, \quad (1.10)$$

где $Q_{\text{п}}$ – паспортная часовая производительность оборудования в шт. или т (для расчета принимается наименее производительная машина или механизм в технологической линии);

$K_{\text{тн}}$ – коэффициент технического использования оборудования;

$K_{\text{гн}}$ – коэффициент готовности оборудования данного участка, равный произведению коэффициента готовности всех машин, входящих в состав линии (табл. 9).

$$K_{\text{гн}} = K_{\text{г1}} \cdot K_{\text{г2}} \cdot \dots \cdot K_{\text{гn}}. \quad (1.11)$$

Т а б л и ц а 9

№ п\п	Наименование оборудования	Коэффициент готовности оборудования $K_{\text{г}}$
1	2	3
1	Глинорыхлитель	0,97
2	Питатель ящичный с пластинчатой лентой	0,985
3	Питатель ящичный с резиновой лентой	0,985
4	Вальцы дезинтеграторные	0,97
5	Вальцы камневыделительные	0,97
6	Вальцы дырчатые	0,97
7	Вальцы грубого помола	0,97
8	Вальцы тонкого помола	0,97
9	Бегуны мокрого помола	0,97
10	Смеситель двухвальный	0,97
11	Смеситель с фильтрующей решеткой	0,97
12	Мост загрузочный	0,97
13	Мост загрузочный с экскаватором	0,95
14	Пресс шнековый вакуумный	0,97
15	Пресс полусухого прессования	0,97
16	Автомат-укладчик	0,97
17	Автомат-садчик	0,97
18	Автомат-пакетировщик	0,97
19	Толкатели, передаточные тележки	0,985
20	Конвейер ленточный	0,985
21	Конвейер пластинчатый	0,985
22	Элеватор ленточный	0,985
23	Питатели, дозаторы	0,99

1	2	3
24	Шаровые мельницы	0,97
25	Дробилки, грохоты	0,97
26	Вращающиеся печи	0,97
27	Сушильные барабаны	0,97
28	Шахтные печи	0,97

С целью достижения максимальных значение $K_{\text{гy}}$ рекомендуется устройство в технологической линии промежуточных буферных емкостей (создание независимых участков).

Количество принимаемых технологических линий Π для обеспечения годовой производительности вычисляется по формуле

$$\Pi = \frac{Q_{\text{г}}}{Q_{\text{час}} \cdot T_{\text{p}}}, \quad (1.12)$$

где $Q_{\text{г}}$ – годовая производительность, шт. (т);

$Q_{\text{час}}$ – производительность основного оборудования на данном технологическом переделе;

T_{p} – расчетное время технологических переделов в час, определяемое по формуле (1.8).

Формулы для расчёта производства строительной стеновой керамики пластическим способом представлены в прил. 1.

1.9. Автоматизация технологических процессов.

Уровень автоматизации и механизации

Проектирование автоматизации производств должно осуществляться в соответствии с требованиями «Временных указаний по проектированию систем автоматизации технологических процессов», «Общепромышленных руководящих методических материалов по созданию и применению автоматизированных систем управления технологическими процессами в отраслях промышленности (ОРММ-2аСУТП)», «Указаний по проектированию силового электрооборудования промышленных предприятий» и инструкций и норм головных организаций ГНИ Проектавтоматика и Тяжпромэлектропроект.

Уровень автоматизации производства, представляющий собой отношение количества автоматизированного и полуавтоматизированного оборудования к общему количеству единиц установленного оборудования, должен быть не менее:

- 60–90 % – для заводов, оснащённых комплексными технологическими линиями производительностью 30 млн шт. усл. кирпича в год и выше;

- 70–80 % – для всех остальных производств.

Автоматизация технологических процессов производства глиняного кирпича и керамических камней должна включать следующие системы:

- систему управления и контроля работы технологического оборудования, включая аспирационное;

- систему контроля, регулирования и сигнализации технологических параметров.

Вся технологическая цепочка производства керамического кирпича разбивается на отдельные участки, которые могут функционировать изолированно и могут быть остановлены (постоянно или временно) без ущерба для работы всего технологического процесса. Такие участки (отделения) совмещаются отдельными группами как для осуществления производственного процесса в соответствии с заданной программой, так и для остановки процесса в случае создания аварийной ситуации по техническим причинам или при угрозе жизнеобеспечения обслуживающего персонала.

1.10. Архитектурно-строительная часть

Графическая часть данного раздела выполняется на формате А1 при следующем распределении:

- план цеха (или блока цехов) (М 1:100, 1:200), совмещенный с одним продольным разрезом или двумя поперечными;

- второй продольный разрез (М 1:100, 1:200), совмещенный с другими двумя-тремя разрезами или фрагментами разрезов;

- генеральный план завода (М 1:500, 1:1000) с розой ветров соответствующего района строительства, экспликацией зданий и сооружений и техническими данными генплана.

Проектирование производственных зданий. К производственным зданиям, вне зависимости от их назначения, предъявляется комплекс функциональных, технических, архитектурно-художественных, экологических и экономических требований.

В соответствии с назначением производственных зданий практически в любой отрасли или подотрасли промышленности можно вычленить два основных типа зданий:

- для размещения основных цехов, переделов и отделений;

- для размещения подсобно-производственных, транспортных, складских и энергетических служб.

Функциональные требования заключаются в том, что объемно-планировочные и конструктивные решения зданий и сооружений должны обеспечивать наилучшие условия для организации в нем технологического процесса. При этом следует учитывать возможность расширения, технического перевооружения производства. Кроме того, в здании должны быть созданы безопасные, комфортные или близкие к комфортным условия работы человека – участника производственного процесса.

Технические требования предусматривают обеспечение достаточных характеристик прочности, устойчивости, изолирующей способности, долговечности, огнестойкости здания в целом, его конструктивных элементов и сопряжений. При этом должны учитываться климатические, геологические и другие местные условия, а также параметры внутренней среды в здании, ремонтпригодность конструктивных элементов здания.

Экологические требования имеют постоянную и обоснованную тенденцию к ужесточению – современный промышленный объект должен обеспечивать рациональное использование природных ресурсов (безотходные и малоотходные технологии), сохранение сельскохозяйственных и лесных угодий, естественного природного ландшафта, минимальное, строго регламентированное загрязнение водного и воздушного бассейнов.

Экономические требования, предъявляемые к производственному зданию, предусматривают оптимизацию затрат на строительство и эксплуатацию здания, применение индустриальных методов возведения, максимальное использование сборных элементов полной заводской готовности.

Классификация зданий. Производственные здания и сооружения подразделяются по количеству этажей (одно- и многоэтажные), по степени пожароопасности и огнестойкости (как здания целиком, так и отдельные его части или отделения).

Одноэтажные здания (на долю которых приходится 70–75 % площади всех промышленных производств) имеют следующие достоинства:

- относительная простота конструкции и возведения;
- возможность размещать крупногабаритное и тяжелое оборудование;
- использование мостовых кранов большой грузоподъемности;

- передача на естественное основание неограниченных технологических нагрузок, включая и динамические;
- относительная простота организации естественного освещения и аэрации;
- лучшие условия (по сравнению с многоэтажными зданиями) эвакуации.

К недостаткам одноэтажных зданий относятся:

- большая площадь застройки;
- большая площадь наружных ограждающих конструкций;
- ограниченные возможности архитектурно-художественных решений.

Предоставляет интерес использование пространства ниже так называемой «нулевой отметки», т.е. подвальные этажи или приямки, что также может способствовать сокращению площади застройки и более рациональному расположению технологического и транспортного оборудования. Ограничением использования подземного пространства может служить только высокий уровень грунтовых вод, что определяется гидрогеологией места строительства.

Производственные здания также подразделяются на павильонные (отдельностоящие) и сблокированные (сплошной застройки). Последние позволяют сократить площадь территории предприятия, ограждающих конструкций, протяженность как межцеховых, так и внутрицеховых транспортных и энергокоммуникаций.

Зонирование производственных зданий. Зонирование предполагает рациональную группировку и размещение в пределах объёма производственного здания помещений, участков зон в соответствии с функционально-технологическими признаками, составом и уровнем производственных вредностей, характеристиками внутрицеховой среды, степенью пожарной и взрывной опасности производства, размещением рабочих мест, величиной и направленностью транспортного потока, перспектив расширения, переоснащения каждого конкретного помещения, участка, зоны.

По степени огнестойкости здания подразделяются на 5 категорий. В соответствии с уровнем взрыво- и пожарной безопасности все помещения разделяются на 5 категорий (табл. 10).

Функциональная или производственная (условно-контурная) технологическая схема, отражающая состав, последовательность, взаимосвязь технологических операций, направление перемещения сырья, полупродуктов, комплектующих изделий, материалов и готовой продукции, является основой для разработки архитектурно-строительной части проекта.

Таблица 10

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа. Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа
Б	Горючие пыли и волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С и горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа
В	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие материалы, в том числе пыли и волокна, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и друг с другом только гореть при условии, что помещения, в которых они имеются, не относятся к категории А или Б
Г	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
Д	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии

Выбор объемно-планировочных и конструктивных решений

Объемно-планировочное решение производственного здания должно учитывать как существующее технологическое решение процесса (производства), так и тенденции развития и совершенствования производства изготавливаемого изделия или материала, которое характеризуется высокими темпами обновления технологии, значительно опережающими темпы физического износа оборудования и зданий.

Для принятия объемно-планировочного решения производственного здания необходимо учитывать следующие факторы:

- особенности технологического процесса, включая перспективы его совершенствования при реконструкции, расширения или технического перевооружения производства;

- характеристики используемого внутри цеха и для внешних связей подъемно-транспортного оборудования, системы инженерно-технического обеспечения;
- особенности района и участка строительства, его площадь, рельеф, гидрогеологические условия;
- целесообразность блокирования с производственными цехами глино-, шихтозапасников и других вспомогательных и обслуживающих подразделений.

Внутреннее пространство здания следует по возможности оставлять свободным от опор, капитальных стен и перегородок, предоставляя возможность для развития, трансформации производства.

Каркас промышленного здания. Железобетонные каркасы одноэтажных производственных зданий проектируют как плоскостные стоечно-балочные системы, монтируемые из сборных железобетонных элементов заводского изготовления. Они должны обладать необходимой прочностью и пространственной устойчивостью.

Пролетная (пролет – 12, 18, 24 и 36 м, шаг колонн – 6 и 12 м) или ячейковая структура (12×12, 24×24, 36×36, 48×48м) большинства производственных зданий предопределяет простую, как правило, прямоугольную форму плана.

Использование типовых элементов несущих и ограждающих конструкций (железобетонных, металлических, асбестоцементных, трехслойных) позволит сформировать производственное здание в виде четкого прямоугольника с оптимальным соотношением длины к ширине от 1:1 до 1:5.

Предельная длина температурного блока зависит от температурных условий внутри и вне здания, но она должна быть не более 72 м, а ширина в поперечном направлении – не более 144 м.

На чертежах должна быть четко выявлена конструктивная структура здания или сооружения. Подземные части – подвалы, приямки, каналы и туннели – должны быть обязательно изображены на основных разрезах. Желательно, чтобы сблокированные цеха или участки были равновысокими, но если технология или экономические соображения требуют разновысоких пролетов или отделений, то перепад высот следует использовать для организации естественного освещения через вертикальные световые проемы, которые более просты, экономичны и удобны в эксплуатации.

Ограждающие конструкции. Факторы, определяющие выбор конструкции стен. Конструктивное решение наружных стен определяется характером возложенных на них функций как несущего элемен-

та здания, ограждающего элемента и архитектурно-художественного элемента, формирующего внешний облик здания.

Снижение веса ограждающих конструкций на стадии проектирования в большинстве случаев преследует цель снижения нагрузки на фундаменты, сокращение транспортных издержек и сокращение сроков строительно-монтажных работ.

Целесообразно проведение на стадии предварительного проектирования вариантного сравнения различных конструктивных решений, как типовых, так и оригинальных, которые не получили достаточно широкого распространения, но отвечают современным требованиям с точки зрения эффективной теплозащиты в соответствии с новыми требованиями СНиП «Строительная теплотехника»: железобетонные и керамзитобетонные панели одно- и многослойные, сэндвич-панели с использованием алюминия, асбестоцементных листов, цементно-стружечных плит, стеклопластиков в сочетании с минеральными и полимерными теплоизоляционными материалами.

Виды покрытий. Конструкция покрытия определяется его профилем, заданными теплозащитными качествами, материалами, используемыми в качестве несущего его основания и кровли, а также способом отвода атмосферных вод. Кроме того, следует учитывать степень взрыво- и пожароопасности технологического процесса и предусматривать меры по снижению последствий от возможных аварийных ситуаций.

Оконные проемы и фонари. Размещение и размеры световых проемов, конструкция их заполнения должны быть подтверждены расчетам естественной освещенности в соответствии с нормативными требованиями. В записке следует привести расчетные данные графика К.Е.О. для верхнего, бокового или комбинированного освещения.

Оконные проемы в вертикальных ограждающих конструкциях (наружных стенах) принимаются с учетом требуемого К.Е.О. и с учетом того факта, что боковое освещение действует только на глубину до 12 м. Таким образом, при ширине пролета более 12 м требуется применение дополнительного верхнего освещения. В средних же пролётах освещение осуществляется только за счет фонарей, расположенных на кровле.

В зависимости от требований технологического регламента степень освещенности на различных рабочих местах может быть различна, что позволяет изменять (уменьшать или увеличивать) площадь остекления по длине здания.

Фонари, устанавливаемые на перекрытиях производственных зданий, по своему назначению бывают световыми, светоаэрационными и

аэрационными. Световые фонари предназначаются только для освещения помещений естественным светом в соответствии с заданным коэффициентом освещенности рабочих мест.

Производственный технологический транспорт, коммуникации и системы жизнеобеспечения.

В современных производственных зданиях для нормального ведения технологического процесса и обеспечения приемлемых условий труда предусматриваются соответствующие системы транспорта, включая производственный, грузовой, а при необходимости и пассажирский транспорт, системы отопления, вентиляции (местной и общеобменной), водоснабжения, канализации, энергоснабжения, пожаротушения и т.д.

Планировочные решения практически всех производственных процессов в значительной степени зависят от рациональной организации подъемно-транспортных операций.

Принципы формирования генеральных планов

Зонирование территории. Промышленные предприятия размещаются в соответствии со схемой районной планировки и генеральным планом населенного пункта, как правило, в составе промышленных узлов или районов, что позволяет наиболее эффективно на кооперативной основе использовать подсобно-производственные, складские, энергетические, административно-бытовые и другие общеузловые объекты. Однако это не исключает и строительства отдельных производственных объектов и предприятий вне промышленных районов.

Промышленное предприятие следует размещать на земельных участках, имеющих наименьшую ценность для сельского лесного хозяйства, по возможности сохраняя естественный ландшафт и существующие зеленые насаждения, максимально используя последние при благоустройстве территории предприятия.

Объекты, являющиеся источником загрязнения атмосферного воздуха, должны размещаться с подветренной стороны по отношению к жилой застройке и другим, более «чистым» промышленным объектам.

Размещение административно-бытовых объектов на территории предприятия подчинено общей схеме зонирования и преследует цель: сократить нерациональные затраты времени трудящихся на перемещения между помещениями обслуживания и рабочими местами, и в то же время обеспечить высокий уровень обслуживания в комфортных условиях при сокращении затрат на строительство и эксплуатацию зданий и помещений. Административно-бытовые помещения, как правило, следует располагать с наветренной стороны по отношению к производственным, с выходом на городскую магистраль.

Технико-экономическая оценка генерального плана промышленного предприятия. Критерии оценки генерального плана промышленного предприятия должны стимулировать рациональное, экономное использование территории.

Единственным показателем, регламентированным действующими нормами проектирования генплана промышленного предприятия (СНиП 11-89–80), является плотность застройки, выраженная коэффициентом K_3 :

$$K_3 = (A_3/A_{\text{п}}) \cdot 100, \quad (1.13)$$

где K_3 – коэффициент застройки;

A_3 – площадь застройки;

$A_{\text{п}}$ – площадь промышленного предприятия.

Площадь застройки A_3 включает:

- площади, занятые всеми зданиями и сооружениями, измеренными по внешнему контуру наружных стен на уровне планировочной отметки земли;
- площадь проекции на горизонтальную поверхность тех надземных галерей и эстакад, под которыми не могут быть размещены другие здания и сооружения;
- площади, занимаемые подземными резервуарами, погребами, тоннелями, убежищами, над которыми не могут быть размещены наземные здания и сооружения;
- площади, занятые навесами, погрузочно-разгрузочными устройствами, открытые стоянки технологического транспорта;
- площади, зарезервированные для размещения перечисленных выше объектов.

Площадь предприятия $A_{\text{п}}$ включает всю территорию предприятия в ограде или при отсутствии ограды в соответствующих ей условных границах, как правило, по внешнему контуру зданий, расположенных по периметру площадки предприятия, а также участок, занятый веером железнодорожных путей, относящихся к промышленному предприятию, но расположенных за его пределами.

1.11. Себестоимость продукции и производительность труда

Нормативы себестоимости кирпича и камней керамических и производительности труда предназначены для сравнения с проектными (расчетными) показателями себестоимости продукции. Производительность труда заводов керамических стеновых материалов в целях

оценки экономичности принятых проектных решений и технического уровня при строительстве заводов приведена в табл. 11. Нормативы разработаны применительно к базовым условиям строительства: 1-й территориальный пояс стоимости строительно-монтажных работ, 2-й климатический район, 1-я зона стоимости оборудования.

Т а б л и ц а 1 1

Показатели	Единица измерения	Мощность завода, млн шт. усл. кирпича в год		
		75	30	30
		пластический способ формования		полусухой способ прессования
1. Годовой выпуск продукции – кирпич и камни керамические ГОСТ 530–80 ГОСТ 7480–78	млн шт. усл. кирпича	75,0	30,0	30,0
2. Полная себестоимость ед. продукции, руб.*	1000 шт. усл. кирпича	50,0	69,0	59,0
3. Общая численность:	чел.	205	132	135
– работающих		170	107	110
– рабочих		42	37	40
Из них – рабочих основного производства				
4. Годовая выработка:	тыс. шт.	366	227	22
– на 1 работающего		440	280	273
– на 1 рабочего основного производства		1785	810	750

П р и м е ч а н и е : * – в ценах 1990 года.

Стоимость сырья, материалов и топливно-энергетических ресурсов для расчетов себестоимости 1000 шт. усл. кирпича приводится по прейскурантам Московской области.

При применении технико-экономических показателей (норм) для разработки проектов на строительство новых, реконструкцию и расширение действующих предприятий и сооружений, а также для оценки полученных в проектах технико-экономических показателей следует учитывать соответствие условий проектируемого производства принятым нормам (природные климатические условия, условия привязки проекта, качественные характеристики сырья и готовой продукции, масштабы производства, степень специализации, режим работы и др.)

Абсолютные показатели выработки продукции на производствах керамического кирпича (паспорт предприятия):

- годовой выпуск, млн шт. усл. кирпича;
- число рабочих (общее количество и основного производства);
- средняя производительность прессов, шт./ч;
- выработка одного рабочего, шт./год;
- съём продукции с 1 м³ канала печи;
- продолжительность сушки в сушилах, ч;
- продолжительность обжига, ч;
- себестоимость 1000 шт. усл. кирпича;
- энерговооруженность, кВт/чел.

1.12. Контроль технологических процессов и качества готовой продукции

Для достижения выпуска качественной продукции необходимо предусмотреть систему контроля качества на всех уровнях технологического процесса, а именно организовать:

- систему входного контроля;
- систему пооперационного контроля;
- систему выходного контроля.

Для этого на всех уровнях предусматривается наличие ответственного за проведение того или иного испытания (или контроля за тем или иным параметром процесса), устанавливается периодичность контроля и определенная материальная (метрологическая) база для осуществления этого контроля.

Все эти параметры закладываются в соответствующий раздел технологической карты.

2. ОПИСАНИЕ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ СУШКИ И ОБЖИГА КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

2.1. Сушка керамических изделий

Сушкой называется процесс удаления из твердых материалов содержащейся в ней влаги за счет ее испарения и удаления образовавшихся паров с поверхности тела в окружающую среду. Для этого к влажному телу, то есть кирпичу сырцу, необходим подвод тепла при условии, что давление водяных паров у поверхности тела больше давления водяных паров в окружающей среде.

Для каждого материала и изделия устанавливается определенный режим сушки, то есть допустимые интенсивность сушки, температура материала, температура и относительная влажность сушильного агента и теплоносителя, скорость его движения у материала и изменение указанных параметров в различные периоды процесса сушки.

Сушить песок можно при любых температурах и скоростях удаления влаги. Сушить комовую глину и топливо можно при любых скоростях удаления влаги, но температура нагрева этих материалов ограничивается. Так, глина при температуре выше 400 °С теряет пластичность, а в топливе выше 150–200 °С начинается возгонка горючих продуктов.

Растрескивание глины при сушке, вследствие усадки и возникающих усадочных напряжений, ускоряет выделение влаги. Сушка керамических изделий требует определенного режима, как в отношении допускаемых безопасных скоростей сушки, так и температуры нагрева изделий.

Таким образом, теория сушки должна рассматривать не только вопросы статики сушки – материальный и тепловой балансы сушки, миграцию влаги в материале, законы тепло- и массообмена в зависимости от связи влаги с материалом, но и поведение изделий при сушке, связанное с усадочными напряжениями и максимально допускаемыми скоростями сушки.

Только при комплексном рассмотрении вопросов теории сушки возможно устанавливать оптимальные режимы сушки, при которых изделия будут высыхать в кратчайшие сроки и иметь высокое качество.

2.1.1. Процесс сушки керамических изделий

Процесс сушки сопровождается изменением веса материала во времени вследствие удаления из него влаги. Зная начальную влажность и вес материала, можно выразить графически изменение влажности по времени $w = f(\tau)$, то есть построить кривую сушки, изображенную на рис. 1 (кривая 1). По кривой сушки можно построить кривую изменения влажности материала в единицу времени, то есть кривую скорости сушки ω_m (кривая 2).

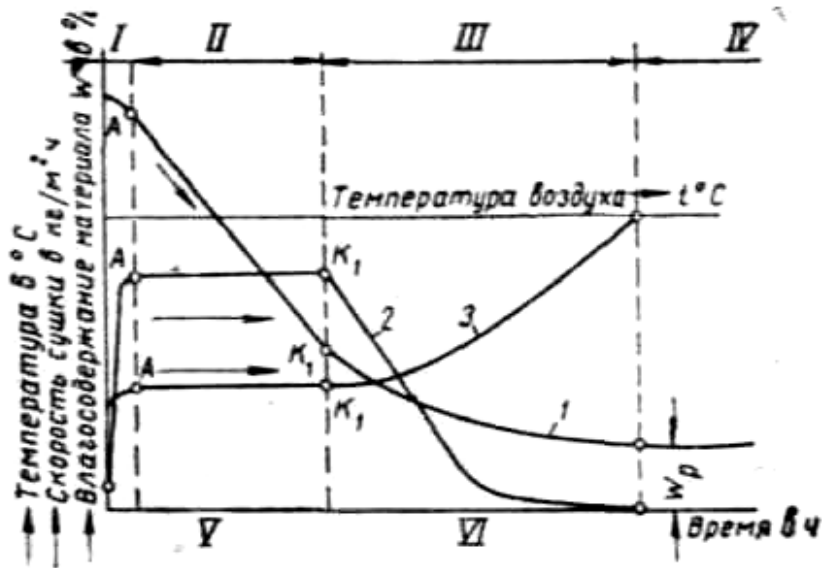


Рис. 1. Схема изменения во времени влажности (1), скорости сушки (2) и температуры (3) материала:

I – период прогрева; II – период постоянной скорости сушки; III – период падающей скорости сушки; IV – период равновесного состояния; V – период влажного состояния; VI – период гигроскопического состояния материала

При сушке керамических материалов влага испаряется в основном с поверхности, а поэтому концентрация влаги в середине материала остается большей, чем у его поверхности. Вследствие возникновения перепада (градиента) влажности или концентрации влаги она перемещается из места с большей концентрацией к месту с меньшей концентрацией, то есть из середины тела к поверхности его.

Механизм и скорость перемещения влаги зависят от ряда факторов: формы связи влаги с материалом, его строения, температуры и влажности, а также пористости материала и других его свойств. Экспериментально установлено, что чем выше температура, влажность тела и давление пара внутри него, тем скорость сушки больше.

Процесс сушки керамических изделий можно разделить на следующие основные периоды:

1. *Период прогрева.* Материал, будучи помещен в пространство с повышенной температурой, прогревается. В конце этого периода (точка А

на рис.1) устанавливается постоянная температура поверхности и тепловое равновесие между количеством тепла, воспринимаемым изделием, и расходом тепла на испарение влаги. После этого наступает период постоянной скорости сушки.

2. *Период постоянной скорости сушки.* В этот период скорость сушки постоянна и численно равна скорости испарения влаги с открытой поверхности. Следовательно, происходит испарение свободной влаги с поверхности материала, и поверхность в течение этого времени остается влажной за счет поступления влаги из внутренних слоев изделий. Температура поверхности материала $t_{\text{п}}$, равная приблизительно температуре мокрого термометра, остается неизменной в течение всего периода (кривая 3 на рис. 1). Давление паров над поверхностью материала равно парциальному давлению насыщенных водяных паров при температуре поверхности $t_{\text{п}}$ и не зависит от влажности материала.

Указанный период является наиболее ответственным и опасным, так как в течение его происходит усадка материала, порождающая усадочные напряжения. Скорость остается постоянной до тех пор, пока среднее содержание влаги в изделии не понизится до критического (точка K_1 на рис. 1), а на поверхности изделия не станет равным гигроскопической влажности ω_r . С этого момента начинается период падающей скорости сушки. Однако в действительных условиях он может начаться и тогда, когда вследствие неодинаковых условий испарения влаги со всей поверхности влажность отдельных участков достигает влажности ниже гигроскопической, в то время как другие участки уже имеют влажность ниже гигроскопической. Следовательно, более правильно переход от периода постоянной к периоду падающей скорости сушки характеризовать точкой на кривой сушки, отвечающей ω_k , то есть критической влажности.

Гигроскопическую влажность тело приобретает, если его поместить на длительный срок в среду с относительной влажностью $\omega_r = 100\%$ при данной температуре. Гигроскопическая влажность ω_r зависит только от свойств материала и уменьшается при повышении температуры его нагрева. Такую влажность имеет тонкий поверхностный слой изделия в конце периода постоянной скорости сушки.

Критическая влажность представляет собой среднюю по всему изделию влажность, которая зависит от режима сушки, толщины изделия и коэффициента влагопроводности. При достижении изделием влажности ω_k усадка поверхностных слоев прекращается, и дальнейшая сушка вызывает лишь увеличение пористости изделия.

3. *Период падающей скорости сушки* характеризуется тем, что с уменьшением влажности изделия сушка постепенно замедляется. Уменьшение интенсивности испарения вызывает уменьшение расхода тепла на испарение влаги, что при прочих постоянных условиях приводит к увеличению средней температуры изделия и уменьшению температурной разности между сушильным агентом и поверхностью материала.

Уменьшение скорости сушки обуславливается тем, что парциальное давление водяных паров над поверхностью материала падает и становится меньше парциального давления насыщенных паров при температуре поверхности, являясь функцией температуры и влажности поверхности изделия, то есть $p'_n = f(\omega_n, t_n)$.

По линии $t = \text{const}$ на $I-d$ -диаграмме (см. рис.1) и кривым равновесной влажности данного материала можно определить численные значения парциального давления пара над материалом в зависимости от температуры и влажности поверхности материала. При достижении поверхностью материала равновесной влажности скорость сушки становится равной нулю, то есть удаление влаги из материала прекращается. Величина равновесной влажности зависит от свойств материала и параметров окружающей среды, то есть от ее температуры и влажности.

2.1.2. Требования, предъявляемые к сушилкам

Сушка изделий производится в специальных устройствах – сушилках. Сушилка должна обеспечивать максимальную скорость сушки материала при соблюдении его высокого качества, минимальный расход тепла и электроэнергии на 1 кг испаряемой влаги, равномерность сушки по всему объему сушилки; должна обладать возможно большей напряженностью объема по влаге (количеством испаряемой влаги на 1 м³ объема сушилки), легкостью регулирования параметров сушильного агента; должна быть оснащена механизмами для загрузки, выгрузки и перемещения материала, а также приборами теплового контроля (КИП) и автоматикой и удовлетворять санитарным нормам.

Одним из основных требований, предъявляемых к сушилкам, является равномерность сушки изделий по всему объему сушильного пространства. Степень неравномерности высушенных изделий, расположенных в различных местах сушильной камеры (камерные сушилки) или вагонетки (туннельные сушилки) определяется коэффициентом неравномерности сушки K_n , который выражает отношение конечных влажностей двух (или нескольких) высушенных

изделий, расположенных в различных местах сушилки или вагонетки; отношение изделий с наибольшей конечной влажностью ω_{\max} к изделиям с наименьшей влажностью ω_{\min} ; при этом начальная влажность этих изделий принимается одинаковой

$$K_n = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}}. \quad (2.1)$$

Обычно $K_n > 1$ и с увеличением неравномерности сушки возрастает; при теоретически равномерной сушке $K_n = 1$.

Коэффициент неравномерности сушки является важной характеристикой сушилок, так как служит мерой совершенства их с точки зрения движения и распределения газовых потоков, влияет на длительность сушки и характеризует однородность (по влагосодержанию) изделий.

Для сушки красного кирпича применяют камерные сушилки системы Росстромпроекта. Блок состоит из 30 камер с размерами: длина 17,8 м, ширина 1,4 м, высота 3,0 м. У пода камеры расположены каналы, подающие и отводящие газы. Сушильный агент поступает в два распределительных приточных канала 1 и оттуда фонтанирует в сушильную камеру через отверстия в плитах, перекрывающих эти каналы. Отработанные (насыщенные влагой) газы удаляются из сушилки отводящим каналом 2 через отверстия, расположенные в своде этого канала.

Сушилка работает с принудительной подачей воздуха от вентилятора, создается зональная циркуляция воздуха по вертикали, и температура между верхом и низом выравнивается, что приводит к равномерной сушке изделий по высоте камеры.

Сырец укладывается на рамы, которые устанавливают на специальные выступы в стенах камеры. В одной камере размещают 50 вагонеток, одна вагонетка состоит из 10 полок, на каждой полке 12 кирпичей.

2.2. Обжиг керамических изделий

2.2.1. Процессы, происходящие при обжиге глин

На поведение керамических изделий в процессе обжига влияют термические свойства глин, из которых они изготовлены. Главнейшими термическими свойствами легкоплавких глин являются огнеупорность, огневая усадка, интервал спекания, интервал обжига, теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность и прочность в горячем состоянии.

При обжиге легкоплавких глин имеют место физико-химические процессы, связанные с фазовыми превращениями, разложением, частичным плавлением, кристаллизацией новообразований и реакциями в твердой фазе. Указанные процессы происходят в глинообразующих минералах, примесях и добавках и по времени могут накладываться друг на друга.

Общая картина изменений, происходящих в глинистой легкоплавкой массе при ее обжиге, схематически представлена в [38, табл. 1.1]. При быстром нагреве температурные интервалы, указанные в данной таблице, сдвигаются в область более высоких температур.

В изделии значительной толщины при нагревании возникают существенные температурные перепады, и отдельные слои изделия находятся под воздействием неодинаковых температур.

Вследствие этого процессы, указанные в табл. 12, протекают в обжигаемом изделии не последовательно друг за другом, а одновременно, накладываясь во времени. В восстановительной среде температуры плавления, начала и конца спекания существенно понижаются, иногда на 100–150 °С; особенно это характерно для глин с большим содержанием железистых окислов. Трещиностойкость изделий из легкоплавких глин в процессе обжига понижается с увеличением содержания в глине монтмориллонитовых минералов, глинозема, частиц величиной менее 1 мк (особенно при их количестве более 35–40 %) и при повышении числа пластичности более 20.

Т а б л и ц а 1 2

Температурные интервалы, °С	Превалирующие процессы в данном температурном интервале
1	2
До 150	Удаление физически связанной адсорбированной влаги и межплоскостной влаги монтмориллонитовых минералов
131–224	Разложение гидrogематита с выделением воды цеолитного типа
140–180	Интенсивное вскипание остаточной влаги в сырце при быстром его нагреве. Понижение прочности сырца с возможностью возникновения трещин, сопровождающихся «хлопками» в печах
200–400	Выгорание гумусовых веществ
400–550	Пирогенетическое разложение органических примесей и добавок с выделением горючих веществ
450–550	Наиболее интенсивное удаление конституционной воды монтмориллонитовых минералов

1	2
500–700	Начало образования эвтектических силикатных расплавов, сопровождающееся уплотнением и упрочнением черепка
570–750	Распад магниевых карбонатов с выделением углекислого газа
573	Переход β -кварца в α -кварц с увеличением в объеме на 0,82 %
600–1200	Реакция между известью и каолинитом с образованием $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ и $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$
700–800	Реакция в твердой фазе между SiO_2 , Al_2O_3 и CaCO_3
700–900	Выгорание коксового остатка органических примесей и добавок
800–860	Разрушение кристаллической решетки монтмориллонита
800–1000	Интенсивное разложение кальциевых карбонатов с выделением углекислого газа. При большом содержании карбонатных примесей – заметное повышение пористости черепка с возрастанием температуры обжига
800–900	Кристаллизация гематита Fe_2O_3
800–1050	Интенсивная усадка и уплотнение черепка за счет накопления жидкой фазы эвтектических силикатных расплавов
950–1000	Кристаллизация шпинели $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$
950–1050	Начало интенсивного образования муллита
950–1100	Расплавление пылевидных зерен полевого шпата
1000	Переход α -кварца в α -кристобалит с увеличением в объеме на 15,4 %
1050–850	<i>Охлаждение</i> Увеличение вязкости при сохранении пиропластичного состояния черепка
850–750	Переход из пиропластичного состояния в твердое (хрупкое). Резкие структурные изменения. Возникновение максимальных напряжений с возможностью образования трещин
675	Переход β - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ с увеличением в объеме на 10 %
573	Переход α -кварца в β -кварц с увеличением в объеме на 0,82 %
270–180	Переход α -кристобалита в β -кристобалит с уменьшением в объеме на 2,8 %

Коренные изменения в минеральном фазовом составе черепка отмечались лишь при достижении температур 800–900 °С. Трещинообразование при нагревании наступает лишь в период интенсивной усадки.

Обжиг абсолютно сухого сырца до температуры 800 °С может производиться с интенсивностью до 300 град/ч. Скоростной обжиг возможен при влажности сырца не более 5 %. При этом необходимо иметь в виду, что пересушенный сырец является хрупким и его механические повреждения (видимые и невидимые) возможны до обжига при его транспортировании и садке в печь.

Установлено наличие “опасного” температурного интервала в области 500–600 °С, вызванного полиморфным превращением кварца. При быстром охлаждении кирпича в указанном интервале температур происходит изменение структуры, сопровождающееся общим разрыхлением черепка, повышением его водопоглощения и снижением прочностных показателей. В связи с этим рекомендуется вести процесс охлаждения по трехступенчатому режиму:

- 1) форсированное охлаждение от конечной температуры обжига до 600 °С;
- 2) медленное охлаждение в интервале температур 500–600 °С;
- 3) форсированное охлаждение до температуры выгрузки. Общая длительность может быть при этом значительно снижена по сравнению с одноступенчатым режимом при существенном улучшении качества кирпича.

2.2.2. Описание конструкции и работы туннельной печи

Для обжига керамического кирпича предлагаются туннельные печи. Туннельная печь для обжига керамических изделий имеет вагонеточный состав, передвигающийся вдоль туннеля с помощью толкателя. Внутри туннеля проложен рельсовый путь. Каждая вагонетка, пройдя всю длину туннеля, выдвигается из печи с другого конца при очередном проталкивании. Таким образом, создается непрерывное перемещение вагонеток в печи, постепенный подогрев, обжиг и охлаждение изделий, находящихся на поду вагонетки. Туннельная печь длиной 62 м и шириной 2 м имеет 3 зоны.

Форкамера служит для уменьшения газообмена с окружающей средой при загрузке вагонеток в печь. Основное назначение зоны подогрева – окончательное удаление влаги из сырца и равномерный прогрев садки до температуры 600 °С. Подогрев и сушка производятся отходящими из зоны обжига продуктами горения.

В зоне обжига сжигается топливо в специальных горелочных устройствах. Сырец нагревается до температуры 980 °С, при этом завершаются все процессы, связанные с формированием черепка. Воздух, поступающий для сжигания топлива, предварительно подогревается в зоне охлаждения. Горение топлива происходит в разрывах между садками кирпича на вагонетках. С каждой стороны печи установлено по семь горелок, топливо – природный газ.

В зоне охлаждения происходит остывание кирпича до температуры 300°C перед выдачей вагонеток из печи, также происходит отбор нагретого воздуха для подачи его в сушилку. В этой зоне охлаждается также и футеровка вагонеток, нагретая до высоких температур. Изделия и футеровка вагонеток охлаждаются холодным воздухом, подаваемым в печь сверху и сбоку через несколько каналов, расположенных по длине зоны охлаждения ближе к выходному каналу печи.

Печь работает по принципу противотока, то есть газы и воздух движутся навстречу вагонеткам с обжигаемыми изделиями. Движение газовых и воздушных потоков осуществляется системой вентиляторов. В зоне подогрева предусмотрена установка циркуляционных вентиляторов для интенсивного перемешивания газовых потоков с целью максимального усреднения газовой среды, то есть ликвидации расслоения ее и уменьшения перепада температур по сечению канала. В зоне подогрева также производится отбор дымовых газов.

Печь выполнена из стандартного красного кирпича, зона обжига изнутри футеруется шамотным кирпичом. Свод печи выполняется из красного кирпича и засыпки шлаком.

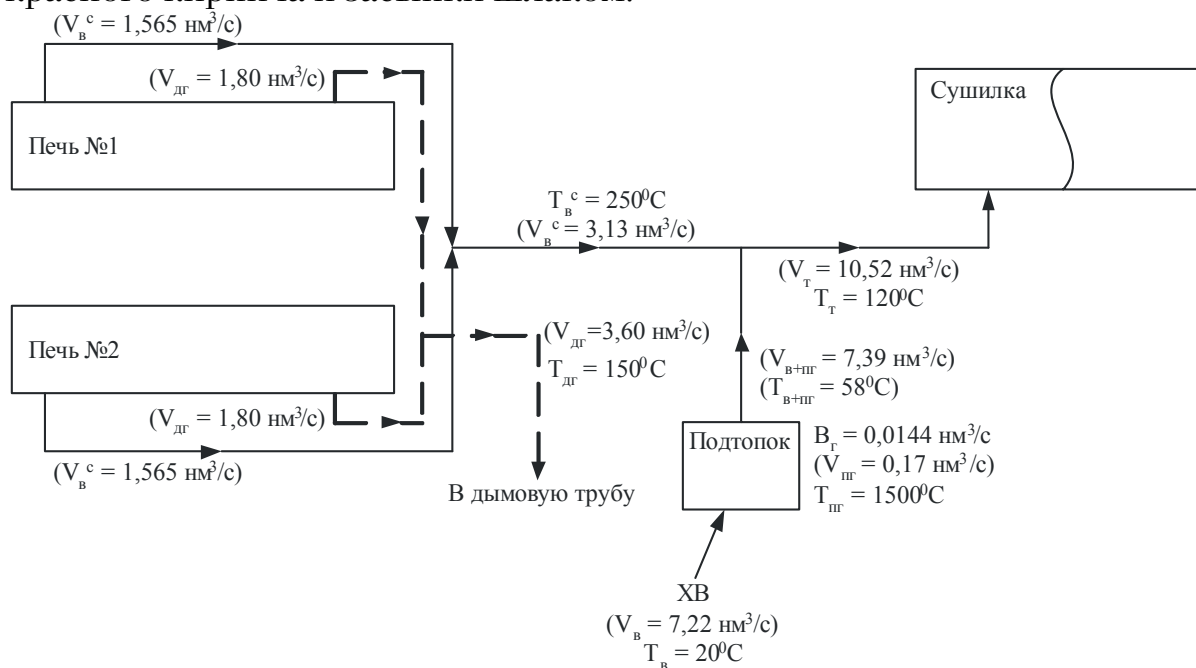


Рис. 2. Схема движения потоков:

- горячего воздуха от печи к сушилке с параметрами $V_{\text{в}}^{\text{с}}$ и $T_{\text{в}}^{\text{с}}$;
- продуктов сгорания в дымовую трубу с параметрами $V_{\text{др}}$ и $T_{\text{др}}$;
- смеси продуктов горения и воздуха к сушилке с параметрами $V_{\text{в+пр}}$ и $T_{\text{в+пр}}$

Примечание: параметры теплоносителей в скобках определены в результате расчетов.

2.3. Расчет процесса обжига кирпича. Тепловой баланс туннельной печи

2.3.1. Расчет продолжительности обжига кирпича и производительности печи

Расчет выполнен по методике, изложенной в работах [34, 35, 36].

Абсолютная влажность загружаемого в печь кирпича $W_a = 7,5 \%$.

Вес сухого кирпича

$$G_1 = 3,3 \text{ кг.}$$

Размеры кирпича: длина $l = 250$ мм;

ширина $b = 120$ мм;

толщина $s = 65$ мм.

1) Нагрев до 100°C .

Количество испаряемой влаги

$$G_{\text{вл}} = G_1 \cdot \omega \text{ кг,} \quad (2.1)$$

$$G_{\text{вл}} = 3,3 \cdot 0,075 = 0,2475 \text{ кг.}$$

Активная поверхность теплообмена и испарения одиночного кирпича

$$F = 2 \cdot s \cdot l + 2 \cdot b \cdot s + b \cdot l \text{ м}^2, \quad (2.2)$$

$$F = 2 \cdot 0,065 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,12 \cdot 0,065 + 0,12 \cdot 0,25 = 0,0781 \text{ м}^2.$$

Количество влаги, приходящейся на 1 м^2 активной поверхности,

$$G_F = \frac{G_{\text{вл}}}{F} \text{ кг/м}^2; \quad (2.3)$$

$$G_F = \frac{0,2475}{0,0781} = 3,17, \text{ кг/м}^2.$$

При съеме влаги примерно $0,4 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ с активной поверхности время, необходимое для нагрева до 100°C , составляет:

$$\tau_1 = \frac{G_F}{0,4} \text{ ч,} \quad (2.4)$$

$$\tau_1 = \frac{3,17}{0,4} = 7,93 \text{ ч.}$$

2) Период нагрева от 100 до 800 °С.

Определяем допустимую скорость подъема температуры по формуле [34]

$$\vartheta_{\text{доп}} = \frac{\Delta t_{\text{доп}} \cdot a}{(100 \cdot S)^2} \text{ град/ч}, \quad (2.5)$$

где $\Delta t_{\text{доп}}$ – максимально допустимая разность температур в теле изделия при его нагреве или охлаждении;

a – коэффициент температуропроводности материала, $a = 40 \text{ м}^2/\text{ч}$;

S – толщина прогрева изделий, $S = 0,06 \text{ м}$.

Принимая для этого периода $\Delta t_{\text{доп}} = 85 \text{ °С}$ [34], получим:

$$\vartheta_{\text{доп}} = \frac{40 \cdot 85}{(100 \cdot 0,06)^2} = 94,444 \text{ град/ч}.$$

Время нагрева или охлаждения в известном интервале температур равно:

$$\tau = \frac{t_2 - t_1}{\vartheta_{\text{доп}}} \text{ ч}, \quad (2.6)$$

где t_1 и t_2 – температура в начале и конце интервала, °С;

$$\tau_2 = \frac{800 - 100}{94,444} = 7,42 \text{ ч}.$$

3) Период нагрева от 800 до 980 °С.

Принимая для этого периода $\Delta t_{\text{доп}} = 85 \text{ °С}$ [1], получим:

$$\vartheta_{\text{доп}} = \frac{40 \cdot 85}{(100 \cdot 0,06)^2} = 94,444 \text{ град/ч}.$$

Время нагрева

$$\tau_3 = \frac{980 - 800}{94,444} = 1,91 \text{ ч}.$$

4) Время выдержки при конечной температуре [34]

$$\tau_{\text{выд}} = 700 \cdot S^2 \text{ ч}, \quad (2.7)$$

$$\tau_{\text{выд}} = 700 \cdot 0,06^2 = 2,52 \text{ ч}.$$

5) Охлаждение в интервале температур от 980 до 500 °С при значении $\Delta t_{\text{доп}} = 55$ °С [34]

$$\vartheta_{\text{доп}} = \frac{40 \cdot 55}{(100 \cdot 0,06)^2} = 61,111 \text{ град/ч.}$$

Время охлаждения

$$\tau_4 = \frac{980 - 500}{61,111} = 7,85 \text{ ч.}$$

6) Охлаждение в интервале температур от 500 до 300 °С при $\Delta t_{\text{доп}} = 125$ °С [34]

$$\vartheta_{\text{доп}} = \frac{40 \cdot 125}{(100 \cdot 0,06)^2} = 138,9 \text{ град/ч.}$$

Время охлаждения

$$\tau_5 = \frac{500 - 300}{138,9} = 1,44 \text{ ч.}$$

7) Общая продолжительность обжига равна суммарному времени нагрева, выдержки и охлаждения

$$\tau_{\text{общ}} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_{\text{выд}} + \tau_4 + \tau_5, \quad (2.8)$$

$$\tau_{\text{общ}} = 7,91 + 7,42 + 1,91 + 2,52 + 7,85 + 1,44 = 29 \text{ ч.}$$

Таким образом, по оптимальному режиму обжига, рассчитанному на основе допустимой разницы температур в теле изделия при его нагреве и охлаждении, получили, что общая продолжительность обжига составляет не более 29 ч.

Годовая производительность печи

$$P_{\Gamma} = 9 \text{ млн шт./год.}$$

Единовременная емкость туннельной печи $G = 31000$ шт.

Количество оборотов печи в год

$$n_{\text{об}} = \frac{P_{\Gamma}}{G}, \quad (2.9)$$

$$n_{\text{об}} = \frac{9000000}{31000} = 290 \text{ об/год.}$$

Число рабочих дней в год

$$z_{\Gamma} = \frac{n_{\text{об}} \cdot \tau_{\text{общ}}}{24}, \quad (2.10)$$

$$z_{\Gamma} = \frac{n_{\text{об}} \cdot \tau_{\text{общ}}}{24} \quad z_{\Gamma} = \frac{290 \cdot 29}{24} = 350,4 \text{ дн.}$$

Принимаем $z_{\Gamma} = 350$ дн.

Число часов работы печи в год

$$z_{\Gamma} = 350 \cdot 24 = 8400 \text{ ч.}$$

Часовая производительность печи может быть определена из годовой производительности по формуле

$$P_{\Gamma} = P_{\text{час}} \cdot z_{\text{ч}} \cdot \frac{100 - m_1}{100} \cdot \frac{100 - m_2}{100}, \quad (2.11)$$

откуда

$$P_{\text{час}} = \frac{P_{\Gamma}}{z_{\text{ч}} \cdot \frac{100 - m_1}{100} \cdot \frac{100 - m_2}{100}}, \quad (2.12)$$

где $P_{\text{час}}$ – часовая производительность, шт./ч;

m_1 – процент брака, $m_1 = 2$ %;

m_2 – процент потерь материала во время транспортировки,
 $m_2 = 5$ %.

$$P_{\text{час}} = \frac{9000000}{8400 \cdot \frac{100 - 2}{100} \cdot \frac{100 - 5}{100}} = 1150 \text{ шт./ч.}$$

В переводе на массу

$$M = 1150 \cdot 3,3 = 3795 \text{ кг/ч.}$$

2.3.2. Горение топлива

Целью расчета горения топлива является определение необходимого для горения топлива расхода воздуха, выхода продуктов горения и их процентного содержания.

Топливо – природный газ следующего состава:

$$\text{CH}_4 = 98,49 \%$$

$$\text{C}_2\text{H}_6 = 0,51 \%$$

$$\text{C}_3\text{H}_8 = 0,17 \%$$

$$\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,05 \%$$

$$\begin{aligned} N_2 &= 0,75 \% \\ CO_2 &= 0,03 \% \\ \text{Всего: } &100 \% \end{aligned}$$

Расход окислителя на горение топлива

$$O_1 = 0,01 \cdot \left[\sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n \right] \frac{M^3(H)}{M^3(H)}, \quad (2.13)$$

где m, n – индексы при элементах С и Н;

$C_m H_n$ – углеводороды;

$$O_1 = 0,01(2 \cdot 98,49 + 3,5 \cdot 0,51 + 5 \cdot 0,17 + 6,5 \cdot 0,05) = 1,9994 \frac{M^3(H)}{M^3(H)}.$$

Теоретически максимально необходимый для полного горения единицы топлива расход воздуха

$$L = \frac{O_1}{0,21} \frac{M^3(H)}{M^3(H)}, \quad (2.14)$$

$$L = \frac{1,9994}{0,21} = 9,521 \frac{M^3(H)}{M^3(H)}.$$

Действительный расход воздуха:

$$L_d = n \cdot L_1, \quad (2.15)$$

где n – коэффициент расхода воздуха, $n = 1,2$;

$$L_d = 1,2 \cdot 9,521 = 11,4252 \frac{M^3(H)}{M^3(H)}.$$

Продукты горения

$$V_{CO_2} = 0,01 \cdot \left(\sum m C_m H_n + CO_2 \right) \frac{M^3(H)}{M^3(H)} \quad (2.16)$$

где CO_2 – процентное содержание CO_2 в топливе, %;

$$V_{H_2O} = 0,01 \cdot \left(\sum \frac{n}{2} C_m H_n \right); \quad (2.17)$$

$$V_{N_2} = 0,01 \cdot \left(N_2 + 79 \cdot L_d \right) \frac{M^3(H)}{M^3(H)}, \quad (2.18)$$

где N_2 – процентное содержание N_2 в топливе, %;

$$V_{CO_2} = 0,01 \cdot (98,49 + 2 \cdot 0,51 + 3 \cdot 0,17 + 4 \cdot 0,05 + 0,03) = 1,0025 \frac{M^3(H)}{M^3(H)};$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01 \cdot (2 \cdot 98,49 + 3 \cdot 0,51 + 4 \cdot 0,17 + 5 \cdot 0,05) = 1,9944 \frac{\text{м}^3(\text{H})}{\text{м}^3(\text{H})};$$

$$V_{\text{N}_2} = 0,01 \cdot (0,5 + 79 \cdot 11,4252) = 9,03 \frac{\text{м}^3(\text{H})}{\text{м}^3(\text{H})}.$$

Избыточное количество кислорода

$$V_{\text{O}_2} = O_1 \cdot (n - 1) \frac{\text{м}^3(\text{H})}{\text{м}^3(\text{H})}; \quad (2.19)$$

$$V_{\text{O}_2} = 1,9994 \cdot (1,2 - 1) = 0,3999 \frac{\text{м}^3(\text{H})}{\text{м}^3(\text{H})}.$$

Теплота сгорания топлива

$$Q_T = Q_{\text{CH}_4} \cdot \text{CH}_4 + Q_{\text{C}_2\text{H}_6} \cdot \text{C}_2\text{H}_6 + Q_{\text{C}_3\text{H}_8} \cdot \text{C}_3\text{H}_8 + Q_{\text{C}_4\text{H}_{10}} \cdot \text{C}_4\text{H}_{10} \text{ кДж/м}^3(\text{H}), \quad (2.20)$$

где $Q_{\text{CH}_4}, Q_{\text{C}_2\text{H}_6}, Q_{\text{C}_3\text{H}_8}$ – теплота сгорания углеводородов, кДж/м³(H);

$\text{CH}_4, \text{C}_2\text{H}_6, \text{C}_3\text{H}_8$ – процентное содержание в топливе, %;

$$Q_T = 0,01 \cdot (35818 \cdot 98,49 + 63748 \cdot 0,51 + 91255 \cdot 0,17 + 118700 \cdot 0,05) = \\ = 35471,6 \text{ кДж/м}^3(\text{H}).$$

Выход продуктов горения

$$V_{\text{пр}} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2} \frac{\text{м}^3(\text{H})}{\text{м}^3(\text{H})}, \quad (2.21)$$

$$V_{\text{пр}} = 1,0025 + 1,9944 + 9,03 + 0,3999 = 12,4268 \frac{\text{м}^3(\text{H})}{\text{м}^3(\text{H})}.$$

Процентный состав продуктов горения

$$\langle \text{CO}_2 \rangle = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_{\text{пр}}} \cdot 100 \%, \quad (2.22)$$

$$\langle \text{H}_2\text{O} \rangle = \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_{\text{пр}}} \cdot 100 \% \quad (2.23)$$

$$\langle \text{N}_2 \rangle = \frac{V_{\text{N}_2}}{V_{\text{пр}}} \cdot 100 \%, \quad (2.24)$$

$$\langle \text{O}_2 \rangle = \frac{V_{\text{O}_2}}{V_{\text{шт}}} \cdot 100 \%, \quad (2.25)$$

$$\langle \text{CO}_2 \rangle = \frac{1,0025}{12,4268} \cdot 100 \% = 8,067 \%,$$

$$\langle \text{H}_2\text{O} \rangle = \frac{1,9944}{12,4268} \cdot 100 \% = 16,049 \%,$$

$$\langle \text{N}_2 \rangle = \frac{9,03}{12,4268} \cdot 100 \% = 72,665 \%,$$

$$\langle \text{O}_2 \rangle = \frac{0,3999}{12,4268} \cdot 100 \% = 3,219 \%.$$

2.3.3. Тепловой баланс рабочего пространства печи

Целью расчета теплового баланса является определение расхода топлива. Расчет проводим для зон подогрева и обжига и для зоны охлаждения.

Тепловой баланс зоны охлаждения

Приходные статьи баланса.

Тепло обожженных изделий

$$Q_1 = P_{\text{ч}} \cdot m_{\text{к}} \cdot c_{\text{к}} \cdot t_{\text{обж}} \cdot \frac{1}{3600} \text{ кВ}, \quad (2.26)$$

где $P_{\text{ч}}$ – производительность по обжигу, шт./ч; $P_{\text{ч}} = 1150$ шт./ч;

$m_{\text{к}}$ – вес обожженного кирпича, $m_{\text{к}} = 3,3$ кг;

$t_{\text{обж}}$ – температура обжига кирпича, $t_{\text{обж}} = 980$ °С;

$c_{\text{к}}$ – удельная теплоемкость кирпича при $t_{\text{обж}}$,

$$c_{\text{к}} = 0,837 + 0,000264 \cdot t_{\text{обж}} \text{ [34]};$$

$$c_{\text{к}} = 0,837 + 0,000264 \cdot 980 = 1,1 \text{ кДж/кг}\cdot\text{°С};$$

$$Q_1 = 1150 \cdot 3,3 \cdot 980 \cdot 1,1 \cdot \frac{1}{3600} = 1136,39 \text{ кВт}.$$

Тепло, вносимое из зоны обжига вагонетками

$$Q_2 = \frac{P_{\text{ч}}}{G_{\text{в}}} \cdot \left[m_{\text{шт}} \cdot c_{\text{шт}} \cdot (t_{\text{шт}} - t_{0\text{шт}}) + m_{\text{м}} \cdot c_{\text{м}} \cdot (t_{\text{м}} - t_{0\text{м}}) \right] \cdot \frac{1}{3600} \text{ кВт}, \quad (2.27)$$

где $G_{\text{в}}$ – емкость вагонетки, $G_{\text{в}} = 1000$ шт.;

$m_{\text{ш}}$ и $m_{\text{м}}$ – масса шамотной и металлической частей вагонетки,
 $m_{\text{ш}} = 1152$ кг, $m_{\text{м}} = 348$ кг;

$c_{\text{ш}}$ и $c_{\text{м}}$ – удельная теплоемкость шамотной и металлической частей вагонетки,

$$c_{\text{ш}} = 0,837 + 0,000264 \cdot t_{\text{ш}}; c_{\text{м}} = 0,48 \text{ кДж/кг} \cdot \text{°C} [34];$$

$t_{\text{ш}}$ и $t_{\text{м}}$ – соответственно средние температуры шамотной и металлической частей вагонетки; $t_{\text{ш}} = 723$ °C, $t_{\text{м}} = 60$ °C;

$t_{0\text{ш}}$ и $t_{0\text{м}}$ – соответственно начальные температуры частей вагонетки,
 $t_{0\text{ш}} = 40$ °C, $t_{0\text{м}} = 30$ °C;

$$c_{\text{ш}} = 0,837 + 0,000264 \cdot 723 = 1,03 \text{ кДж/кг} \cdot \text{°C};$$

$$Q_2 = \frac{1150}{1000} \cdot [1152 \cdot 1,03 \cdot (723 - 40) + 348 \cdot 0,48 \cdot (60 - 30)] \cdot \frac{1}{3600} = 260,49 \text{ кВт.}$$

Расходные статьи теплового баланса.

Вынос тепла выходящими изделиями

$$Q_1 = P_{\text{час}} \cdot m_{\text{к}} \cdot c_{\text{к}} \cdot t_{\text{к}} \cdot \frac{1}{3600} \text{ кВт,} \quad (2.28)$$

где $t_{\text{к}}$ – конечная температура кирпича, $t_{\text{к}} = 300$ °C;

$c_{\text{к}}$ – теплоемкость кирпича при $t_{\text{к}}$;

$$c_{\text{к}} = 0,837 + 0,000264 \cdot 300 = 0,9162 \text{ кДж/кг} \cdot \text{°C};$$

$$Q_1 = 1150 \cdot 3,3 \cdot 300 \cdot 0,9162 \cdot \frac{1}{3600} = 289,75 \text{ кВт.}$$

Вынос тепла вагонетками

$$Q_2 = \frac{P_{\text{час}}}{G_{\text{в}}} \cdot [m_{\text{ш}} \cdot c_{\text{шк}} \cdot t_{\text{шк}} + m_{\text{м}} \cdot c_{\text{мк}} \cdot t_{\text{мк}}] \cdot \frac{1}{3600} \text{ кВт,} \quad (2.29)$$

где $t_{\text{шк}}$ и $t_{\text{мк}}$ – температуры на выходе из печи; $t_{\text{шк}} = 270$ °C, $t_{\text{мк}} = 40$ °C;

$c_{\text{шк}}$ и $c_{\text{мк}}$ – удельные теплоемкости шамотной и металлической частей вагонетки при $t_{\text{шк}}$ и $t_{\text{мк}}$, $c_{\text{мк}} = 0,48$ кДж/кг·°C;

$$c_{\text{шк}} = 0,837 + 0,000264 \cdot 270 = 0,908 \text{ кДж/кг} \cdot \text{°C};$$

$$Q_2 = \frac{1150}{1000} \cdot [1152 \cdot 0,908 \cdot 270 + 348 \cdot 0,48 \cdot 40] \cdot \frac{1}{3600} = 92,35 \text{ кВт.}$$

Потери тепла теплопроводностью через стены и свод.

Длина зоны охлаждения 26 м.

В соответствии с температурной кривой (см. рис. 1) разбиваем зону охлаждения на 2 участка:

1-й участок 980 °С – 600 °С, $T_{\text{ср}} = 790$ °С, длина – 14 м;

2-й участок 600 °С – 160 °С, $T_{\text{ср}} = 380$ °С, длина – 12 м

$$Q_{\text{кл}} = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{св}} \text{ кВт}, \quad (2.30)$$

где $Q_{\text{ст}}$ – потери через стены;

$Q_{\text{св}}$ – потери через свод.

Потери через стены

$$Q_{\text{ст}} = \frac{T_{\text{ср}} - T_{\text{н}}}{\sum \frac{R_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}} \sqrt{F_{\text{вн.ст}} \cdot F_{\text{нар.ст}}} \cdot 10^{-3} \text{ кВт}, \quad (2.31)$$

где $T_{\text{ср}}$ – средняя температура на участке, °С;

$T_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха, $T_{\text{н}} = 20$ °С;

R_i – толщина i -го слоя кладки, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя кладки, Вт/м·°С;

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи, $\alpha_{\text{н}} = 15$ Вт/м²·°С;

$F_{\text{вн.ст}}$ – внутренняя площадь стен, м²;

$F_{\text{нар.ст}}$ – наружная площадь поверхности стен, м².

1-й участок

Стены печи – двухслойные:

1-й слой – красный кирпич на глиняном растворе, $R_1 = 0,25$ м;

2-й слой – красный кирпич на сложном растворе, $R_2 = 0,89$ м.

$$T_{\text{кл.1}} = \frac{T_{\text{ср}} + T_{\text{н}}}{2},$$

$$T_{\text{кл.1}} = \frac{790 + 20}{2} = 405 \text{ °С},$$

$$\lambda_{\text{кл.1}} = 0,47 + 0,00051 \cdot t_{\text{кл.1}} \text{ [34]},$$

$$\lambda_{\text{кл.1}} = 0,47 + 0,00051 \cdot 405 = 0,6766 \text{ Вт/м·°С},$$

$$T_{\text{кл.2}} = \frac{T_{\text{кл.1}} + T_{\text{н}}}{2},$$

$$T_{\text{кл.2}} = \frac{405 + 20}{2} = 212,5 \text{ °С},$$

$$\lambda_{\text{кл.2}} = 0,47 + 0,00051 \cdot 212,5 = 0,5784 \text{ Вт/м·°С}.$$

Наружная площадь стен

$$F_{\text{нар.ст}} = 2 \cdot h_{\text{нар.ст}} \cdot l_{\text{ст}} \text{ м}^2, \quad (2.32)$$

где $h_{\text{нар.ст}}$ – высота наружной стены, $h_{\text{нар.ст}} = 3$ м;
 $l_{\text{ст}}$ – длина стен, $l_{\text{ст}} = 14$ м;

$$F_{\text{нар.ст}} = 2 \cdot 3 \cdot 14 = 84 \text{ м}^2.$$

Внутренняя площадь стен

$$F_{\text{вн.ст}} = 2 \cdot h_{\text{вн.ст}} \cdot l_{\text{ст}} \text{ м}^2, \quad (2.33)$$

где $h_{\text{вн.ст}}$ – высота внутренней стены, $h_{\text{вн.ст}} = 1,8$ м;

$$F_{\text{вн.ст}} = 2 \cdot 1,8 \cdot 14 = 50,4 \text{ м}^2.$$

$$Q_{\text{ст.1}} = \frac{790 - 20}{\frac{0,25}{0,6766} + \frac{0,89}{0,5784} + \frac{1}{15}} \cdot \sqrt{50,4 \cdot 84} \cdot 10^{-3} = 25,37 \text{ кВт}.$$

2-й участок

Стены печи – двухслойные:

1-й слой – красный кирпич на глиняном растворе, $R_1 = 0,25$ м;

2-й слой – красный кирпич на сложном растворе, $R_2 = 0,89$ м.

$$T_{\text{кл.1}} = \frac{380 + 20}{2} = 200 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$\lambda_{\text{кл.1}} = 0,47 + 0,00051 \cdot 200 = 0,572 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C},$$

$$T_{\text{кл.2}} = \frac{200 + 20}{2} = 110 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$\lambda_{\text{кл.2}} = 0,47 + 0,00051 \cdot 110 = 0,5261 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C},$$

$$F_{\text{нар.ст}} = 2 \cdot 3 \cdot 12 = 72 \text{ м}^2,$$

$$F_{\text{вн.ст}} = 2 \cdot 1,8 \cdot 12 = 43,2 \text{ м}^2,$$

$$Q_{\text{ст.2}} = \frac{380 - 20}{\frac{0,25}{0,572} + \frac{0,89}{0,5261} + \frac{1}{15}} \cdot \sqrt{43,2 \cdot 72} \cdot 10^{-3} = 9,15 \text{ кВт}.$$

$$Q_{\text{ст}} = Q_{\text{ст.1}} + Q_{\text{ст.2}},$$

$$Q_{\text{ст}} = 25,37 + 9,15 = 34,52 \text{ кВт}.$$

Потери через свод

$$Q_{\text{св}} = \frac{T_{\text{ср}} - T_{\text{н}}}{\sum \frac{R_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}} \sqrt{F_{\text{вн.св}} \cdot F_{\text{нар.св}}} \cdot 10^{-3} \text{ кВт}, \quad (2.34)$$

где $F_{\text{вн.св}}$ и $F_{\text{нар.св}}$ – соответственно внутренняя и наружная площадь свода.

1-й участок

Свод печи – трехслойный:

1-й слой – красный кирпич на глиняном растворе, $R_1 = 0,25$ м;

2-й слой – засыпка шлаком, $R_2 = 0,24$ м;

3-й слой – красный кирпич на сложном растворе, $R_3 = 0,065$ м.

$$T_{\text{кл.1}} = \frac{790 + 405}{2} = 597,5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\lambda_{\text{кл.1}} = 0,47 + 0,00051 \cdot 597,5 = 0,7747 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C},$$

$$T_{\text{кл.2}} = \frac{790 + 20}{2} = 405 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\lambda_{\text{кл.2}} = 0,12 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C} [34],$$

$$T_{\text{кл.3}} = \frac{405 + 20}{2} = 212,5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\lambda_{\text{кл.3}} = 0,47 + 0,00051 \cdot 212,5 = 0,5784 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}.$$

Внутренняя площадь свода

$$F_{\text{вн.св}} = B_{\text{вн}} \cdot L_{\text{вн}} \text{ м}^2, \quad (2.35)$$

где $B_{\text{вн}}$ и $L_{\text{вн}}$ – соответственно ширина и длина рабочего канала,

$$B_{\text{вн}} = 2 \text{ м}, L_{\text{вн}} = 12 \text{ м};$$

$$F_{\text{вн.св}} = 2 \cdot 12 = 24 \text{ м}^2.$$

Наружная площадь свода

$$F_{\text{нар.св}} = B_{\text{нар}} \cdot L_{\text{нар}} \text{ м}^2, \quad (2.36)$$

где $B_{\text{нар}}$ и $L_{\text{нар}}$ – соответственно ширина и длина наружного свода,

$$B_{\text{нар}} = 3,27 \text{ м}, L_{\text{нар}} = 12 \text{ м};$$

$$F_{\text{нар.св}} = 3,27 \cdot 12 = 39,24 \text{ м}^2.$$

$$Q_{\text{св.1}} = \frac{790 - 20}{\frac{0,25}{0,7747} + \frac{0,24}{0,12} + \frac{0,065}{0,5784} + \frac{1}{15}} \cdot \sqrt{24 \cdot 39,24} \cdot 10^{-3} = 11,02 \text{ кВт}.$$

2-й участок

Свод печи – трехслойный:

1-й слой – красный кирпич на глиняном растворе, $R_1 = 0,25$ м;

2-й слой – засыпка шлаком, $R_2 = 0,24$ м;

3-й слой – красный кирпич на сложном растворе, $R_3 = 0,065$ м.

$$T_{\text{кл.1}} = \frac{380 + 200}{2} = 290 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\lambda_{\text{кл.1}} = 0,47 + 0,00051 \cdot 290 = 0,62 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C},$$

$$T_{\text{кл.2}} = \frac{380 + 20}{2} = 200 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\lambda_{\text{кл.2}} = 0,11 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C},$$

$$T_{\text{кл.3}} = \frac{200 + 20}{2} = 110 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\lambda_{\text{кл.3}} = 0,47 + 0,00051 \cdot 110 = 0,526 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}.$$

$$F_{\text{вн.св}} = 2 \cdot 12 = 24 \text{ м}^2,$$

$$F_{\text{нар.св}} = 3,27 \cdot 12 = 39,24 \text{ м}^2.$$

$$Q_{\text{св.2}} = \frac{380 - 20}{\frac{0,25}{0,62} + \frac{0,24}{0,11} + \frac{0,065}{0,526} + \frac{1}{15}} \cdot \sqrt{24 \cdot 39,24} \cdot 10^{-3} = 3,98 \text{ кВт}.$$

$$Q_{\text{св}} = Q_{\text{св.1}} + Q_{\text{св.2}},$$

$$Q_{\text{св}} = 11,02 + 3,98 = 15,00 \text{ кВт}.$$

Суммарные потери через кладку

$$Q_{\text{кл}} = Q_{\text{св}} + Q_{\text{ст}},$$

$$Q_{\text{кл}} = 34,52 + 15,00 = 49,52 \text{ кВт}.$$

Потери с охлаждающим воздухом.

Охлаждающий воздух, омывая кирпич, аккумулирует его тепло.

$$Q_{\text{возд}} = Q_{1(\text{изд})} + Q_{1(\text{тр})} - Q_{2(\text{изд})} - Q_{2(\text{тр})} - Q_{\text{кл}} \text{ кВт}, \quad (2.37)$$

где $Q_{1(\text{изд})}$ – тепло обожженных изделий (1-я статья приходной части);

$$Q_{1(\text{изд})} = 1136,39 \text{ кВт};$$

$Q_{1(\text{тр})}$ – тепло, вносимое вагонетками из зоны обжига (2-я статья приходной части); $Q_{1(\text{тр})} = 260,49 \text{ кВт};$

$Q_{2(\text{изд})}$ – тепло, выносимое изделиями (1-я статья расходной части); $Q_{2(\text{изд})} = 289,75$ кВт;

$Q_{2(\text{тр})}$ – тепло, выносимое вагонетками (2-я статья расходной части); $Q_{2(\text{тр})} = 92,35$ кВт;

$Q_{\text{кл}}$ – потери через кладку (3-я статья расходной части);

$$Q_{\text{кл}} = 49,52 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{кл}} = 1136,39 + 260,49 - 289,75 - 92,35 - 49,52 = 965,26 \text{ кВт}.$$

Найдем расход воздуха на охлаждение по формуле:

$$V_{\text{возд}} = \frac{Q_{\text{возд}}}{c_{\text{вк}} \cdot T_{\text{к}} + c_{\text{вн}} \cdot T_{\text{н}}} \text{ м}^3/\text{с},$$

где $c_{\text{вк}}$ и $c_{\text{вн}}$ – теплоемкости воздуха при конечной $T_{\text{к}}$ и начальной $T_{\text{н}}$ температуре; $T_{\text{к}} = 420^\circ\text{C}$, $T_{\text{н}} = 20^\circ\text{C}$; $c_{\text{вк}} = 1,33$ кДж/кг \cdot °C, $c_{\text{вн}} = 1,29$ кДж/кг \cdot °C [2];

$$V_{\text{воз}} = \frac{965,26}{1,33 \cdot 420 + 1,29 \cdot 20} = 1,65 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Тепловой баланс сведем в табл. 13.

Т а б л и ц а 13

№ п/п	Статьи теплового баланса	Количество тепла	
		кВт	%
Приход тепла			
1	Тепло обожженных изделий	1136,39	81,35
2	Тепло, вносимое вагонетками	260,49	18,65
	Итого	1396,88	100,00
Расход тепла			
1	Потери с выходящими изделиями	289,75	20,74
2	Потери с выходящими вагонетками	92,35	6,61
3	Потери через кладку	49,52	3,55
4	Потери с охлаждающим воздухом	965,26	69,1
	Итого	1396,88	100,00

Тепловой баланс зоны подогрева и обжига

Приходные статьи баланса

Тепло горения топлива

$$Q_1 = Q_{\text{н}}^{\text{P}} \cdot V \text{ кВт}, \quad (2.38)$$

где $Q_{\text{н}}^{\text{P}}$ – теплотворная способность топлива, $Q_{\text{н}}^{\text{P}} = 35471,6$ кДж/м³;

$$B - \text{расход топлива - газа, м}^3/\text{с};$$

$$Q_1 = 35471,6 \cdot B \text{ кВт}.$$

Тепло топлива физическое

$$Q_2 = c_T \cdot t_T \cdot B \text{ кВт}, \quad (2.39)$$

где t_T – температура топлива, $t_T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;

c_T – теплоемкость топлива при t_T , $\text{кДж}/\text{м}^3 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$;

$$c_T = 0,01 \cdot (98,49 \cdot 1,59 + 0,51 \cdot 2,32 + 0,17 \cdot 3,23 + 0,05 \cdot 4,68 + 0,75 \cdot 1,3 + 0,03 \cdot 1,62) =$$

$$= 1,596 \text{ кДж}/\text{м}^3 \cdot \text{ }^\circ\text{C};$$

$$Q_2 = 1,596 \cdot 20 \cdot B = 31,92 \cdot B \text{ кВт}.$$

Тепло загружаемого сырца

$$Q_3 = P_{\text{час}} \cdot (m_c \cdot c_c + m_b \cdot c_b) \cdot t_M \cdot \frac{1}{3600} \text{ кВт}, \quad (2.40)$$

где m_c – вес абсолютно сухого сырца, $m_c = 3,6 \text{ кг}$;

c_c – удельная теплоемкость сырца, $c_c = 0,83 \text{ кДж}/\text{м}^3 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$;

m_b – вес влаги высушенного сырца, $m_b = 0,300 \text{ кг}$;

c_b – удельная теплоемкость влаги, $c_b = 4,187 \text{ кДж}/\text{м}^3 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$;

t_M – температура загружаемого материала, $t_M = 30 \text{ }^\circ\text{C}$;

$$Q_3 = 1150 \cdot (3,6 \cdot 0,83 + 0,3 \cdot 4,187) \cdot 30 \cdot \frac{1}{3600} = 40,67 \text{ кВт}.$$

Тепло, вносимое вагонетками

$$Q_4 = \frac{P_{\text{час}}}{G_B} \cdot [m_{\text{ш}} \cdot c_{\text{ш}} \cdot t_{\text{ш}} + m_M \cdot c_M \cdot t_M] \cdot \frac{1}{3600} \text{ кВт}, \quad (2.41)$$

где $t_{\text{ш}}$, t_M – температура шамотной и металлической частей вагонетки;

$t_{\text{ш}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_M = 30 \text{ }^\circ\text{C}$;

G_B – удельная масса влаги, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$c_{\text{ш}} = 0,837 + 0,000264 \cdot 40 = 0,848 \text{ кДж}/\text{м}^3 \cdot \text{ }^\circ\text{C};$$

$$c_M = 0,48 \text{ кДж}/\text{м}^3 \cdot \text{ }^\circ\text{C};$$

$$Q_4 = \frac{1150}{1000} \cdot [1150 \cdot 0,848 \cdot 40 + 348 \cdot 0,48 \cdot 30] \cdot \frac{1}{3600} = 14,08 \text{ кВт}.$$

Тепло наружного воздуха, поступающего на горение

$$Q_5 = L_d \cdot c_B \cdot t_B \cdot B \text{ кВт}, \quad (2.42)$$

где L_d – действительный расход воздуха $L_d = 11,4252 \frac{\text{м}^3(\text{н})}{\text{м}^3(\text{н})}$;

t_B – температура воздуха, идущего на горение, $t_B = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;

c_B – теплоемкость воздуха, $c_B = 1,29$ кДж/м³·°С;

$$Q_5 = 11,4252 \cdot 1,29 \cdot 20 \cdot B = 294,77 \cdot B \text{ кВт.}$$

Рассчитаем тепло воздуха, поступающего из зоны охлаждения.

Из зоны охлаждения часть воздуха идет на сушило, а часть поступает на горение в зону обжига. Для поддержания температуры в конце зоны обжига, равной 980 °С (процесс выдержки), продукты сгорания необходимо разбавлять. Для этой цели используется горячий воздух из зоны охлаждения. Температура воздуха 420 °С.

Определим, какую долю горячего воздуха необходимо подать на разбавление от общего расхода в зоне охлаждения. Принимаем смесь: 70 % – продукты сгорания, 30 % – воздух. Этому соответствует величина $q_B = 750$ кДж/м³.

$$Q_B = q_B \cdot \vartheta \cdot x + t_B \cdot c_B \cdot \vartheta \cdot (1 - x),$$

где x – доля тепла воздуха, необходимая для разбавления в зоне обжига;

ϑ – расход воздуха (из зоны охлаждения), $\vartheta = 1,65$ м³/с;

$$Q_B = q_B \cdot \vartheta \cdot x + t_B \cdot c_B \cdot \vartheta - t_B \cdot c_B \cdot \vartheta \cdot x,$$

$$x = \frac{Q_B - t_B \cdot c_B \cdot \vartheta}{q_B \cdot \vartheta - t_B \cdot c_B \cdot \vartheta},$$

$$x = \frac{965,26 - 420 \cdot 1,33 \cdot 1,65}{750 \cdot 1,65 - 420 \cdot 1,33 \cdot 1,65} = 0,14.$$

Расход воздуха, идущий из зоны охлаждения в зону обжига, составляет 14 % от всего воздуха, проходящего через зону охлаждения $\vartheta_{\text{охл}}$.

Расход воздуха на зону обжига

$$\vartheta_{\text{в.обж}} = x \cdot \vartheta_{\text{охл}} \text{ м}^3/\text{с},$$

$$\vartheta_{\text{в.обж}} = 0,14 \cdot 1,65 = 0,231 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Приведем $\vartheta_{\text{в.обж}}$ к 420 °С:

$$\vartheta_{\text{в.обж}}^{420} = \frac{0,231 \cdot (273 + 420)}{273} = 0,59 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Определим расход воздуха на сушилку:

$$\vartheta_{\text{в.обж}} = 1,65 - 0,231 = 1,419 \text{ м}^3/\text{с}.$$

На сушило воздух идет с температурой 250 °С. Приведем $\vartheta_{\text{в.суш}}$ к 250 °С:

$$\vartheta_{\text{в.обж}}^{250} = \frac{1,419 \cdot (273 + 250)}{273} = 2,72 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Находим тепло воздуха, вносимого в зону обжига из зоны охлаждения:

$$F_{\text{вн.ст}} = 2 \cdot 1,8 \cdot 20 = 72 \text{ кВт}, \quad (2.43)$$

$$Q_6 = 750 \cdot 0,59 = 442,5 \text{ кВт}.$$

Итого приходные статьи:

$$\begin{aligned} Q &= 35471,6 \cdot B + 31,92 \cdot B + 40,67 + 14,08 + 294,77 \cdot B + 442,5 = \\ &= 35818,29 \cdot B + 497,25 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

Приведем расходные статьи баланса.

Расход тепла на испарение влаги в сырце и нагрев водяных паров

$$Q_1 = P_{\text{час}} \cdot m_{\text{в}} \cdot [r + c_{\text{вп}} \cdot (t_{\text{шт}} - t_{\text{н}})] \cdot \frac{1}{3600} \text{ кВт}, \quad (2.44)$$

где $m_{\text{в}}$ – вес влаги высушенного сырца, $m_{\text{в}} = 0,3 \text{ кг}$;

r – скрытая теплота парообразования, $r = 2500 \text{ кДж/кг} \cdot \text{°С}$;

$c_{\text{вп}}$ – теплоемкость водяных паров, $c_{\text{вп}} = 1,97 \text{ кДж/кг} \cdot \text{°С}$;

$t_{\text{шт}}$ – температура продуктов горения на выходе, $t_{\text{шт}} = 150 \text{ °С}$.

$$Q_1 = 1150 \cdot 0,3 \cdot [2500 + 1,97 \cdot (150 - 20)] \cdot \frac{1}{3600} = 264,13 \text{ кВт}.$$

Расход тепла на химические реакции

$$Q_2 = P_{\text{час}} \cdot m_{\text{с}} \cdot n \cdot q_{\text{х}} \cdot \frac{1}{3600} \text{ кВт}, \quad (2.45)$$

где n – процентное содержание Al_2O_3 в глине, $n = 15 \%$;

$q_{\text{х}}$ – теплота, затраченная на химические реакции при обжиге 1 кг глины на каждый процент Al_2O_3 , $q_{\text{х}} = 20,93 \text{ кДж}$;

$$Q_2 = 1150 \cdot 3,3 \cdot 15 \cdot 20,93 \cdot \frac{1}{3600} = 330,96 \text{ кВт}.$$

Расход тепла на нагрев изделий до температуры обжига (из приходной части баланса зоны охлаждения):

$$Q_3 = 1136,39 \text{ кВт}.$$

Расход тепла на нагрев вагонеток (приходная часть баланса зоны охлаждения):

$$Q_4 = 260,49 \text{ кВт.}$$

Потери тепла теплопроводностью через кладку

По длине зону разбиваем на 2 участка:

1-й участок $20^\circ\text{C} - 600^\circ\text{C}$, $T_{\text{ср}} = 310^\circ\text{C}$, длина – 22 м;

2-й участок $600^\circ\text{C} - 980^\circ\text{C}$, $T_{\text{ср}} = 790^\circ\text{C}$, длина – 14 м.

Потери тепла через стены определяем по формуле (2.31).

1-й участок

Кладка двухслойная:

1-й слой – красный кирпич на глиняном растворе, $R_1 = 0,25$ м;

2-й слой – красный кирпич на сложном растворе, $R_2 = 0,89$ м.

$$T_{\text{кл.1}} = \frac{310 + 20}{2} = 165^\circ\text{C},$$

$$\lambda_{\text{кл.1}} = 0,47 + 0,00051 \cdot 165 = 0,5542 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C},$$

$$T_{\text{кл.2}} = \frac{165 + 20}{2} = 92,5^\circ\text{C},$$

$$\lambda_{\text{кл.2}} = 0,47 + 0,00051 \cdot 92,5 = 0,5172 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}.$$

$$F_{\text{нар.ст}} = 2 \cdot 3 \cdot 22 = 132 \text{ м}^2,$$

$$F_{\text{вн.ст}} = 2 \cdot 1,8 \cdot 22 = 79,2 \text{ м}^2.$$

$$Q_{\text{ст.1}} = \frac{310 - 20}{\frac{0,25}{0,5542} + \frac{0,89}{0,5172} + \frac{1}{15}} \cdot \sqrt{79,2 \cdot 132} \cdot 10^{-3} = 13,25 \text{ кВт.}$$

2-й участок

Кладка трехслойная:

1-й слой – шамотный кирпич, $R_1 = 0,25$ м;

2-й слой – красный кирпич на глиняном растворе, $R_2 = 0,25$ м;

3-й слой – красный кирпич на сложном растворе, $R_3 = 0,89$ м.

$$T_{\text{кл.1}} = \frac{790 + 405}{2} = 597,5^\circ\text{C},$$

$$\lambda_{\text{кл.1}} = 0,35 + 0,00035 \cdot 597,5 = 0,5591 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C},$$

$$T_{\text{кл.2}} = \frac{790 + 20}{2} = 405^\circ\text{C},$$

$$\lambda_{\text{кл.2}} = 0,47 + 0,00051 \cdot 405 = 0,6766 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C},$$

$$T_{\text{кл.3}} = \frac{405 + 20}{2} = 212,5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\lambda_{\text{кл.3}} = 0,47 + 0,00051 \cdot 212,5 = 0,5784 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}.$$

$$F_{\text{нар.ст}} = 2 \cdot 3 \cdot 14 = 84 \text{ м}^2,$$

$$F_{\text{вн.ст}} = 2 \cdot 1,8 \cdot 14 = 50,4 \text{ м}^2.$$

$$Q_{\text{ст.2}} = \frac{790 - 20}{\frac{0,25}{0,5591} + \frac{0,25}{0,6766} + \frac{0,89}{0,5784} + \frac{1}{15}} \cdot \sqrt{50,4 \cdot 84} \cdot 10^{-3} = 20,69 \text{ кВт}.$$

$$Q_{\text{ст}} = Q_{\text{ст.1}} + Q_{\text{ст.2}},$$

$$Q_{\text{ст}} = 13,25 + 20,69 = 33,94 \text{ кВт}.$$

Потери через свод определяем по формуле (2.34).

1-й участок

Кладка трехслойная:

1-й слой – красный кирпич на глиняном растворе, $R_1 = 0,25 \text{ м}$;

2-й слой – засыпка шлаком, $R_2 = 0,24 \text{ м}$;

3-й слой – красный кирпич на сложном растворе, $R_3 = 0,065 \text{ м}$.

$$T_{\text{кл.1}} = \frac{310 + 165}{2} = 237,5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\lambda_{\text{кл.1}} = 0,47 + 0,00051 \cdot 237,5 = 0,5911 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C},$$

$$T_{\text{кл.2}} = \frac{310 + 20}{2} = 165 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\lambda_{\text{кл.2}} = 0,115 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C},$$

$$T_{\text{кл.3}} = \frac{165 + 20}{2} = 92,5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\lambda_{\text{кл.3}} = 0,47 + 0,00051 \cdot 92,5 = 0,5172 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}.$$

Площади свода

$$F_{\text{вн.св}} = 2 \cdot 22 = 44 \text{ м}^2,$$

$$F_{\text{нар.св}} = 3,27 \cdot 22 = 71,94 \text{ м}^2.$$

$$Q_{\text{св.1}} = \frac{310 - 20}{\frac{0,25}{0,5911} + \frac{0,24}{0,115} + \frac{0,065}{0,5172} + \frac{1}{15}} \cdot \sqrt{44 \cdot 71,94} \cdot 10^{-3} = 6,04 \text{ кВт}.$$

2-й участок

Кладка четырехслойная:

1-й слой – шамотный кирпич, $R_1 = 0,25$ м;

2-й слой – красный кирпич на глиняном растворе, $R_2 = 0,065$ м;

3-й слой – засыпка шлаком, $R_3 = 0,575$ м;

4-й слой – красный кирпич на сложном растворе, $R_4 = 0,065$ м.

$$T_{\text{кл.1}} = \frac{790 + 405}{2} = 597,5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\lambda_{\text{кл.1}} = 0,35 + 0,00035 \cdot 597,5 = 0,5591 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C},$$

$$T_{\text{кл.2}} = \frac{790 + 20}{2} = 405 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\lambda_{\text{кл.2}} = 0,47 + 0,00051 \cdot 405 = 0,6766 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C},$$

$$T_{\text{кл.3}} = \frac{405 + 20}{2} = 212,5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\lambda_{\text{кл.3}} = 0,115 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C},$$

$$T_{\text{кл.4}} = \frac{212,5 + 20}{2} = 116,25 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\lambda_{\text{кл.4}} = 0,47 + 0,00051 \cdot 116,25 = 0,5293 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}.$$

Площади свода

$$F_{\text{вн.св}} = 2 \cdot 14 = 28 \text{ м}^2,$$

$$F_{\text{нар.св}} = 3,27 \cdot 14 = 45,78 \text{ м}^2.$$

$$Q_{\text{св.2}} = \frac{790 - 20}{\frac{0,25}{0,5591} + \frac{0,065}{0,6766} + \frac{0,575}{0,115} + \frac{0,065}{0,5293} + \frac{1}{15}} \cdot \sqrt{28 \cdot 45,78} \cdot 10^{-3} = 4,81 \text{ кВт}.$$

$$Q_{\text{св}} = Q_{\text{св.1}} + Q_{\text{св.2}},$$

$$Q_{\text{св}} = 6,04 + 4,81 = 10,85 \text{ кВт}.$$

Суммарные потери через кладку

$$Q_{\text{кл}} = Q_{\text{св}} + Q_{\text{ст}},$$

$$Q_{\text{кл}} = 33,94 + 10,85 = 44,79 \text{ кВт}.$$

Потери тепла с уходящими газами

$$Q_6 = Q_{\text{дым}} = B \cdot [V_{\text{пг}} + (\alpha_{\text{общ}} - 1) \cdot L] \cdot c_{\text{дым}} \cdot t_{\text{дг}} \text{ кВт}, \quad (2.46)$$

где V_0 – выход продуктов горения, $V_{\text{пг}} = 12,4298 \frac{\text{м}^3(\text{н})}{\text{м}^3(\text{н})}$;

$\alpha_{\text{общ}}$ – общий коэффициент расхода воздуха, для коротких туннельных печей $\alpha_{\text{общ}} = 3$;

L_0 – теоретический расход воздуха, $L = 9,52 \frac{\text{м}^3(\text{н})}{\text{м}^3(\text{н})}$;

$c_{\text{дым}}$ – теплоемкость дымовых газов при $t_{\text{дг}}$;

$t_{\text{дг}}$ – температура дымовых газов, $t_{\text{дг}} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$;

$$c_{\text{дым}} = 0,01 \cdot [8,065 \cdot 1,7438 + 16,0145 \cdot 1,5138 + 72,67 \cdot 1,3021 + 3,217 \cdot 1,3239] = 1,3724 \text{ кДж/м}^3 \cdot \text{ }^\circ\text{C};$$

$$Q_6 = Q_{\text{дым}} = B \cdot [12,4298 + (3-1) \cdot 9,52] \cdot 1,3724 \cdot 150 = 6474,26 \cdot B \text{ кВт.}$$

Итого расходные статьи:

$$Q = 264,13 + 330,96 + 1136,39 + 260,49 + 44,79 + 6474,26 \cdot B = 2036,76 + 6474,26 \cdot B.$$

Определим расход газа на туннельную печь. Для этого приравняем приходные и расходные статьи теплового баланса:

Расход газа на туннельную печь после реконструкции:

$$35818,29 \cdot B + 497,25 = 6474,26 \cdot B + 2036,76,$$

$$29344,03 \cdot B = 1539,51,$$

$$B = 0,0525 \text{ м}^3/\text{с} = 189 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Расход газа на туннельную печь до реконструкции:

$$35818,29 \cdot B + 484,64 = 6474,26 \cdot B + 2123,36,$$

$$29344,03 \cdot B = 1638,72,$$

$$B = 0,05587 \text{ м}^3/\text{с} = 200,88 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Находим удельный расход газа:

$$B_{\text{уд}} = \frac{B \cdot 1000 \text{ шт.}}{P_{\text{час}}}, \quad (2.47)$$

$$B_{\text{уд}} = \frac{B \cdot 1000}{1150} = 164,35 \text{ м}^3/1000 \text{ шт.}$$

Расход условного топлива определяем исходя из калорийности природного газа

$$B_{\text{ут}} = \frac{B \cdot Q_{\text{н}}^{\text{п}}}{Q_{\text{ут}}}, \quad (2.48)$$

где $Q_{\text{ут}}$ – теплота сгорания условного топлива;

$$B_{\text{уд}} = \frac{189 \cdot 35471,6}{29300} = 228,94 \text{ кг/ч.}$$

Удельный расход условного топлива

$$B_{\text{ут}}^{\text{уд}} = \frac{B_{\text{ут}} \cdot 1000}{P_{\text{час}}}, \quad (2.49)$$

$$B_{\text{ут}}^{\text{уд}} = \frac{228,94 \cdot 1000}{1150} = 199,08 \text{ кг/1000 шт.}$$

Выбор газогорелочных устройств

Для установки на печи газогорелочных устройств для сжигания природного газа принимаем горелки специальные. Номинальный расход газа на одну горелку $B_1 = 16 \text{ м}^3/\text{ч}$. Определяем число горелок:

$$n_{\text{гу}} = \frac{B}{B_1}, \quad (2.50)$$

где $n_{\text{гу}}$ – число горелочных устройств, шт.;

B – расход газа на печь, $B = 189 \text{ м}^3/\text{ч}$;

$$n_{\text{гу}} = \frac{189}{16} = 12 \text{ шт.}$$

Для обеспечения необходимого тепло-технологического процесса принимаем количество горелок, равное 12 шт.

Т а б л и ц а 14

№ п/п	Статьи теплового баланса	Количество тепла	
		кВт	%
Приход тепла			
1	Тепло горения топлива	1862,24	78,36
2	Тепло топлива физическое	1,68	0,07
3	Тепло загружаемого кирпича	40,67	1,71
4	Тепло, вносимое вагонетками	14,08	0,59
5	Тепло воздуха, идущего на горение	15,47	0,65
6	Тепло воздуха из зоны охлаждения	442,5	18,62
	Итого	2376,64	100,00
Расход тепла			
1	Расход на испарение и нагрев влаги	264,13	11,11
2	Расход на химические реакции	330,96	13,93
3	Расход на нагрев изделий	1136,39	47,81
4	Расход на нагрев вагонеток	260,49	10,96
5	Потери через кладку	44,79	1,89
6	Потери с уходящими газами	339,90	14,3
	Итого	2376,64	100,00

Таблица 15

№ п/п	Статьи теплового баланса	Количество тепла	
		кВт	%
Приход тепла			
1	Тепло горения топлива	1862,24	96,28
2	Тепло топлива физическое	1,68	0,09
3	Тепло загружаемого кирпича	40,67	2,10
4	Тепло, вносимое вагонетками	14,08	0,73
5	Тепло воздуха, идущего на горение	15,47	0,80
	Итого	1934,16	100,00
Расход тепла			
1	Расход на испарение и нагрев влаги	264,13	13,66
2	Расход на химические реакции	330,96	17,11
3	Потери с выходящими изделиями	289,75	14,98
4	Потери с выходящими вагонетками	92,35	4,77
5	Потери через кладку	94,31	4,88
6	Потери с уходящими газами	339,90	17,57
7	Потери тепла с охлаждающим воздухом (на сушило)	522,76	27,03
	Итого	1934,16	100,00

2.3.4. Расчет количества газов, проходящих по печи

Исходные данные:

а) часовая производительность печи по обжигу, шт. 1150;

б) расход природного газа в час, м³ – 189;

в) объем воздуха на горение, $\frac{\text{м}^3(\text{н})}{\text{м}^3(\text{н})}$ – 11,4252;

г) объем продуктов горения, $\frac{\text{м}^3(\text{н})}{\text{м}^3(\text{н})}$ – 12,4298;

д) температура отработанных газов, °С – 150;

е) температура воздуха, отбираемого из зоны охлаждения, °С – 250;

Количество дымовых газов.

Объем отработанных дымовых газов определяем по формуле

$$V_{\text{ог}} = B \cdot [V_{\text{пр}} + L \cdot (\alpha - 1)] \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.51)$$

где L – теоретический расход воздуха, $L = 9,52 \frac{\text{м}^3(\text{н})}{\text{м}^3(\text{н})}$;

$$V_{\text{пр}} - \text{выход продуктов горения, } V_{\text{пр}} = 12,4298 \frac{\text{М}^3(\text{Н})}{\text{М}^3(\text{Н})};$$

α – коэффициент избытка воздуха, $\alpha = 3$;

$$V_{\text{ог}} = 189 \cdot [12,4298 + 9,52 \cdot (3 - 1)] = 5947,79 \text{ нм}^3/\text{ч}.$$

Схема движения материала, газа, воздуха и продуктов горения в печах представлена на рис. 3.

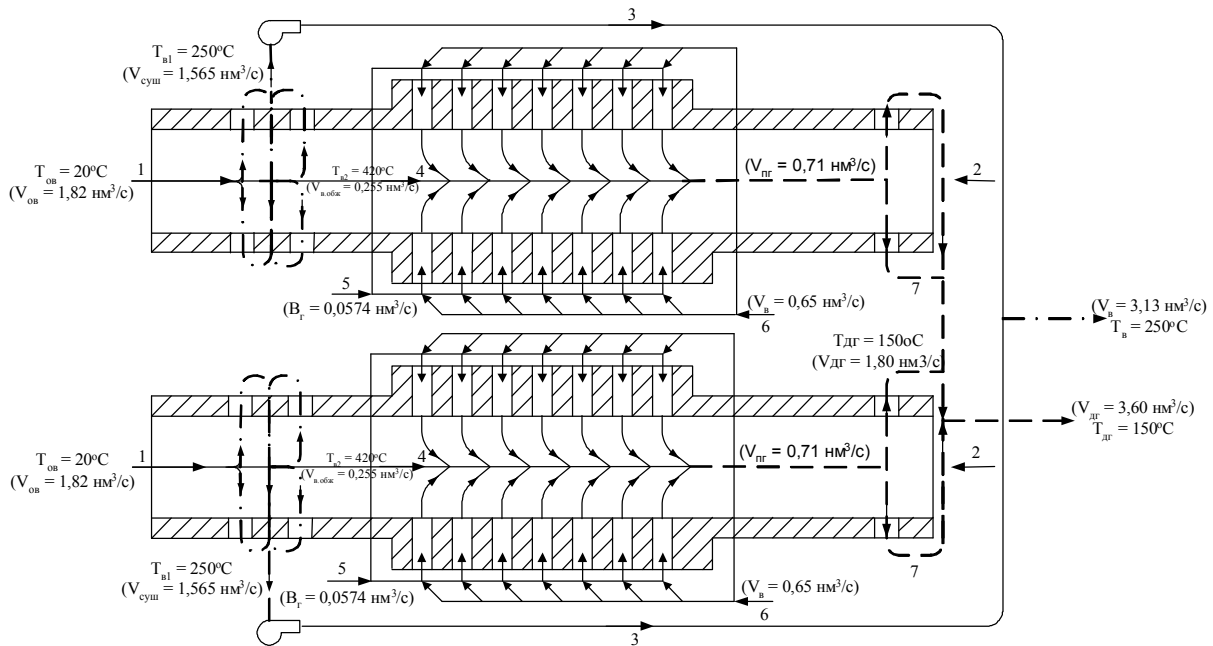


Рис. 3. Схема движения материала, газа, воздуха и продуктов горения в печах:
 1 – подача воздуха на охлаждение кирпича; 2 – загрузка материала;
 3 – отбор горячего воздуха на сушило; 4 – воздух в зону обжига;
 5 – подача природного газа; 6 – подача воздуха на горение;
 7 – выброс дымовых газов в трубу

Примечание. Параметры, указанные в скобках, определены в результате расчетов (из теплового баланса зоны обжига).

Объем отходящих дымовых газов, приведенный к 150°C , равен:

$$V_{\text{ог}}^{150} = 5947,79 \cdot \frac{273 + 150}{273} = 9215,8 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Объем воздуха, отбираемого из зоны охлаждения туннельной печи

$$\vartheta_{\text{в.суш}}^{250} = 2,72 \cdot 3600 = 9792 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Объем воздуха, поступающего в зону охлаждения

$$\vartheta_{\text{в}} = \vartheta_{\text{суш}} + \vartheta_{\text{обж}} = 1,419 + 0,231 = 1,65 \text{ м}^3/\text{с} = 5940 \text{ м}^3/\text{ч}$$

(из теплового баланса зоны обжига).

2.3.5. Расчет аэродинамических сопротивлений туннельной печи

Сопротивление аэродинамической системы туннельной печи состоит из сопротивлений садки изделий в печи и местных сопротивлений ее отдельных элементов: трубопроводов, дымоходов, заслонок и т.п., на всасывающей и нагнетающей сторонах вентиляторов.

Сопротивление садки изделий.

Для расчета принимаются показания замеров на действующей печи, работающей на природном газе, по точкам (см. рис. 3):

в точке T_1 $H_c = -31,4$ мм вод.ст.;

в точке T_2 $H_c = 0$ мм вод.ст.;

в точке T_3 $H_c = 14,3$ мм вод.ст.;

в точке T_4 $H_c = 21$ мм вод.ст.

Местные сопротивления систем отбора дымовых газов и воздуха из печи, и подачи воздуха в печь.

Дымосос:

Всасывающая сторона – 2,5 мм вод.ст.

Нагнетающая сторона – 8,1 мм вод.ст.

Полный напор $H_{\pi} = 10,6$ мм вод.ст.

Вентилятор отбора горячего воздуха:

Всасывающая сторона – 4,6 мм вод.ст.

Нагнетающая сторона – 9,6 мм вод.ст.

Полный напор $H_{\pi} = 14,2$ мм вод.ст.

Вентилятор подачи воздуха в печь:

Всасывающая сторона – 10,9 мм вод.ст.

Нагнетающая сторона – 11,1 мм вод.ст.

Полный напор $H_{\pi} = 22,0$ мм вод.ст.

Общее сопротивление систем:

Отбор дымовых газов

$$H_{\text{общ}} = H_c + H_{\pi}, \text{ мм вод.ст.}, \quad (2.52)$$

где H_c – сопротивление садки, мм вод.ст.;

H_{π} – полный напор местного сопротивления, мм вод.ст.

$$H_{\text{общ}} = 31,4 + 10,6 = 42 \text{ мм вод.ст. при } t = 150 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Отбор горячего воздуха

$$H_{\text{общ}} = 14,3 + 14,2 = 28,5 \text{ мм вод.ст. при } t = 250 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Подача холодного воздуха

$$H_{\text{общ}} = 21 + 22 = 43 \text{ мм вод.ст. при } t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

2.3.6. Подбор вентиляторов

Вентилятор отбора горячего воздуха из зоны охлаждения:

1) часовой объем отбираемого горячего воздуха $\vartheta_t = 5108,4 \text{ м}^3/\text{ч}$;

2) общее сопротивление системы $H_{\text{общ}} = 28,5 \text{ мм вод.ст.}$

Приводим сопротивление к $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, так как номограммы рассчитаны на эту температуру

$$H_o = H_{\text{общ}} \cdot \left(\frac{273+t}{273+20} \right); \quad (2.53)$$

$$H_o = 28,5 \cdot \left(\frac{273+250}{273+20} \right) = 50,8 \text{ мм вод.ст.}$$

По номограммам [38] выбираем центробежный вентилятор типа Ц9-57 №6, число оборотов $n = 725 \text{ об/мин}$, КПД $\eta = 0,6$.

Вентилятор нагнетания холодного воздуха:

1) часовой объем нагнетаемого в печь воздуха $\vartheta_t = 5940 \text{ м}^3/\text{ч}$;

2) общее сопротивление системы при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ $H_{\text{общ}} = 43 \text{ мм вод.ст.}$

По номограммам [38] выбираем центробежный вентилятор типа Ц4-70 №8, число оборотов $n = 650 \text{ об/мин}$, КПД $\eta = 0,7$.

Вентилятор отсоса отработанных дымовых газов:

1) часовой объем отработанных дымовых газов $\vartheta_t = 5947,79 \text{ м}^3/\text{ч}$;

2) общее сопротивление системы $H_{\text{общ}} = 42 \text{ мм вод.ст.}$

$$H_o = 42 \cdot \left(\frac{273+150}{273+20} \right) = 60,6 \text{ мм вод.ст.}$$

По номограммам [38] выбираем центробежный вентилятор типа Ц4-70 №8, число оборотов $n = 760 \text{ об/мин}$, КПД $\eta = 0,65$.

Вентилятор рециркуляции теплоносителя:

1) производительность вентилятора соответствует производительности дымососа $\vartheta_t = 5947,79 \text{ м}^3/\text{ч}$;

2) общее сопротивление системы $H_{\text{общ}} = 31 \text{ мм вод.ст.}$

$$H_o = 31 \cdot \left(\frac{273+150}{273+20} \right) = 44,8 \text{ мм вод.ст.}$$

По номограммам [38] выбираем центробежный вентилятор типа Ц4-70 №6, число оборотов $n = 960 \text{ об/мин}$, КПД $\eta = 0,6$.

2.4. Расчет процесса сушки кирпича-сырца и тепловой баланс сушилки

Тепловые потери из печи с охлаждающим воздухом самые большие и составляют 27,16 % в тепловом балансе печи. Нагретый воздух как вторичный энергетический ресурс должен быть использован. Тепло воздуха можно использовать в сушилках, то есть на технологические цели.

Условная производительность сушилки принята в соответствии с производительностью печи – $P_r = 9$ млн шт. в год. В переводе на массу $P_r^M = 33000$ т/год. Начальная относительная влажность изделий $\omega_H = 22$ %. Конечная относительная влажность после сушки $\omega_K = 7,5$ %.

Сушка производится горячим воздухом, отбираемым из зоны охлаждения туннельных печей. Начальную температуру воздуха при входе в сушилку принимаем $t_H = 120$ °С.

1. Для определения часовой производительности сушилки принимаем: количество рабочих дней в году – 350, брак при сушке и обжиге $\delta = 2$ %. Тогда часовая производительность по обжигаемым изделиям будет равна:

$$P_{\text{час}}^c = \frac{P_r^M \cdot 100}{345 \cdot 24 \cdot (100 - \delta)} \text{ кг/ч}, \quad (2.54)$$

где 24 – число часов в сутках;

$$P_{\text{час}}^c = \frac{33000 \cdot 10^3 \cdot 100}{350 \cdot 24 \cdot (100 - 2)} = 4008,7 \text{ кг/ч.}$$

Если потери при прокаливании в процессе обжига составляют $\delta_{\text{пр}} = 2$ %, то часовая производительность сушилки по сухой массе составит:

$$P_c = P_{\text{час}}^c \cdot \frac{100 + \delta_{\text{пр}}}{100} \text{ кг/ч}, \quad (2.55)$$

$$P_c = 4008,7 \cdot \frac{100 + 2}{100} = 3928,5 \text{ кг/ч.}$$

Поступает в сушилку влажных изделий

$$P_{\text{вл}} = P_c \cdot \frac{100}{100 - \omega_H} \text{ кг/ч}, \quad (2.56)$$

$$P_{\text{вл}} = 3928,5 \cdot \frac{100}{100 - 22} = 5036,5 \text{ кг/ч.}$$

Выходит из сушилки высушенных изделий

$$P_{\text{м}} = P_{\text{с}} \cdot \frac{100}{100 - \omega_{\text{к}}} \text{ кг/ч}, \quad (2.57)$$

$$P_{\text{м}} = 3928,5 \cdot \frac{100}{100 - 7,5} = 4247,03 \text{ кг/ч}.$$

2. Часовое количество испаряемой влаги:

$$n = P_{\text{вл}} \cdot \frac{\omega_{\text{н}} - \omega_{\text{к}}}{100 - \omega_{\text{к}}} \text{ кг/ч}, \quad (2.58)$$

$$n = 5036,5 \cdot \frac{22 - 7,5}{100 - 7,5} = 789,5 \text{ кг/ч}.$$

3. Расход сухого воздуха для теоретического процесса сушки.

Начальные параметры воздуха, поступающего в сушилку, $t_{\text{н}} = 120 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Влагосодержание $d_{\text{н}}$ находится по $I-d$ диаграмме [34] для летних условий $t_{\text{воз}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 70 \%$ (точка A). Получаем $d_{\text{н}} = 12 \text{ г/кг сух. воз.}$ и теплосодержание $I_{\text{воз}} = 56 \text{ кДж/кг сух. воз.}$ Схема расчета по $I-d$ диаграмме дана в работе [34, рис. 3.1].

При повышении температуры воздуха в зоне охлаждения печи до $t_{\text{н}} = 120 \text{ }^{\circ}\text{C}$ его влагосодержание не изменяется, а теплосодержание повышается до $I_{\text{н}} = 156 \text{ кДж/кг сух. воз.}$ (точка B).

Теоретический процесс сушки, изображенный линией BC , заканчивается при $d_2 = 41 \text{ г/кг сух. воз.}$ Точка C находится на пересечении линии $I_{\text{н}} = \text{const}$ с линией $t_{\text{к}} = \text{const}$, задаемся $t_{\text{к}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Расход сухого воздуха при теоретическом процессе сушки находим по формуле

$$G_{\text{с}}^{\text{т}} = \frac{n \cdot 1000}{d_2 - d_{\text{н}}} \text{ кг сух. воз./ч}, \quad (2.59)$$

$$G_{\text{с}}^{\text{т}} = \frac{789,5 \cdot 1000}{41 - 12} = 27224,14 \text{ кг сух. воз./ч}.$$

4. Потери теплосодержания воздуха в процессе сушки. Для расчета действительного процесса сушки определяем расход тепла в сушилке на нагрев материала, потери тепла в окружающую среду и тепло, аккумулированное кладкой сушилки. Продолжительность сушки изделий принимаем 72 часа. Ширина сушильной камеры $b = 1,4 \text{ м}$, длина камеры $l = 17,8 \text{ м}$, высота $h = 3 \text{ м}$. Сушилка состоит из 30 камер.

Стены и свод сушилки выполнены из красного кирпича, толщина стен $R_{\text{ст}} = 0,24 \text{ м}$, толщина свода $R_{\text{св}} = 0,12 \text{ м}$.

Общая ширина сушилки:

$$B_c = b \cdot 30 + R_{ct} \cdot 31 \text{ м}, \quad (2.60)$$

$$B_c = 1,4 \cdot 30 + 0,24 \cdot 31 = 49,44 \text{ м}.$$

Расход тепла на нагрев изделий в сушиле определяем по формуле

$$q_m = P_m \cdot c_m \cdot (t_k - t_n) \text{ кДж/ч}, \quad (2.61)$$

где c_m – теплоемкость высушенного материала

$$c_m = c_c \cdot \frac{100 - \omega_k}{100} + \frac{4,2 \cdot \omega_k}{100} \text{ кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}; \quad (2.62)$$

здесь c_c – теплоемкость абсолютно сухого материала, кДж/кг · °С;

$$c_c = 0,921 \text{ кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C};$$

$$c_m = 0,921 \cdot \frac{100 - 7,5}{100} + \frac{4,2 \cdot 7,5}{100} = 1,1669 \text{ кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C};$$

t_k и t_n – конечная и начальная температуры кирпича при сушке,
 $t_k = 90 ^\circ\text{C}$, $t_n = 35 ^\circ\text{C}$;

$$q_m = 4247,03 \cdot 1,1669 \cdot (90 - 35) = 272572,26 \text{ кДж/ч}.$$

Потери тепла в окружающую среду через стены, потолок и двери определяем по формуле

$$q_{окр} = 3,6 \cdot k \cdot (t_{cp} - t_{окр}) \cdot F \text{ кДж/ч}, \quad (2.63)$$

где k – коэффициент теплопередачи, который определяем по формуле

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2}} \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}; \quad (2.64)$$

здесь α_1 – коэффициент теплоотдачи внутри сушила от движущегося сушильного агента к стенкам камеры, для садки изделий на этажерках при низких температурах $\alpha_1 = 5,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;

S_1 – толщина стенки, $S_1 = R_{ct} = 0,24 \text{ м}$;

λ_1 – коэффициент теплопроводности кирпичной стенки,
 $\lambda_1 = 0,5 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$;

α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенки в окружающую среду, определяем по номограмме для $\Delta t = 15 ^\circ\text{C}$ [38],

$$\alpha_2 = 10 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C};$$

t_{cp} – средняя температура сушильного агента, $t_{\text{cp}} = \frac{120 + 40}{2} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$;

$t_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды, $t_{\text{окр}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;

F – теплоотдающая поверхность стенок.

$$F_{\text{ст}} = 2 \cdot l \cdot h + b \cdot h \cdot 30 \text{ м}; \quad (2.65)$$

$$F_{\text{ст}} = 2 \cdot 17,8 \cdot 3 + 1,4 \cdot 3 \cdot 30 = 232,8 \text{ м}^2,$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{5,2} + \frac{0,24}{0,5} + \frac{1}{10}} = 1,3 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}.$$

Потери тепла через стены

$$q_{\text{ст}} = 3,6 \cdot 1,3 \cdot (80 - 20) \cdot 232,8 = 65370 \text{ кДж/ч}.$$

Находим поверхность потолка для определения потерь через свод:

$$F_{\text{св}} = l \cdot B_{\text{с}}, \quad (2.66)$$

$$F_{\text{св}} = 17,4 \cdot 49,44 = 880 \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплопроводности красного кирпича $\lambda_1 = 0,5 \text{ Вт/м} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$.

Коэффициент теплоотдачи $\alpha_2 = 11,4 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$.

Коэффициент теплопередачи по формуле (2.64)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{5,2} + \frac{0,12}{0,5} + \frac{1}{11,4}} = 1,92 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}.$$

Потери тепла через потолок по формуле (2.63)

$$q_{\text{пот}} = 3,6 \cdot 1,92 \cdot (80 - 20) \cdot 880 = 364954 \text{ кДж/ч}.$$

Определяем потери тепла через дверки, выполненные из дерева толщиной $R = 50 \text{ мм}$. Коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{д}} = 0,16 \text{ Вт/м} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$.

Поверхность дверок:

$$F_{\text{дв}} = b \cdot h \cdot 30, \quad (2.67)$$

$$F_{\text{дв}} = 1,4 \cdot 3 \cdot 30 = 126 \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплопередачи по формуле (2.64)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{5,2} + \frac{0,05}{0,16} + \frac{1}{10}} = 1,653 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$q_{\text{дв}} = 3,6 \cdot 1,653 \cdot (80 - 20) \cdot 126 = 44988 \text{ кДж/ч}.$$

Суммарные потери тепла в окружающую среду составят:

$$q_{\text{окр}} = q_{\text{ст}} + q_{\text{св}} + q_{\text{дв}} \text{ кДж/ч}, \quad (2.68)$$

$$q_{\text{окр}} = 65370 + 364953,6 + 44988 = 475312 \text{ кДж/ч.}$$

Теплота аккумуляции определяется по формуле

$$Q_{\text{акк}} = G_{\text{ккл}} \cdot (c_{\text{к}} \cdot t_{\text{к}} - c_{\text{н}} \cdot t_{\text{н}}) \cdot \frac{1}{\tau} \text{ кДж/ч}, \quad (2.69)$$

где $G_{\text{ккл}}$ – масса кладки, аккумулирующая тепло

$$G_{\text{ккл}} = G_{\text{ст}} + G_{\text{св}} \text{ кг}; \quad (2.70)$$

здесь

$$G_{\text{ст}} = \delta_{\text{ккл}} \cdot \rho \cdot (l \cdot h \cdot 31 + 30 \cdot b \cdot h), \quad (2.71)$$

$$G_{\text{св}} = \delta_{\text{ккл}} \cdot \rho \cdot (l \cdot B_{\text{с}}); \quad (2.72)$$

здесь $\delta_{\text{ккл}}$ – толщина слоя аккумуляции, $\delta_{\text{ккл}} = 0,06 \text{ м}$;

ρ – плотность кирпича, $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$;

$c_{\text{н}}, c_{\text{к}}$ – теплоемкости кирпичных стен и свода при $t_{\text{н}}, t_{\text{к}}$;

$c_{\text{н}} = 0,848 \text{ кДж/кг} \cdot \text{°C}$, $c_{\text{к}} = 0,866 \text{ кДж/кг} \cdot \text{°C}$;

$t_{\text{н}} = 40 \text{ °C}$, $t_{\text{к}} = 110 \text{ °C}$ – начальная и конечная температуры стен и свода;

τ – время сушки (аккумуляции);

$$Q_{\text{акк}} = 0,06 \cdot 1800 \cdot (17,8 \cdot 3 \cdot 31 + 30 \cdot 1,4 \cdot 3 + 17,8 \cdot 44,49) \times \\ \times (0,866 \cdot 110 - 40 \cdot 0,848) \times \frac{1}{72} = 244875 \text{ кДж/ч.}$$

Суммарные потери тепла в сушилке:

$$q_{\text{пот}} = q_{\text{м}} + q_{\text{окр}} + q_{\text{акк}}, \quad (2.73)$$

$$q_{\text{пот}} = 272572,26 + 475312 + 244875 = 992759,26 \text{ кДж/ч.}$$

Потери теплосодержания воздуха в сушилке:

$$I_{\text{пот}} = \frac{q_{\text{пот}}}{G_{\text{с}}^{\text{T}}} \text{ кДж/кг сух. воз.}, \quad (2.74)$$

$$I_{\text{пот}} = \frac{992759,26}{27224,14} = 36,47 \text{ кДж/кг сух. воз.}$$

5. Действительный расход воздуха на сушку определяем с помощью $I-d$ диаграммы. Для этого по $I-d$ диаграмме от $t.C$ вниз откладываем

величину $I_{\text{пот}} = 36,47$ кДж/кг сух. воз. Действительный процесс сушки изображается линией BE . Конечные параметры сушильного агента $t_k = 40$ °С, $\phi_k = 55$ %, $d_k = 34$ г/кг сух. воз.

Действительный расход воздуха на сушку равен:

$$G_{\text{с.воз}} = \frac{n \cdot 1000}{d_k - d_H} \text{ кг сух. воз./ч,} \quad (2.75)$$

$$G_{\text{с.воз}} = \frac{789,5 \cdot 1000}{34 - 12} = 35886,36 \text{ кг сух. воз./ч} = 8,64 \text{ м}^3(\text{н})/\text{с.}$$

Количество воздуха, подаваемого в сушило при $t_{\text{воз}} = 20$ °С и $V = 0,86$ м³/кг сух. воз. [38, прил. 40], составит:

$$V'_{\text{возд}} = V \cdot G_{\text{с.воз}} \text{ м}^3/\text{ч,} \quad (2.76)$$

$$V'_{\text{возд}} = 0,86 \cdot 35886,36 = 30862,27 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

При температуре $t = 120$ °С действительный расход воздуха равен:

$$V'_{\text{возд}} = 30862,27 \cdot \left(1 + \frac{120 - 20}{273}\right) = 42167,13 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Количество отработанного воздуха, удаляемого из сушила при $t_k = 40$ °С, находим по формуле

$$V_{\text{yx}} = \left(\frac{G_{\text{см}}}{\rho_o} + \frac{n}{0,8}\right) \cdot (1 + \beta \cdot t) \text{ м}^3/\text{ч,} \quad (2.77)$$

где $G_{\text{см}} = 1,009 \cdot 35886,36 = 36209,34$ кг/ч;

ρ_o – плотность отработанного воздуха, $\rho_o = 1,3$ кг/м³;

$$V_{\text{yx}} = \left(\frac{36209,34}{1,3} + \frac{789,5}{0,8}\right) \cdot \left(1 + \frac{40}{273}\right) = 33065,89 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

6. Расход тепла на сушку находим по формуле

$$Q = G_{\text{с.воз}} \cdot (I_H - I_{\text{воз}}) - 4,2 \cdot n \cdot t_M \text{ кДж/ч,} \quad (2.78)$$

где t_M – температура материала, поступающего в сушилку;

$$Q = 35886,36 \cdot (156 - 56) - 4,2 \cdot 789,5 \cdot 35 = 3,47 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч.}$$

7. Составим тепловой баланс сушилки (табл.16).

Тепло, уходящее с отработанным воздухом

$$q_{\text{yx}} = G_{\text{с.воз}} \cdot [1 \cdot (t_k - t_H) + 0,009 \cdot 1,97 \cdot (t_k - t_H)] \text{ кДж/ч,} \quad (2.79)$$

$$q_{\text{yx}} = 35886,36 \cdot [1 \cdot (40 - 20) + 0,009 \cdot 1,97 \cdot (40 - 20)] = 730452,5 \text{ кДж/ч.}$$

Тепло на испарение и нагрев влаги материала

$$q_{\text{исп}} = (2493 + 1,97 \cdot t_k - 4,2 \cdot t_m) \cdot n \text{ кДж/ч}, \quad (2.80)$$

$$q_{\text{исп}} = (2493 + 1,97 \cdot 40 - 4,2 \cdot 35) \cdot 789,5 = 1914379,6 \text{ кДж/ч.}$$

8. Расчет горения топлива в подтопке (аналогично п.2.3.2)

Состав топлива:

$$\text{CH}_4 = 98,49 \%$$

$$\text{C}_2\text{H}_6 = 0,51 \%$$

$$\text{C}_3\text{H}_8 = 0,17 \%$$

$$\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,05 \%$$

$$\text{N}_2 = 0,75 \%$$

$$\text{CO}_2 = 0,03 \%$$

$$\text{Всего: } 100 \%$$

Т а б л и ц а 1 6

№ п/п	Статьи теплового баланса	Количество тепла	
		кДж/ч	%
Приход тепла			
1	Количество тепла, необходимое для сушки	$3,4726 \cdot 10^6$	100,00
Расход тепла			
1	Нагрев материала q_m	272572,26	7,8
2	Потери в окружающую среду $q_{\text{окр}}$	475312	13,7
3	Испарение и нагрев влаги $q_{\text{исп}}$	1914379,6	55,1
4	Тепло на аккумуляцию $q_{\text{акк}}$	244875	7,0
5	Тепло с уходящим воздухом $q_{\text{вх}}$	730452,5	21,0
	Итого	$3,6376 \cdot 10^6$	104,6
6	Невязка баланса	- 165000	- 4,6

Расход окислителя на горение топлива составит:

$$O_1 = 0,01(2 \cdot 98,49 + 3,5 \cdot 0,51 + 5 \cdot 0,17 + 6,5 \cdot 0,05) = 1,9994 \frac{\text{м}^3(\text{Н})}{\text{м}^3(\text{Н})}$$

Теоретически максимально необходимый для полного горения единицы топлива расход воздуха равен:

$$L = \frac{1,9994}{0,21} = 9,521 \frac{\text{м}^3(\text{Н})}{\text{м}^3(\text{Н})}$$

Действительный расход воздуха:

$$L_d = 1,15 \cdot 9,521 = 10,949 \frac{\text{м}^3(\text{н})}{\text{м}^3(\text{н})}$$

Количество продуктов горения будет равно:

$$V_{\text{CO}_2} = 0,01 \cdot (98,49 + 2 \cdot 0,51 + 3 \cdot 0,17 + 4 \cdot 0,05 + 0,03) = 1,0025 \frac{\text{м}^3(\text{н})}{\text{м}^3(\text{н})};$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01 \cdot (2 \cdot 98,49 + 3 \cdot 0,51 + 4 \cdot 0,17 + 5 \cdot 0,05) = 1,9944 \frac{\text{м}^3(\text{н})}{\text{м}^3(\text{н})};$$

$$V_{\text{N}_2} = 0,01 \cdot (0,5 + 79 \cdot 10,949) = 8,6547 \frac{\text{м}^3(\text{н})}{\text{м}^3(\text{н})}.$$

$$V_{\text{O}_2} = 1,9994 \cdot (1,15 - 1) = 0,2999 \frac{\text{м}^3(\text{н})}{\text{м}^3(\text{н})}.$$

Теплота сгорания топлива

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 0,01 \cdot (35818 \cdot 98,49 + 63748 \cdot 0,51 + 91255 \cdot 0,17 + 118700 \cdot 0,05) = \\ = 3547,6 \text{ кДж/м}^3(\text{н}).$$

Выход продуктов горения

$$V_{\text{пг}} = 1,0025 + 1,9944 + 8,6547 + 0,2999 = 11,9515 \frac{\text{м}^3(\text{н})}{\text{м}^3(\text{н})}.$$

Процентный состав продуктов горения составит:

$$\langle \text{CO}_2 \rangle = \frac{1,0025}{11,9515} \cdot 100\% = 8,39\%,$$

$$\langle \text{H}_2\text{O} \rangle = \frac{1,9944}{11,9515} \cdot 100\% = 16,69\%,$$

$$\langle \text{N}_2 \rangle = \frac{8,6547}{11,9515} \cdot 100\% = 72,42\%,$$

$$\langle \text{O}_2 \rangle = \frac{0,2999}{11,9515} \cdot 100\% = 2,5\%.$$

9. Приводим окончательный вариант итерационного расчета параметров воздуха, необходимых для сушки.

Количество воздуха, подаваемого в сушилку из зоны охлаждения печи, недостаточно для сушки. Поэтому дополнительно используют подтопок. В подтопке установлена горелка для сжигания природного газа. Также в подтопок нагнетается воздух, необходимый для разбавления продуктов горения до нужной температуры. Смесь воздуха и продуктов горения смешивается с горячим воздухом, идущим от печи.

Таким образом, обеспечиваются необходимые параметры воздуха для сушки кирпича-сырца (рис.4).

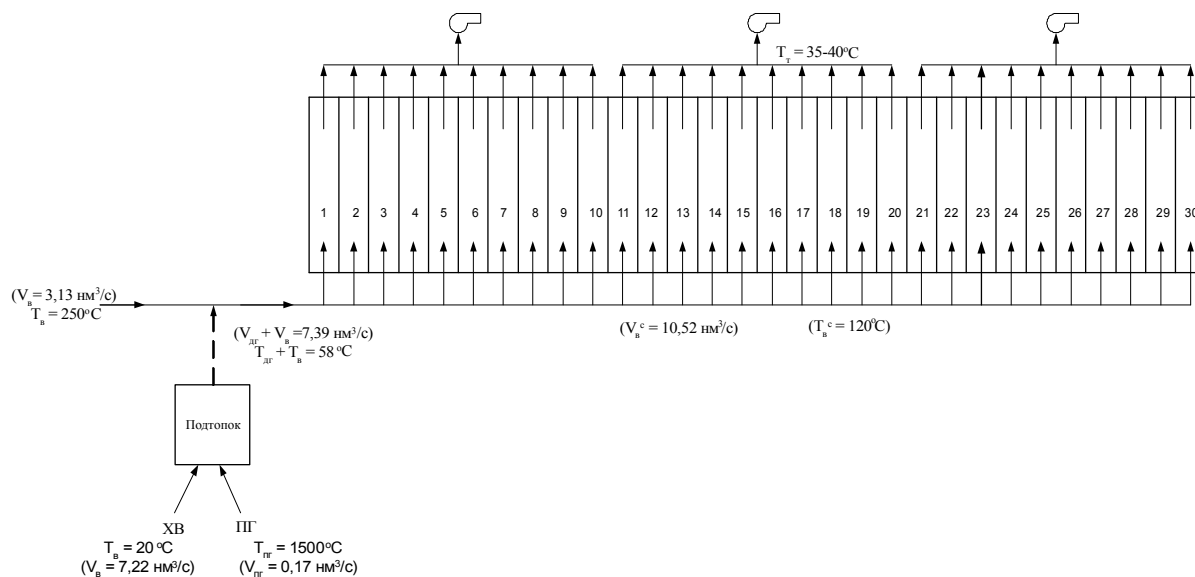


Рис. 4. Схема движения теплоносителей от печи и подтопка к сушилке

Примечание. В скобках указаны параметры теплоносителей, полученные в результате расчетов

Действительный объем воздуха, необходимый для сушки, $V_{\text{в}}^{\text{с}} = 8,64 \text{ м}^3/\text{с}$.
Учитывая потери в сушилке ($\sim 20\%$), объем воздуха, $V_{\text{в}}^{\text{с}} = 10,37 \text{ м}^3/\text{с}$.

Объем смеси от подтопка

$$V_{\text{дг+в}} = V_{\text{в}}^{\text{с}} - V_{\text{в}} \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.81)$$

где $V_{\text{в}}^{\text{с}}$ – объем воздуха, необходимый для сушки, $V_{\text{в}}^{\text{с}} = 10,37 \text{ м}^3/\text{с}$;
 $V_{\text{в}}$ – объем воздуха, отбираемый в зоне охлаждения печи,
 $V_{\text{в}} = 3,13 \text{ м}^3/\text{с}$;

$$V_{\text{дг+в}} = 10,37 - 3,13 = 7,24 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Объем продуктов горения в подтопке

$$V_{\text{пг}}^{\text{п}} = V_{\text{пг}} \cdot B \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.82)$$

где $V_{\text{пг}}^{\text{п}}$ – выход продуктов горения (из горения топлива в подтопке);
 B – расход газа в горелке подтопка, принимаем $B = 52 \text{ м}^3/\text{ч}$;

$$V_{\text{пг}}^{\text{п}} = 11,9515 \cdot 0,0144 = 0,17 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Рассчитываем объем воздуха, подаваемого в подтопок по формуле

$$V_{\text{в}}^{\text{п}} = V_{\text{дг+в}} - V_{\text{пг}}^{\text{п}} \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.83)$$

$$V_{\text{в}}^{\text{п}} = 7,24 - 0,17 = 7,07 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Определим температуру смеси в подтопке из уравнения:

$$V_{\text{пг}}^{\text{п}} \cdot c_{\text{пг}} \cdot t_{\text{пг}} + V_{\text{в}}^{\text{п}} \cdot c_{\text{в}} \cdot t_{\text{в}} = V_{\text{дг+в}} \cdot c_{\text{дг+в}} \cdot t_{\text{дг+в}}, \quad (2.84)$$

где $c_{\text{пг}}$ – теплоемкость продуктов горения при $t_{\text{пг}} = 1500 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
 $c_{\text{пг}} = 1,587 \text{ кДж/кг}\cdot^{\circ}\text{C}$;

$c_{\text{в}}$ – теплоемкость воздуха при $t_{\text{в}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $c_{\text{в}} = 1,29 \text{ кДж/кг}\cdot^{\circ}\text{C}$;

$c_{\text{дг+в}}$ – теплоемкость продуктов горения и воздуха,
 $c_{\text{дг+в}} = 1,375 \text{ кДж/кг}\cdot^{\circ}\text{C}$;

при $t_{\text{пг}} = 1500 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{в}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Выразив $t_{\text{дг+в}}$ из уравнения (2.84), получим:

$$t_{\text{дг+в}} = \frac{V_{\text{пг}}^{\text{п}} \cdot c_{\text{пг}} \cdot t_{\text{пг}} + V_{\text{в}}^{\text{п}} \cdot c_{\text{в}} \cdot t_{\text{в}}}{V_{\text{дг+в}} \cdot c_{\text{дг+в}}}, \quad (2.85)$$

$$t_{\text{дг+в}} = \frac{0,17 \cdot 1,587 \cdot 1500 + 7,07 \cdot 1,29 \cdot 20}{7,24 \cdot 1,375} = 59 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Аналогично рассчитываем температуру смеси на входе в сушилку

$$t_{\text{дг+в}} = \frac{V_{\text{дг+в}} \cdot c_{\text{дг+в}} \cdot t_{\text{дг+в}} + V_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} \cdot t_{\text{в}}}{V_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}}}, \quad (2.86)$$

$$t_{\text{дг+в}} = \frac{7,24 \cdot 1,375 \cdot 59 + 3,13 \cdot 1,3 \cdot 250}{10,37 \cdot 1,3} = 119 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Таким образом, температура смеси соответствует температуре, необходимой для сушки кирпича.

3. ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ И АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПЕЧИ

3.1. Характеристика объекта управления

Тепловую обработку материалов и изделий необходимо проводить по заданному технологическому режиму, так как его нарушение приводит к браку изделий. Для предупреждения отклонений от установленного режима требуется постоянный контроль за работой печи при помощи различных контрольно-измерительных и регулирующих приборов и устройств.

В данном проекте объектом управления является туннельная печь для обжига керамического кирпича. У каждой печи имеются свои особенности, которыми она отличается от других печей. Печи могут быть различны по конструкции, по виду топлива, по виду обрабатываемого материала. Особенностью туннельной печи является обжиг изделий на вагонетках, которые передвигаются вдоль печного канала с определенной скоростью и проходят по отдельным зонам печи, в зонах – различные температуры. В зоне обжига происходит горение топлива. Основным условием нормального обжига изделий является поддержание установленных температур в зонах обжига. Это условие общее для различных конструкций печей. Следовательно, температура – это наиболее важный контролируемый параметр.

В наиболее ответственных точках рабочего пространства туннельной печи температуры поддерживаются постоянными:

$$t_0 = \text{const.}$$

Поддержание контролируемых температур в ответственных точках рабочего пространства печи связано с процессом регулирования других параметров, которые тоже необходимо контролировать.

Контроль и регулирование температур в печи связаны непосредственно с контролем расхода топлива. Для повышения температуры печи необходимо увеличить расход топлива и соответственно для уменьшения температуры – уменьшить расход топлива, например, изменением положения регулирующего клапана на газопроводе. В этом случае температура печи регулируется по уравнению:

$$t_n = f(B).$$

Температура горения топлива и величина тепловыделений зависят в большей степени от других факторов, чем от расхода топлива, например, от количества воздуха, подаваемого для горения, и от температуры его подогрева. Расход воздуха при контроле и регулировании темпе-

ратуры в печи – важный параметр. Количество воздуха, подаваемого для горения, зависит от расхода топлива. Для полного горения топлива и получения необходимой температуры горения следует поддерживать постоянным коэффициент избытка воздуха, выбор которого обуславливается эффективностью сжигания топлива в данной печи.

В существующих конструкциях туннельных печей воздух для горения топлива поступает из зоны охлаждения. В зону охлаждения его подают в количестве, значительно превышающем количество, необходимое для горения. Избыток воздуха из зоны охлаждения используют в сушилах или выбрасывают в атмосферу. При этом количество воздуха, подаваемого к горелкам, зависит от общего его количества, подаваемого в печь, и от количества, отбираемого из зоны охлаждения. В этом случае для регулирования количества воздуха, подаваемого к горелкам, необходимо стабилизировать количество воздуха, отбираемого из печи:

$$V_{\text{воз}} = \text{const.}$$

3.2. Назначение системы управления

Целью создания системы управления является необходимость обеспечить наиболее эффективную работу печи с технологической и экономической точек зрения, максимально упростить обслуживание печи и обезопасить ее работу.

Для реализации этих задач на систему управления возложены функции теплового контроля, автоматического регулирования, технологической сигнализации и защиты (табл. 17, 18).

Т а б л и ц а 17

№ П/П	Параметр теплового контроля	Номинальное значение	Характеристика среды	Место установки вторичного прибора	Вид контроля	Класс точности
1	2	3	4	5	6	7
1	Температура печи	600 °С 930 °С 980 °С	Дымовые газы	На щите	IR	1,5
2	Температура дымовых газов	150 °С	Дымовые газы	На щите	I	1,0
3	Температура воздуха на сушило	250 °С	Воздух	На щите	I	1,0
4	Расход природного газа	206,6 м ³ /ч	Природный газ	На щите	IR	2,0

Окончание табл. 17

1	2	3	4	5	6	7
5	Расход воздуха на сушило	10764 м ³ /ч	Воздух	На щите	IR	2,0
6	Расход воздуха на зону охлаждения	6552 м ³ /ч	Воздух	На щите	IR	2,0
7	Расход отходящих газов	10063 м ³ /ч	Дымовые газы	На щите	IR	2,0
8	Давление природного газа	1 кПа	Природный газ	По месту	I	1,5
9	Давление воздуха на горение	0,45 кПа	Воздух	По месту	I	1,5

Таблица 18

№ п/п	Регулируемый параметр	Номинальное значение	Допустимое отклонение		Пределы нагрузок		Характер и величина возмущения	Требования к быстродействию	Примечание
			Кратковременное	Длительное	Максимум	Минимум			
1	Температура в печи	600 °С	±60 °С	±18 °С	100 %	20 %	Ступенчатый		
2	Температура в печи	930 °С	±93 °С	±30 °С	100 %	20 %	Ступенчатый		
3	Температура в печи	980 °С	±98 °С	±32 °С	100 %	20 %	Ступенчатый		
4	Расход воздуха на зону охлаждения	6552 м ³ /ч	±655 м ³ /ч	±172 м ³ /ч	100 %	20 %	Ступенчатый		
5	Расход воздуха, отбираемого на сушило	10764 м ³ /ч	±1076 м ³ /ч	±287 м ³ /ч	100 %	20 %	Ступенчатый		
6	Соотношение газ-воздух	11,4 м ³ /м ³	±1,14 м ³ /м ³	±0,345 м ³ /м ³	100 %	20 %	Ступенчатый		

3.3. Требования к системе автоматизации

Система автоматизации имеет иерархическую структуру. Она включает в себя нижний и верхний уровни. Реализация нижнего уровня достигается с помощью средств локальной автоматики, решающая следующие задачи: анализ ситуаций, идентификация, стабилизация режимов работы, контроль, измерение, сигнализация, защита, регулирование. На верхнем уровне находится микропроцессорный контроллер. Он решает задачи оптимизации и адаптации (изменение параметров настройки в процессе работы), рассчитывает технико-экономические показатели, КПД работы оборудования. Верхний уровень управления имеет информацию о всех параметрах технологического процесса. Система автоматизации должна содержать ряд подсистем:

- контроль: здесь осуществляется контроль значения технологических параметров, контроль состояния оборудования, контроль технико-экономических показателей;
- анализ: анализ ситуации и принятия решений и подготовка информации для других систем;
- управление: реализует принятое решение и передает информацию вышестоящим структурам.

Подсистема анализа и принятия решений реализуется с помощью участия человека-диспетчера на основе информации, поступающей из подсистемы «контроль». Реализация решений осуществляется путем передачи этого решения на объект управления с помощью АСУ ТП. АСУ работает в супервизорном режиме. Основная задача супервизорной системы управления – автоматическое поддержание технологического процесса вблизи оптимальной рабочей точки путем оперативного воздействия на него.

Работа вычислительного комплекса заключается в следующем: вычислительный комплекс выполняет функции централизованного контроля, вычисление технико-экономического показателя, контроля работы и состояния оборудования, анализ поступающей информации и поиск оптимальных решений, формирование воздействий и настройка регуляторов.

Комплекс технических средств (КТС) должен обеспечить реализацию всех функций системы и возможность их расширения. Все технические средства системы должны быть рассчитаны на непрерывную круглосуточную работу.

Комплекс технических средств КТС должен включать:

- средства сбора информации о состоянии объекта управления;
- средства регулирования и управления;

- средства предоставления информации оперативному персоналу;
- средства дистанционного управления исполнительными механизмами.

Получение, формирование и передача информации осуществляется при помощи серийно выпускаемых средств КИПиА. Датчики и преобразователи должны обеспечить однозначность измерений. Они должны быть устойчивы к воздействию окружающей и измеряемой среды.

Для обеспечения нормальной работы надо провести ряд мероприятий:

- ежедневно проверять правильность функционирования приборов в составе системы автоматизации по показателям КИП;
- при отключении напряжения питания проверить надежность крепления приборов и их внешних электрических соединений.

3.4. Технико-экономическое обоснование системы автоматизации

В сложных технологических объектах с большим количеством контролируемых параметров невозможно обеспечить безопасную работу при управлении объектом вручную. Человека в этом процессе заменяет система автоматизации, которая ведет контроль, анализ и регулирование параметров. В случае возникновения аварийных ситуаций система автоматизации оповещает об этом световой и звуковой сигнализацией обслуживающий персонал и автоматически предотвращает выход параметра за критическое. Использование автоматики уменьшает время настройки параметра и улучшает качество регулирования.

При автоматическом регулировании повышается качество измерения и настройки технологических параметров, это приводит к повышению качества продукции (чем ближе к заданным будут значения параметров, тем меньше брака готовой продукции).

3.5. Разработка системы автоматизации

Для реализации узлов регулирования используются технические средства системы «Каскад 2», выпускаемые московским заводом тепловой автоматики, который обеспечивается ПИ-законом регулирования.

Блоки оперативного управления системы «Каскад2»:

1. Устройство, задающее потенциометрическое ЗУ-11. Предназначено для оперативного изменения значения регулируемой величины с пульта управления. Представляет собой переменный резистор со

шкалой. Применяется в том случае, если не требуется распределения сигнала задания нескольким потребителям.

2. Блок управления релейного регулятора БУ-21. Блок позволяет реализовывать следующие функции:

- переключение цепей управления исполнительным механизмом постоянной скорости;
- ручное дистанционное управление исполнительным механизмом;
- световую сигнализацию срабатывания релейного регулирующего блока двумя индукторными блоками.

3. Регулирующий блок Р-27 входит в состав «Каскад2». Блок при совместной работе с реверсивным исполнительным механизмом постоянной скорости реализует закон ПИД-регулирования с передаточной функцией:

$$W_p(p) = \frac{k_{\Pi}}{T_{\text{им}}} 100 \left[1 + \frac{1}{T_{\text{из}}} + \frac{T_{\text{пвр}}}{T_{\text{пвр}} + 1} \right] \frac{1}{T_{\text{дфр}} + 1}, \quad (3.1)$$

где k_{Π} – постоянная передачи, с/ %;

$T_{\text{им}}$ – постоянная времени исполнительного механизма, с;

$T_{\text{из}}$ – постоянная времени изодрома, с;

$T_{\text{пвр}}$ – постоянная времени предварения, с;

$T_{\text{дфр}}$ – постоянная времени демпфирования, с.

Дополнительно на регуляторе имеются следующие органы установки:

$\Delta_{\text{нч}}$ – зона нечувствительности;

$\Delta t_{\text{имп}}$ – длительность импульсов.

Требуемый коэффициент передачи регулятора k_p , %, устанавливается путем изменения коэффициента передачи k_{Π} блока Р27.

$$k_p = k_{\Pi} \cdot 100 / T_{\text{им}}. \quad (3.2)$$

Регулятор состоит из трех модулей: измерительного модуля ИОО1.1; регулирующего модуля Р027.1, модуля исполнительного механизма. Входные аналоговые сигналы поступают на измерительный модуль. Назначение модуля – формирование сигнала согласования I_{Σ} . Регулирующий модуль Р027.1 формирует последовательность импульсов включения исполнительного механизма, обеспечивающего закон ПИД-регулирования.

3.6. Разработка функциональной схемы автоматизации

К разработке предлагается система теплового контроля и автоматического регулирования, которая выполняет следующие функции: технологический контроль; автоматическое регулирование; технологическую сигнализацию; технологическую защиту. Она разработана в соответствии с ГСП (государственная система промышленных приборов) и предусматривает контроль и регулирование следующих параметров: температуры, давления, расхода.

Технологический контроль включает в себя измерение следующих параметров:

а) давление природного газа и воздуха на горение с помощью электроконтактных манометров ЭКМу (табл.19, поз. 10, 9);

б) температуру в печи – термопарой ТХА (см. табл. 19, поз. 1а) в комплекте с нормирующим преобразователем Ш-78 (см. табл. 19, поз. 1б) и самопишущим миллиамперметром РП-160 (см. табл. 19, поз. 1в).

Принцип действия термопары основан на зависимости термо-ЭДС от температуры.

в) расходы газа, воздуха – методом переменного перепада давления (камерная диафрагма с сифонным дифманометром и самопишущим миллиамперметром РП-160);

г) температура дымовых газов и воздуха, идущего на сушило – термопарой ТХА и пирометрическим милливольтметром Ш4501.

Регулирование температуры в печи осуществляется следующим образом: токовый сигнал по температуре от нормирующего преобразователя Ш-78 (см. табл. 19, поз.1б) подается в регулирующий блок РУ5-02М (см. табл. 19, поз.1г), предназначенный для регулирования расхода газа по заданной программе и являющийся программным задатчиком; далее на регулятор Р-27 (см. табл. 19, поз.1д), блок управления БУ-21 (см. табл. 19, поз.1ж), через усилитель мощности У-23 (см. табл. 19, поз.1е), который включает исполнительный механизм МЭОБ (см. табл. 19, поз.1з) для перемещения регулирующего клапана, изменяющего расход газа на горелки.

Регулирование расходов воздуха на охлаждение и сушку осуществляется на базе электронного агрегатного комплекса устройств автоматического регулирования «Каскад 2». Замеренный расход сравнивается с требуемым, который задается через задатчик. Сигнал рассогласовывается между заданным и измеренным расходом воздуха, усиливается в усилителе и передается исполнительному механизму, переворачивающему заслонку поворотного шибера на трубопроводе подачи воздуха.

Таблица 19

№ п/п	Наименование параметра и место отбора импульса	Предельное значение параметра	Место установки	Наименование и характеристика аппаратуры	Тип	Количество	Изготовитель	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1а	Температура в печи	а) 600 °С б) 930 °С в) 980 °С	По месту	Термопара хромель-алюмель а) (0...800 °С) б) (0...1000 °С) в) (0...1200 °С)	ТХА 0806	3	«Теплоприбор» г. Челябинск	
1б	Температура в печи	а) 600 °С б) 930 °С в) 980 °С	На щите	Нормирующий преобразователь гр.ПП68 а) (0...800 °С) б) (0...1000 °С) в) (0...1200 °С)	Ш-78	3	Львов прибор	
1в	Температура в печи	а) 600 °С б) 930 °С в) 980 °С	На щите	Показывающий самопишущий миллиамперметр (0...1000 °С) класс точности 0,5	РП-160	3	«Теплоприбор»	
1г	Температура в печи		На щите	Задатчик программный	РУ5-02М	3	Львовприбор	
1д	Температура в печи		На щите	Регулятор	Р-27	3	МЗТА	
1е	Температура в печи		На щите	Усилитель мощности	У-23	3	МЗТА	
1ж	Температура в печи		На щите	Блок управления	БУ-21	3	МЗТА	
1з	Температура в печи		На щите	Исполнительный механизм	МЭОБ-25/100	3	МЗТА	
2а	Соотношение газ-воздух	2358 м ³ /ч	Воздухопровод	Диафрагма камерная	ДК-6-100	14	«Манометр» г. Москва	

Продолжение табл. 19

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2б	Соотношение газ-воздух		По месту	Дифманометр сильфонный, ΔР по расчету СУ	«Сапфир» ДСРЭ	14	«Теплоприбор»	
2в	Соотношение газ-воздух		На щите	Блок вычисления корня	БИК-1	14	МЗТА	
2г	Соотношение газ-воздух		На щите	Миллиамперметр показывающий самопишущий	РП-160	14	МЗТА	
2д	Соотношение газ-воздух		На щите	Блок деления		14	МЗТА	
2е	Соотношение газ-воздух		На щите	Задатчик токовый	ЗУ-11	14	МЗТА	
2ж	Соотношение газ-воздух		На щите	Регулятор	Р-27	14	МЗТА	
2з	Соотношение газ-воздух		На щите	Блок управления	БУ-21	14	МЗТА	
2и	Соотношение газ-воздух		По месту	Трехпозиционный тиристорный усилитель	У-21	14	МЗТА	
2к	Соотношение газ-воздух		По месту	Исполнительный механизм электрический	МЭО-630	14	МЗТА	
2л	Соотношение газ-воздух		Воздухопровод	Поворотно-регулирующая задвижка	ЗД-3	14	МЗТА	
3а	Расход природного газа	206,6 м ³ /ч	Газопровод	Диафрагма камерная	ДК-6-200	14	«Манометр»	
3б	Расход природного газа		По месту	Дифманометр сильфонный	«Сапфир» ДСРЭ	14	«Теплоприбор»	

Продолжение табл. 19

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3в	Расход природного газа		На щите	Блок вычисления корня	БИК-1	14	МЗТА	
3г	Расход природного газа		На щите	Миллиамперметр показывающий самопишущий, 0-630 нм ³ /ч, класс точности 0,5	РП-160	14	МЗТА	
4а	Расход воздуха на зону охлаждения	6552 м ³ /ч	Воздухопровод	Диафрагма камерная	ДК-6-300	1	«Манометр»	
4б	Расход воздуха на зону охлаждения		По месту	Дифманометр сильфонный	«Сапфир» ДСРЭ	1	«Теплоприбор»	
4в	Расход воздуха на зону охлаждения		По месту	Миллиамперметр показывающий самопишущий, 0-32000 м ³ /ч	РП-160	1	«Автоматика»	
4г	Расход воздуха на зону охлаждения		На щите	Регулятор	Р-27	1	МЗТА	
4д	Расход воздуха на зону охлаждения		На щите	Блок управления	БУ-21	1	МЗТА	
4е	Расход воздуха на зону охлаждения		На щите	Задатчик токовый	ЗУ-11	1	МЗТА	
4ж	Расход воздуха на зону охлаждения		По месту	Блок вычисления корня	БИК-1	1	МЗТА	
4з	Расход воздуха на зону охлаждения		По месту	Трехпозиционный тиристорный усилитель	У-21	1	МЗТА	
4и	Расход воздуха на зону охлаждения		По месту	Исполнительный механизм электрический	МЭО-630	1	МЗТА	

Продолжение табл. 19

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4к	Расход воздуха на зону охлаждения		По месту	Поворотно-регулирующая задвижка	ЗД-1	1	МЗТА	
5а	Расход воздуха на сушило	10764 м ³ /ч	Воздухопровод	Диафрагма камерная	ДК-6-300	1	«Манометр»	
5б	Расход воздуха на сушило		По месту	Дифманометр сифонный	«Сапфир» ДСРЭ	1	«Теплоприбор»	
5в	Расход воздуха на сушило		На щите	Миллиамперметр показывающий самопишущий 0-32000 м ³ /ч	РП-160	1	«Автоматика»	
5г	Расход воздуха на сушило		На щите	Регулятор	Р-27	1	МЗТА	
5д	Расход воздуха на сушило		На щите	Блок управления	БУ-21	1	МЗТА	
5е	Расход воздуха на сушило		На щите	Задатчик токовый	ЗУ-11	1	МЗТА	
5ж	Расход воздуха на сушило		На щите	Блок вычисления корня	БИК-1	1	МЗТА	
5з	Расход воздуха на сушило		По месту	Трехпозиционный тиристорный усилитель	У-21	1	МЗТА	
5и	Расход воздуха на сушило		По месту	Исполнительный механизм электрический	МЭО-630	1	МЗТА	
5к	Расход воздуха на сушило		По месту	Поворотно-регулирующая задвижка	ЗД-1	1	МЗТА	
6а	Температура воздуха, отбираемого в сушило	250 °С	По месту	Термоэлектрический термометр (0...600 °С)	ТХА 0806	1	«Теплоприбор»	

Окончание табл. 19

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6б	Температура воздуха, отбираемого в сушило		На щите	Пирометрический милливольтметр (0...600 °С)	ПШ4501	1	Завод измерительных приборов г.Ереван	
7а	Расход продуктов горения	10063 м ³ /ч	По месту	Диафрагма камерная	ДК-6-300	1	«Манометр»	
7б	Расход продуктов горения		По месту	Дифманометр сильфонный	«Сапфир» ДСРЭ	1	«Теплоприбор»	
7в	Расход продуктов горения		На щите	Миллиамперметр показывающий самописцующий, 0...32000 м ³ /ч	РП-160	1	МЗТА	
8а	Температура дымовых газов	150 °С	По месту	Термопара хромель-алюмель (0...600 °С)	ТХА 0806	1	«Теплоприбор»	
8б	Температура дымовых газов		По месту	Пирометрический милливольтметр (0...600 °С), класс точности 1	ПШ4501	1	Завод измерительных приборов г.Ереван	
9	Давление природного газа	1 кПа	По месту	Электроконтактный манометр 0...0,1 МПа	ЭКМ 1у	1	МЗТА	
10	Давление воздуха на горение	0,45 кПа	По месту	Электроконтактный манометр 0...0,1 МПа	ЭКМ 1у	1	МЗТА	
11а	Отсечка газа и воздуха на горелки		На щите	Блок управления	БУ-21	1	Завод средств автоматики, г.Смоленск	
11б	Отсечка газа и воздуха на горелки		По месту	Трехпозиционный тиристорный усилитель	У-21	1	МЗТА	
11в	Отсечка газа и воздуха на горелки		По месту	Электромагнитные клапаны		2		

Аналогично регулируется соотношение: газ-воздух.

Разработанная технологическая сигнализация и защита позволяет обеспечить обслуживающий персонал информацией о возникновении аварийных ситуаций и предотвратить их. Сигнализация бывает предупредительной и аварийной.

Технологическая сигнализация и автоматическая защита предусматривает срабатывание в следующих случаях:

- при повышении или понижении давления газа;
- при повышении или понижении давления воздуха.

Предложенная система должна обеспечить защиту и блокировку в указанных случаях. При срабатывании сигнализации появляется световой или звуковой сигнал. Защита должна обеспечить отключение подачи газа и воздуха.

Понижение или повышение давления газа или воздуха контролируется электроконтактным манометром ЭКМ 1у (см. табл. 19, поз.9 и 10). Одновременно с сигнализацией срабатывает технологическая защита, осуществляющая отсечку газа к горелкам с помощью электромагнитных клапанов (см. табл. 19, поз.11в).

4. БЕЗОПАСНОСТЬ ОБСЛУЖИВАНИЯ ТУННЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

4.1. Характеристика воздействий тепловых агрегатов на производственный персонал

Печное отделение кирпичного цеха представлено техногенной системой. В табл. 20 описаны воздействия на производственный персонал в данной техногенной системе.

Из общего перечня воздействий были выбраны наиболее значимые для объекта проектирования и способные приводить к опасным эффектам в организме человека. Данные о воздействиях сведены в табл. 21.

4.2. Оценка техногенных воздействий

4.2.1. Взрывное воздействие

Избыточное давление дефлаграционного взрыва можно определить по формуле:

$$P_s = (P_{\max} - P_0) \frac{m_{\Gamma} \cdot z_y}{\rho_{\Gamma} \cdot V_{\text{св}}} \cdot \frac{100}{c_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{k_{\text{н}}}, \text{ кПа}, \quad (4.1)$$

где P_{\max} – максимальное давление дефлаграционного взрыва, кПа;

$$P_{\max} = 828 \text{ кПа};$$

P_0 – давление воздушной среды в помещении до взрыва, кПа;

$$P_0 = 101,3 \text{ кПа};$$

m_{Γ} – масса горючего газа, поступившего в помещение в результате утечки или погасания горелки, кг;

z_y – коэффициент участия горючей смеси во взрыве;

ρ_{Γ} – плотность газа; $\rho_{\Gamma} = 0,8 \text{ кг/м}^3$;

$V_{\text{св}}$ – объем помещения, который может быть заполнен взрывоопасной смесью, м^3 ;

$c_{\text{ст}}$ – стехиометрическая концентрация рабочего газа, %;

$k_{\text{н}}$ – коэффициент, учитывающий не герметичность помещения и не адиабатичность взрывного процесса, $k_{\text{н}} = 3$.

Таблица 20

№ п/п	Наименование компонента	Назначение	Функциональные показатели	Процесс	Детерминированное воздействие	Происшествие	Стохастические воздействия
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Помещение	–	–	–	–	–	–
1.1	Ограждения помещения с дверными проемами	Защита от воздействий окружающей среды	Выполнен из негорючего материала	–	–	–	–
1.2	Пол	Для размещения оборудования	Нетокроводящих, выполненный из негорючего материала	–	–	–	–
1.4	Воздушная среда	Для обеспечения жизнедеятельности	15-25 °С	Тепломассообмен Дыхание	Тепловое воздействие микроклимата Ингаляционное	–	–
2	Комплекс технологических устройств	–	–	–	–	–	–
2.1	Две туннельные печи	Обжиг керамического кирпича	Производительность печи 10 млн шт. в год	–	–	–	–
2.1.1	Кладка печи	Свести к минимуму потери в окружающую среду	Материал: красный кирпич, шамот, засыпка шлаком	Тепловое излучение	Тепловое воздействие, связанное с инфракрасным излучением	Соприкосновение с нагретой поверхностью	Тепловое воздействие при соприкосновении с нагретыми поверхностями

Продолжение табл. 20

1	2	3	4	5	6	7	8
2.1.2	Газовая обвязка печи	Поступление топлива в печь	Газопровод низкого давления	Движение газа	Акустическое воздействие	Утечка газа, образование взрывоопасной смеси	Взрывное воздействие, ингаляционное
2.1.3	Горелки	Сжигание топлива	Горелка газовая типа по проекту п/я Г-4316	Горение топлива, движение газа	Акустическое воздействие	Погасание факела, образование взрывоопасной смеси	Взрывное воздействие
2.1.4	Система воздухообмена	Поступление холодного воздуха на охлаждение садки	Мощность 4 кВт	Движение воздуха	Акустическое воздействие	Косвенное прикосновение	Электрическое воздействие переменного тока
2.1.5	Система загрузки-выгрузки	Загрузка и выгрузка вагонок с кирпичом	Частота толканий 58 минут	Тепловое излучение	Тепловое воздействие, вызванное инфракрасным излучением	Соприкосновение с нагретой поверхностью изделий	Тепловое воздействие при соприкосновении с нагретой поверхностью
2.1.5.1	Вагонетки	Для размещения садки кирпича	–	–	–	–	–
2.1.5.2	Толкатели	Продвижение вагонок в печи	Гидравлический толкатель	–	–	Косвенное прикосновение	Электрическое воздействие переменного тока
2.1.5.3	Электро-передаточная тележка с лебедкой	Выгрузка вагонок из печи	Грузоподъемность до 12 т	–	–	Косвенное прикосновение Срыв лебедки с вагонетки	Электрическое воздействие Механическое воздействие

Продолжение табл. 20

1	2	3	4	5	6	7	8
2.1.6	Система дымоудаления	Удаление продуктов сгорания из печи	Температура на выходе из печи 150°С	Выбивание газов	Ингаляционное воздействие	Разрушение дымоходов	Ингаляционное воздействие
2.1.7	Рабочее пространство печи	Обжиг кирпича	Размеры рабочего пространства	–	–	–	–
2.1.7.1	Загрузочный материал	Полуфабрикат	Температура выходящих изделий 300°С	Выгрузка изделий	Тепловое воздействие, вызванное инфракрасным излучением	Завал садки	Тепловое воздействие при соприкосновении с нагретой садкой
2.1.7.2	Продукты сгорания	Прогрев садки в зоне подогрева печи	Прогрев садки до температуры 600°С	Выбивание газов	Ингаляционное воздействие	–	–
2.2	Система газоснабжения	Подача газа к печам	Газопровод низкого давления	Движение газа	Акустическое воздействие	Утечка газа, образование взрывоопасной смеси	Взрывоопасное воздействие
2.3	Система электрообеспечения	Снабжение цеха электроэнергией	Напряжение: 380/220	Передача электрической энергии	Электромагнитное воздействие	Прямое и косвенное прикосновение	Электрическое воздействие переменного тока
2.4	Система освещения	Освещение рабочих мест	Сеть с напряжением 220 В	Перенос погоды световой энергии	Световое воздействие	Косвенное прикосновение	Электрическое воздействие переменного тока

Окончание табл. 20

1	2	3	4	5	6	7	8
3	Производственный персонал	–	–	–	–	–	–
3.1	Обжигальщик	Розжиг горелок, слежение за показаниями приборов автоматики, поддержание температурного режима обжига	Разряд 3	–	–	–	–
3.2	Два загрузчика – выгрузчика	Заталкивание и выгрузка вагонов с кирпичом	Знания правил безопасности в объеме инструкции по охране труда	–	–	–	–
4	Окружающая среда	–	–	–	–	–	–
4.1	Население соседней селитебной зоны	Работники предприятия	500 человек	–	–	–	–

Таблица 21

№ п/п	Полное название воздействия	Эффекты воздействия	Фактор или параметры воздействия	Оптимальное значение	Предельно допустимое значение	Номер ссылки на нормативный документ
1	Тепловое воздействие при соприкосновении с нагретыми поверхностями	Ожоги различной степени тяжести	Температура поверхности контакта	36,5 °С	При $T_{\text{вн}} < 100\text{ °С}$ $T_{\text{пов}} \leq 35\text{ °С}$ При $T_{\text{вн}} > 100\text{ °С}$ $T_{\text{пов}} \leq 45\text{ °С}$	ГОСТ 12.1.005–88
2	Воздействие взрыва при утечке природного газа	Нарушение целостности кожных покровов, ушибы, переломы, черепно-мозговые травмы	Избыточное давление P_s		10^4 Па – порог поражения органов слуха	

Масса газа, поступившего в помещение, определяется по формуле:

$$m_{\Gamma} = (V_y + V_{\Gamma}) \cdot \rho_{\Gamma}, \text{ кг}, \quad (4.2)$$

где V_y – объем газа, поступившего в помещение из техногенного устройства, м^3 ;

V_{Γ} – объем газа, поступившего в помещение из трубопровода, м^3 ;

$$V_y = 0,01 \cdot P_1 \cdot V, \text{ м}^3, \quad (4.3)$$

где P_1 – абсолютное давление газа в техногенном устройстве, $P_1 = 102,1$ кПа;

V – геометрический объем техногенного устройства, заполненный горючим газом,

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l = 0,001 \text{ м}^3,$$

$$V_y = 0,01 \cdot 102,1 \cdot 0,001 = 1,02 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Объем газа, поступившего из трубопроводов:

$$V_{\Gamma} = V_{\Gamma 1} + V_{\Gamma 2}, \text{ м}^3, \quad (4.4)$$

где $V_{\Gamma 1}$ – объем газа, поступившего в помещение из трубопровода до отключения подачи газа в газопровод

$$V_{\Gamma 1} = B \cdot \tau, \text{ м}^3; \quad (4.5)$$

здесь B – расход газа в трубопроводе, $\text{м}^3/\text{с}$; $B = 0,106 \text{ м}^3/\text{с}$;

τ – время срабатывания запорного устройства или время, необходимое для отключения подачи газа в газопровод. Принимаем $\tau = 180$ с при наличии клапана-отсекателя.

$$V_{\Gamma 1} = 0,106 \cdot 180 = 19,08 \text{ м}^3;$$

$V_{\Gamma 2}$ – объем газа, поступившего в помещение, после отключения подачи газа в газопровод:

$$V_{\Gamma 2} = 0,01 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^N L_i \cdot r_i^2 \cdot P_i, \text{ м}^3; \quad (4.6)$$

здесь P_i – абсолютное давление газа на i -м участке газопровода;

L_i – длина i -го участка газопровода;

r_i – внутренний радиус трубы на i -м участке газопровода;

N – количество участков газопровода.

$$V_{\Gamma 2} = 0,01 \cdot \pi \cdot (79 \cdot 0,04^2 \cdot 102,1 + 70 \cdot 0,023^2 \cdot 102,2 + 133 \cdot 0,01^2 \cdot 102,3) = 0,56 \text{ м}^3;$$

$$V_T = 19,08 + 0,56 = 19,64 \text{ м}^3;$$

$$m_T = (1,02 \cdot 10^{-3} + 19,64) \cdot 0,8 = 15,71 \text{ кг.}$$

Стехиометрическую концентрацию горючего газа определяем по формуле:

$$c_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \left(m + \frac{n}{4}\right)}, \%, \quad (4.7)$$

где m – количество атомов углерода в молекуле горючего газа;

n – количество атомов водорода в молекуле горючего газа;

$$c_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84(1 + 0,25 \cdot 4)} = 9,36 \text{ \%}.$$

Объем помещения определяется как разность между геометрическим объемом и объемом, занимаемым техногенными устройствами.

$$V_{\text{св}} = 0,8 \cdot L_{\text{п}} \cdot B_{\text{п}} \cdot H_{\text{п}}, \text{ м}^3, \quad (4.8)$$

где $L_{\text{п}}$, $B_{\text{п}}$, $H_{\text{п}}$ – соответственно длина, ширина и высота помещения;

$$L_{\text{п}} = 100 \text{ м}, B_{\text{п}} = 20 \text{ м}, H_{\text{п}} = 10 \text{ м.}$$

$$V_{\text{св}} = 0,8 \cdot 100 \cdot 20 \cdot 10 = 16000 \text{ м}^3.$$

Коэффициент участия газа во взрыве рассчитывается по формуле:

$$z_y = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot \pi}{m_T} \cdot \rho_T \cdot \left(c_T + \frac{e_{\text{н}}}{\delta}\right) \cdot x_{\text{п}} \cdot y_{\text{п}} \cdot z_{\text{п}}, \quad (4.9)$$

где c_T – приведенная концентрация газа во взрывоопасной зоне помещения;

$e_{\text{н}}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени, $e_{\text{н}} = 5 \text{ \%}$;

δ – допустимое отклонение концентрации газа во взрывоопасной зоне, $\delta = 1,38$;

$x_{\text{п}}$ – размер взрывоопасной зоны вдоль длины помещения;

$y_{\text{п}}$ – размер взрывоопасной зоны вдоль ширины помещения;

$z_{\text{п}}$ – размер взрывоопасной зоны вдоль высоты помещения.

$$c_T = 3770 \cdot \frac{m_T}{\rho_T \cdot V_{\text{св}}}, \quad (4.10)$$

$$c_T = 3770 \cdot \frac{15,71}{0,8 \cdot 16000} = 4,6 \text{ \%};$$

$$x_{\text{II}} = 1,1314 \cdot L_{\text{II}} \cdot \sqrt{\ln \frac{\delta \cdot c_{\Gamma}}{e_{\text{H}}}}, \text{ м}, \quad (4.11)$$

$$x_{\text{II}} = 1,1314 \cdot 100 \cdot \sqrt{\ln \frac{1,38 \cdot 4,6}{5}} = 55,28 \text{ м};$$

$$y_{\text{II}} = 1,1314 \cdot B_{\text{II}} \cdot \sqrt{\ln \frac{\delta \cdot c_{\Gamma}}{e_{\text{H}}}}, \text{ м}, \quad (4.12)$$

$$y_{\text{II}} = 1,1314 \cdot 20 \cdot \sqrt{\ln \frac{1,38 \cdot 4,6}{5}} = 11,06 \text{ м};$$

$$z_{\text{II}} = 0,0258 \cdot H_{\text{II}} \cdot \sqrt{\ln \frac{\delta \cdot c_{\Gamma}}{e_{\text{H}}}}, \text{ м}, \quad (4.13)$$

$$z_{\text{II}} = 0,0258 \cdot 10 \cdot \sqrt{\ln \frac{1,38 \cdot 4,6}{5}} = 0,13 \text{ м};$$

$$z_{\text{y}} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot \pi}{15,71} \cdot 0,8 \cdot \left(4,6 + \frac{5}{1,38} \right) \cdot 55,28 \cdot 11,06 \cdot 0,13 = 0,52;$$

$$P_s = (828 - 101,3) \cdot \frac{15,71 \cdot 0,52}{0,8 \cdot 16000} \cdot \frac{100}{9,36} \cdot \frac{1}{3} = 1,65 \text{ кПа}.$$

При полученном значении $P_s > 0$ существует вероятность взрыва, в результате которого может пострадать обслуживающий персонал.

4.2.2. Тепловое воздействие

При соприкосновении с наружной поверхностью стенки печи существует вероятность ожога кожного покрова обжигальщика. Для оценки этой вероятности рассчитаем температуру наружной поверхности стенки печи.

Определим поток тепла через стенку. Для этого выбираем 1 участок зоны охлаждения (см. тепловой баланс рабочего пространства печи), для которого температура рабочего пространства максимальна $t = 980 \text{ }^\circ\text{C}$, а толщина стен кладки минимальна $R = 1140 \text{ мм}$.

$$q_{\text{ст}} = \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{в}}}{\sum \frac{R_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{H}}}}, \text{ Вт/м}^2, \quad (4.14)$$

где $t_{\text{вн}}$ – температура внутренней стороны печи, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{вн}} = 980 \text{ }^\circ\text{C}$;

t_b – температура окружающего воздуха, $t_b = 20$ °С;

R_i – толщина i -го слоя кладки. Кладка двухслойная: $R_1 = 250$ мм,
 $R_2 = 790$ мм;

λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя кладки, Вт/м·°С.

Для определения λ для каждого слоя кладки найдем среднюю температуру кладки:

$$T_{\text{кл1}} = \frac{980 + 20}{2} = 500 \text{ °С};$$

$$T_{\text{кл2}} = \frac{500 + 20}{2} = 260 \text{ °С};$$

$$\lambda_i = 0,47 + 0,00051 \cdot T_{\text{кли}}, \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}; \quad (4.15)$$

$$\lambda_1 = 0,47 + 0,00051 \cdot 500 = 0,725 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С};$$

$$\lambda_2 = 0,47 + 0,00051 \cdot 260 = 0,6 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}.$$

α_H – коэффициент теплоотдачи, $\alpha_H = 15$ Вт/м²·°С

$$q_{\text{ст}} = \frac{980 - 20}{\frac{0,25}{0,725} + \frac{0,89}{0,6} + \frac{1}{15}} = 506,6 \text{ Вт/м}^2.$$

Определим температуру наружной поверхности стенки печи:

$$t_H = t_{\text{вн}} - q_{\text{ст}} \cdot \sum \frac{R_i}{\lambda_i}, \text{ °С}, \quad (4.16)$$

$$t_H = 980 - 506,6 \cdot \left(\frac{0,25}{0,725} + \frac{0,89}{0,6} \right) = 54 \text{ °С}.$$

Температура t_H превысила температуру поверхности стенки, допустимую по санитарным нормам и равную 45 °С. Поэтому требуется изолировать стенку теплоизолирующим материалом, например, минеральной ватой толщиной 100 мм ($\lambda_{\text{мв}} = 0,07$ Вт/м·°С).

Проведем поверочный расчет по формулам (4.14) и (4.16):

$$q_{\text{ст}} = \frac{980 - 20}{\frac{0,25}{0,725} + \frac{0,89}{0,6} + \frac{0,1}{0,07} + \frac{1}{15}} = 288,9 \text{ Вт/м}^2,$$

$$t_H = 980 - 288,9 \cdot \left(\frac{0,25}{0,725} + \frac{0,89}{0,6} + \frac{0,1}{0,07} \right) = 39 \text{ °С}.$$

Температура не превышает 45 °С, значит применение минеральной ваты для теплоизоляции в этом случае целесообразно.

4.3. Обеспечение техногенной безопасности

Во избежание взрыва, газопроводы изготавливают из цельнотянутых труб, соединенных сваркой, при этом не используют резьбовые и фланцевые соединения. Цеховую газовую сеть снабжают перекрывающимися и отключающимися устройствами, регуляторами давления.

Требования промышленной безопасности при использовании природного газа, сформулированные в «Правилах безопасности в газовом хозяйстве», предусматривают следующие правила эксплуатации газового оборудования и агрегатов. Подача газа на установку прекращается:

а) при погасании контролируемого пламени горелок в результате снижения или повышения давления на горелку.

Для контроля давления установлен электроконтактный манометр типа ЭКМ, используется звуковая и световая сигнализация. При погасании факела срабатывает технологическая защита, осуществляющая отсечку газа к горелкам с помощью электромагнитных клапанов (поз.11в из схемы автоматизации), установленных перед горелками. К повторному розжигу разрешается приступить после вентиляции топки и газоходов, а также устранения причин неполадок.

б) при обнаружении обжигальщиком в процессе работы печи неисправности контрольно-измерительных приборов, средств автоматизации и сигнализации;

в) при отключении дутьевых вентиляторов или недопустимых отклонениях подачи воздуха для сжигания газа в горелке;

г) при появлении неплотностей в обмуровке печи, в местах установки предохранительно взрывных клапанов и газоходах;

д) при прекращении подачи энергии, при исчезновении напряжения на КИП и на установках автоматического управления (блок управления БУ-21, регулятор Р-27);

е) при выходе из строя предохранительных блокирующих устройств и потери герметичности затвора запорной арматуры (поворотно-регулирующие задвижки ЗД);

ж) при неисправности горелок;

з) при появлении загазованности, обнаружении утечек газа на газовом оборудовании;

и) при пожаре, угрожающем персоналу или оборудованию, а также цепям защиты и дистанционного управления запорной арматуры.

В соответствии с Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [47] кирпичный цех относится к ряду опасных производственных объектов, так как в цехе используется природный газ, который отнесен к опасным веществам.

Как опасный производственный объект, промышленное предприятие обязано:

- иметь лицензию на эксплуатацию опасного производственного объекта;
- обеспечивать укомплектованность штата работников опасного производственного объекта в соответствии с установленными требованиями;
- допускать к работе на опасном производственном объекте лиц, удовлетворяющих квалификационным требованиям и не имеющих медицинских противопоказаний к указанной работе;
- обеспечивать проведение подготовки и аттестации работников в области промышленной безопасности;
- иметь на опасном производственном объекте нормативные правовые акты и нормативные технические документы, устанавливающие правила ведения работ на опасном производственном объекте;
- организовывать и осуществлять производственный контроль за соблюдением требований промышленной безопасности;
- обеспечивать наличие и функционирование необходимых приборов и систем контроля за производственными процессами в соответствии с установленными требованиями;
- предотвращать проникновение на опасный производственный объект посторонних лиц;
- приостанавливать эксплуатацию опасного производственного объекта самостоятельно или по предписанию федерального органа исполнительной власти, специально уполномоченного в области промышленной безопасности, его территориальных органов и должностных лиц в случае аварии или инцидента на опасном производственном объекте, а также в случае обнаружения вновь открывшихся обстоятельств, влияющих на промышленную безопасность;
- осуществлять мероприятия по локализации и ликвидации последствий аварий на опасном производственном объекте, оказывать содействия государственным органам в расследовании причин аварии;
- анализировать причины возникновения инцидента на опасном производственном объекте, принимать меры по устранению указанных причин и профилактике подобных инцидентов;
- своевременно информировать в установленном порядке федеральный орган исполнительной власти, специально уполномоченный в

области промышленной безопасности, его территориальные органы, а также иные органы государственной власти, органы местного самоуправления и население об аварии на опасном производственном объекте;

- принимать меры по защите жизни и здоровья работников в случае аварии на опасном производственном объекте.

Работники опасного производственного объекта обязаны:

- соблюдать требования нормативных правовых актов и нормативных технических документов, устанавливающих правила ведения работ на опасном производственном объекте и порядок действий в случае аварии или инцидента на опасном производственном объекте;

- проходить подготовку и аттестацию в области промышленной безопасности;

- незамедлительно ставить в известность своего непосредственного руководителя или в установленном порядке других должностных лиц об аварии или инциденте на опасном производственном объекте;

- в установленном порядке приостанавливать работу в случае аварии или инцидента на опасном производственном объекте;

- в установленном порядке участвовать в проведении работ по локализации аварий на опасном производственном объекте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сушка керамических изделий перед обжигом в два и более раза повышает их прочность, облегчает их укладку на вагонетки и транспортирование в печь. Сушка глины, гипсового камня, угля перед их размолотом снижает расход электроэнергии на помол и предотвращает загрязнение транспортирующих устройств. Сушка топлива перед сжиганием повышает теплоту его сгорания и температуру горения.

По технологическим требованиям производства тепловые агрегаты должны обеспечить заданную производительность, оптимальный режим сушки и обжига, а также гибкость регулирования процесса, чтобы получить наилучшее качество материала при минимальных затратах.

Одна из задач проектирования – выбор рациональной технологии производства строительных материалов и изделий, подбор соответствующего оборудования. Решение этой задачи связано с выполнением теплотехнических расчетов сушилок и печей. Вторая задача связана с техническим решением использования тепла продуктов горения отходящих дымовых газов.

На основании приведенных примеров расчета показана возможность вариантного проектирования с рекомендациями по выбору технологии производства, механического оборудования, режимов технологического процесса и качества готовой продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Временное руководство по проектированию предприятий по производству кирпича и керамических камней. Нормы технологического проектирования [Текст]. – М.: Стройиздат, 1989.
2. Инструкция о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений. Госстрой СССР [Текст]: СН 202–80. – М.: Стройиздат, 1983. – 72 с.
3. Ильяшев, А.С. Пособие по проектированию промышленных зданий [Текст] / А.С. Ильяшев, Ю.С. Тимянский, Ю.Н. Хромец. – М.: Высшая школа, 1990. – 304 с.
4. Зорохович, В.С. Производство кирпича (Комплексная механизация и автоматизация) [Текст] / В.С. Зорохович, Э.Д. Шукуров. – Л.: Стройиздат, 1983. – 232 с.
5. Роговой, Г.И. Теплотехническое оборудование керамических заводов [Текст] / Г.И. Роговой. – Л.: Стройиздат, 1983. – 367 с.
6. Горбовец, М.Н. Строительные машины [Текст]: справочник / М.Н. Горбовец. – М.: Машиностроение, 1991. – Т.2. Оборудование для производства строительных материалов. – 225–282 с.
7. Маликов, О.Б. Склады промышленных предприятий [Текст]: справочник / О.Б. Маликов, А.Р. Малкович. – Л.: Машиностроение, 1989. – 672 с.
8. Евстифеев, В.Н. Трубопроводный транспорт пластичных и сыпучих материалов в строительстве [Текст] / В.Н. Евстифеев. – М.: Стройиздат, 1989. – 200 с.
9. Сайбулатов, С.Ж. Производство керамического кирпича [Текст] / С.Ж. Сайбулатов. – М.: Стройиздат, 1989. – 200 с.
10. Повышение качества сырья для производства керамики [Текст] / В.Ю. Третиник [и др.]. – Киев: Будивильник, 1989. – 112 с.
11. Рохвагер, Е.Л. Строительная керамика [Текст]: справочник / Е.Л. Рохвагер. – М.: Стройиздат, 1976. – 326 с.
12. Разумовский, А.В. Экономика промышленности строительных материалов [Текст] / А.В. Разумовский, С.Г. Гусев. – М.: Стройиздат, 1986. – 350 с.
13. Болдырев, А.О. Строительные материалы [Текст]: справочник / А.О. Болдырев, П.П. Золотов. – М.: Стройиздат, 1989. – 567 с.
14. Канаев, В.К. Новая технология строительной керамики [Текст] / В.К. Канаев. – М.: Стройиздат, 1990. – 264 с.

15. Трапезников, Р.М. Альбом чертежей, конструкций и деталей промышленных зданий [Чертежи] / Р.М. Трапезников. – М.: Стройиздат, 1980. – 284 с.
16. Автоматизация производственных процессов в промышленности строительных материалов [Текст] / В.О. Кочетов [и др.]. – Л.: Стройиздат, 1986. – 392 с.
17. Ким, Н.Н. Архитектура промышленных предприятий, зданий и сооружений [Текст]: справочник проектировщика / Н.Н. Ким. – М.: Стройиздат, 1990. – 638 с.
18. Сырье глинистое для керамической промышленности [Текст]: ГОСТ 9169–75.
19. Общие положения [Текст]: ГОСТ 21.001–93 СЦДС.
20. Основные требования к рабочей документации [Текст]: ГОСТ 21.101–93. СПДС.
21. Условные графические изображения и обозначения на чертежах генеральных планов и транспорта [Чертежи]: ГОСТ 21.501–78. СЦДС.
22. Архитектурные решения. Рабочие чертежи [Чертежи]: ГОСТ 21.501–80. СЦДС.
23. Правила выполнения архитектурно-строительных чертежей [Текст]: ГОСТ 21.508–93. СПДС.
24. Генеральные планы предприятий, сооружений и жилищно-гражданских объектов. Рабочие чертежи [Чертежи]: ГОСТ 21.508–85. СЦДС.
25. Производственные здания промышленных предприятий [Текст]: СНиП 2.09.02–85. – М.: Стройиздат, 1986. – 42 с.
26. Свод правил СП 18.13330.2011 Генеральные планы промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 11-89–80. – М., 2011.
27. Противопожарные нормы [Текст]: СНиП 2.01.02–85.
28. Сооружения промышленных предприятий [Текст]: СНиП 2-91–77.
29. Промышленный транспорт [Текст]: СНиП 2-46–75.
30. Строительная климатология и геофизика [Текст]: СНиП 2.01–82.
31. Складские здания. [Текст]: СНиП 2.11.01–85.
32. Административные и бытовые здания [Текст]: СНиП 2.09.04–87.
33. Производственные здания [Текст]: СНиП 2.09.02–85.
34. Левченко П.В. Расчет печей и сушил силикатной промышленности. – М.: Высшая школа, 1968
35. Гинзбург, Д.В. Печи и сушила силикатной промышленности [Текст] / Д.В. Гинзбург [и др.]. – М.: Промстройиздат, 1963.

36. Тепловые расчеты печей и сушилок силикатной промышленности [Текст] / А.М. Баренбойм, Т.М. Галиева [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп.– М.: Стройиздат, 1964.
37. Справочник по производству строительной керамики [Текст] / под ред. М.М. Наумова и К.А. Нохратяна. – Том III. – М.: Госстройиздат, 1962.
38. Сидоров, М.Д. Справочник по воздуходувным и газодувным машинам [Текст] / М.Д. Сидоров. – М.-Л.: Машгиз, 1962.
39. Зигель, Р. Теплообмен излучением [Текст]: пер. с англ. / Р. Зигель, Д. Хауэлл. – М.: Мир, 1975.
40. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей [Текст]: учебник для вузов / В.А. Арутюнов, В.В. Бухмиров, С.А. Круппенников. – М.: Металлургия, 1990.
41. Коленда, З.С. О зональном методе расчета лучистого теплообмена с введением условных поверхностей [Текст] / З.С. Коленда, Е.Н. Гнездов // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1982.– №1. – С.138–142.
42. Математическое моделирование и оптимизация теплотехнологических установок [Текст]: учеб. пособие / Е.Н.Гнездов. – Иваново: Иван. гос. энерг. ун-т, 1994. – 124 с.
43. Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы [Текст]: справочное пособие / под ред. Б.Д. Кошарского. – Л.: Машиностроение, 1976.
44. Техногенная безопасность [Текст]: метод. указания к разделу дипломного проекта для технических специальностей университета. – Иваново, 2002.
45. Чернов, К.В. Безопасность в чрезвычайных ситуациях [Текст]: курс лекций / К.В. Чернов. – Иваново: Иван. гос. энерг. ун-т, 2001. – 116 с.
46. Правила безопасности в газовом хозяйстве [Текст]: ПБ от 26.12.90.
47. О промышленной безопасности опасных производственных объектов [Текст]: федер. закон РФ принят Гос. Думой 20.6.97 № 116-ФЗ // Безопасность труда в промышленности. – 1997. – № 10.
48. СНиП 11-01-95. Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений [Текст].
49. ГОСТ Р 21.1001–2009. Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации [Текст].
50. Федеральный закон от 21.07.1997 года № 116-ФЗ (редакция от 25.06.2012 г.) [Текст].

ПРИЛОЖЕНИЯ

Формулы для расчета производства строительной стеновой керамики

Пластическое формование

1.1. Исходные данные:

Расходы на 1000 шт. усл. кирпича:

• шихта	1,84 м ³
• в т.ч. глина Елабужская	1,20 м ³
• глина Лягушовская	0,37 м ³
• опилки	0,27 м ³
• вода на приготовление шихты	0,20 м ³
• вода на орошение мундштука	0,07 м ³
• пар на приготовление шихты	0,11т
Пустотность кирпича	32 %
Брак сушки	2 %
Брак обжига	3 %
Потери при транспортировке	2 %

П р и м е ч а н и е : коэффициент разрыхления глины принять равным 1,25.

Расчеты**Расчет глино- и (шихто-) запасников**

$$V = L \cdot B \cdot H \cdot K_{\text{исп}}, \text{ м}^3,$$

где V – объем (глино-) шихто-запасника;

L – длина, м;

B – ширина, м;

H – высота бурта, м;

$K_{\text{исп}}$ – коэф. использования, $K_{\text{исп}} = 0,7$.

$$N_3 = \frac{V}{P_c}, \text{ сут.},$$

где N_3 – запас сырья в хранилище, дней;

V – объем (глино-), (шихто-) запасника, м^3 ;

P_c – расход глины (шихты) в сутки, м^3 .

Требуемое количество сушильных камер

$$N_{\text{суш}} = \frac{N_{\text{год}} \cdot (T_{\text{суш}} + T_{\text{раз}})}{E \cdot K_1 \cdot K_2}, \text{ шт.},$$

где $N_{\text{суш}}$ – требуемое кол-во сушильных камер;

$K_{\text{год}}$ – годовая производительность, шт./год;

$T_{\text{суш}}$ – время сушки, ч;

$T_{\text{раз}}$ – время на загрузку и разгрузку ($T_{\text{раз}} = 3$), ч;

K_1 – коэф., учитывающий брак при сушке, 0,98;

K_2 – коэф., учитывающий брак при обжиге, 0,97;

E – емкость камеры, шт.,

$$E = \Pi \cdot P \cdot T, \text{ шт.};$$

здесь Π – кол-во кирпича (каменей) на одной рамке, шт.;

P – кол-во рамок по высоте камеры, шт.;

T – кол-во рамок по длине камеры, шт.,

$$T = L_{\text{кам}} / 270;$$

здесь $L_{\text{кам}}$ – длина камеры, мм (обычно задается заранее несколько вариантов – 15, 24 или 30 м);

270 – расстояние между рядами, мм.

Расчет обжигового агрегата

$$П_{\text{печи}} = \frac{B_{\text{в}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_2 \cdot \text{ФРВ}_{\text{печи}}}{T_{\text{обж}} \cdot 1000000}, \text{ шт.},$$

где $П_{\text{печи}}$ – годовая производительность печи, млн шт.;

$B_{\text{в}}$ – кол-во кирпича на вагонетке шт.;

$K_{\text{в}}$ – кол-во вагонеток шт.;

K_2 – коэффициент, учитывающий брак при обжиге, 0,97; для лицевого кирпича – 0,85

$T_{\text{обж}}$ – срок обжига, ч;

$\text{ФРВ}_{\text{печи}}$ – чистое время работы тепловых агрегатов, ч,

$$\text{ФРВ}_{\text{печи}} = 365 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 0,95, \text{ ч/год};$$

здесь 0,95 – коэффициент технического использования оборудования (для туннельных печей обычно принимается $K_{\text{ти}} = 0,95$).

Расчет склада готовой продукции

$$S_1 = \frac{П_{\text{сут}} \cdot N_3}{400} \cdot 1,7, \text{ м}^2,$$

где S_1 – площадь склада, м^2 ;

$П_{\text{сут}}$ – суточная производительность, шт.;

400 – норма складирования, шт. на 1 м^2 ;

1,7 – коэффициент, учитывающий проезды и проходы при обслуживании склада козловым краном и автотранспортом.

Расчет производственной программы

$$П_{\text{производственная}} = \frac{П_{\text{проектная}}}{0,9}.$$

Приложение 2

Таблица П 2.1

Техническая характеристика обжиговых вагонеток

Показатель	СМК-477	СМК-267 А	СМК-168 А	СМК-392
Грузоподъемность, т	30	17	18	59
Вместимость по кирпичу	3920	3920	3900	
Колея, мм	2800	1524	1524	
Ваза, мм	1600	1600	1600	
Габариты, мм:				
длина	2824	3015	3054	4198
ширина	4780	2980	3000	6882
высота	730	70	710	455
Масса, кг*	2250	2150	2055	3260

Примечание: * – без футеровки.

Таблица П 2.2

Техническая характеристика туннельных печей

Показатель	Союзгипростром				Южгипростром	
	1	2	3	4	5	6
Производительность, млн шт. усл. кирп./год	8	10	20	25	26	50
Проектный срок обжига, ч	24	27	24	32	24–32	32
Сечение обжигового канала, м ²	3,37	3,10	2,90	4,30	4,32	9,00
Объем обжигового канала, м ³	160	186	295	520	520	1130
Габариты обжигового канала, м:						
длина	48	62	104	124,2	120	130
ширина	2,0	2,0	1,74	2,90	2,90	4,5
высота	1,805	1,805	1,74	1,685	1,70	2,0
Длина технологических зон, %:						
подготовки	38	46	29	37,5	32,5	33
обжига	16	12	40	30	27,5	31
охлаждения	46	42	31	32,5	40	36

Основные параметры сушки материалов

Материал	Плотность, кг/м ³	Влажность, %		Температура газов, °С		Напря- жение, кг/м ³ ·час	Рекомендуемый тип насадки барабана
		W _н	W _к	t _н	t _к		
Глина	1800	20-25	4-6	600-800	80-100	50-60	Лопастная
Глина	1800	20-25	0,5-1,0	750-850	100-110	40	Ячейковая
Глина огнеупорная		8-10	0,5-1,0	800-1000	70-80	60	Лопастная
Опилки	250	30-40	10-15	300-400	80-100	20-30	Лопастная
Известняк	200	10-12	0,5-1,0	800-1000	100-120	40-65	Ячейковая или лопастная
Инфузорная земля		40	15	600	120	50-60	Лопастная
Каолин	1500	20-30	0,5-2,0	800-1000	60-80	30-45	Лопастная
Песок	1500	5-10	0,1-0,3	80-1000	80-100	80-100	Ячейковая
Сланец		25-30	5-10	500-600	80-100	40-65	Лопастная
Торф	300	40-50	15-20	400-450	80-100	70-80	Лопастная
Бурый уголь		30	10-15	400-500	60-150	60-100	Лопастная
Шлак гранулированный		20	0,3	500-600	80-100	25-50	Ячейковая

Продолжение прил. 2

Таблица П 2.4

Технические характеристики печей-сушил

Показатели и параметры	ТПСУ-14	ТПСУ-15	409-463/66
Производительность, млн шт./год	6-7	12-14	12
Кол-во обжиговых каналов	1	2	2
Габариты обжигового канала, м:			
длина	96,30	90,00	108,50
ширина	2,90	2,90	2,90
высота	0,93	0,93	0,925
Сечение обжигового канала, м ²	2,33	2,33	2,33
Размеры вагонетки в плане, м	3×3	3×3	3×3
Срок обжига, ч	60	64	63
Часов. производительность одного канала, шт.	800	715	715
Период толкания, ч	2	2	2
Формовочная влажность, %	19	18	18
Кол-во влаги в сырце, г	860	760	850
Кол-во воздуха, подаваемого в зону охлаждения, м ³ /ч	13000	12500	13000
Параметры отработанных дымовых газов (с подсосами):			
кол-во, м ³ /ч	44500	30200	44000
температура, °С	70	80	–
влажность, г/кг	22	23	23
Емкость вагонетки, шт.	1480	1430	1480

Окончание прил. 2

Таблица П2.5

Техническая характеристика комплексов отечественного оборудования по выпуску керамического кирпича

Показатель	СМК-350	СМК-182	СМК-480*	СМК-172	ПОСМ**
Годовой выпуск, млн шт.	75	30	60	36	35
Число линий	1	1	2	2	1
Выработка на одного работающего, тыс. шт.	377	160	417	225	360
Удельная энергоемкость, кВт/млн шт.	49	46	118,6	46	55
Удельная металлоемкость, кг/млн шт.	25	21	34	36	36
Удельный расход топлива, кг/1000 шт.	175	176	75	–	286

Примечания.

* – жесткое формование, пресс СМК-482 и стержневая мельница;

** – комплекс Даугельского ПОСМ.

Типовые решения схемы подготовки глинистого сырья

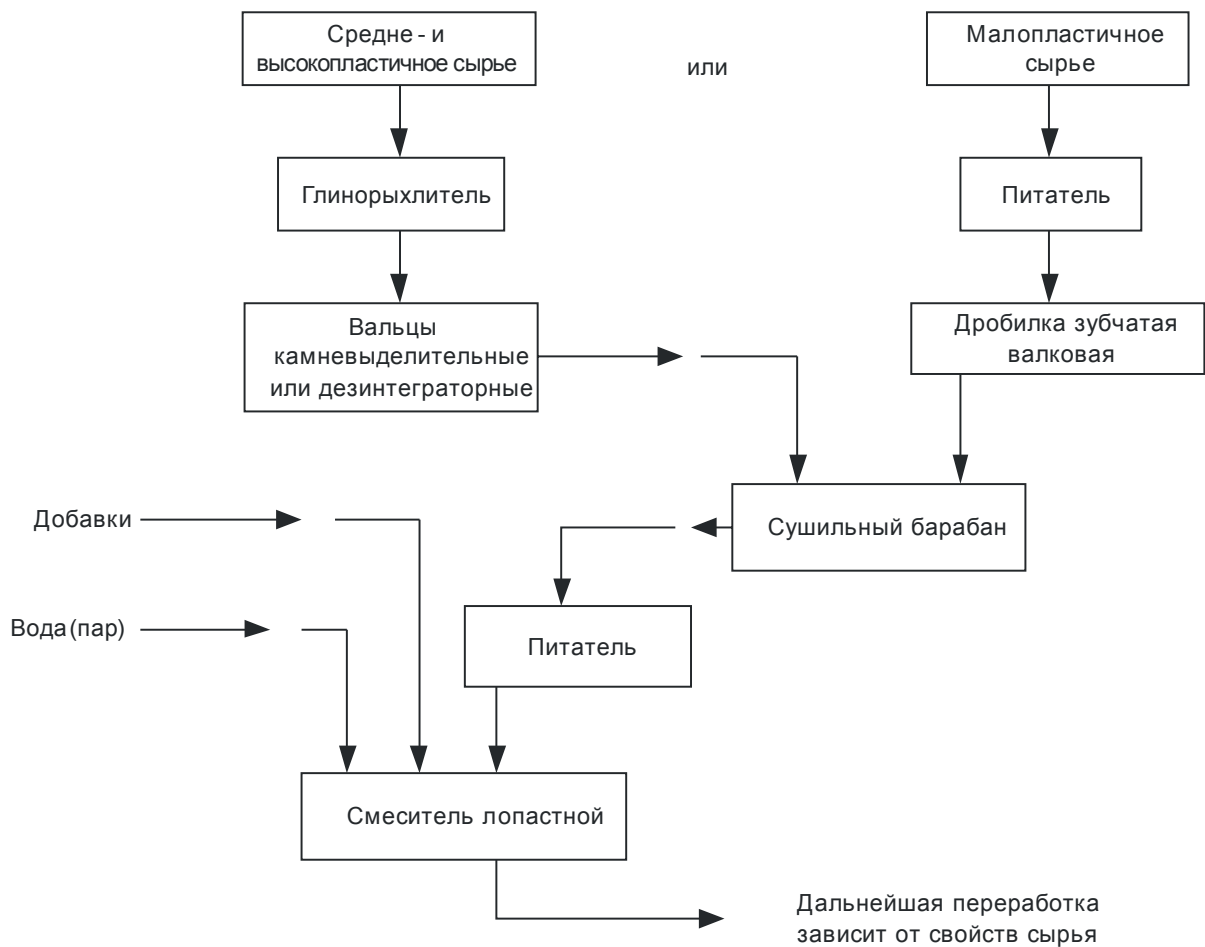


Рис. ПЗ.1. Схема предварительной подготовки сырья для глин с повышенной карьерной влажностью и различной пластичностью

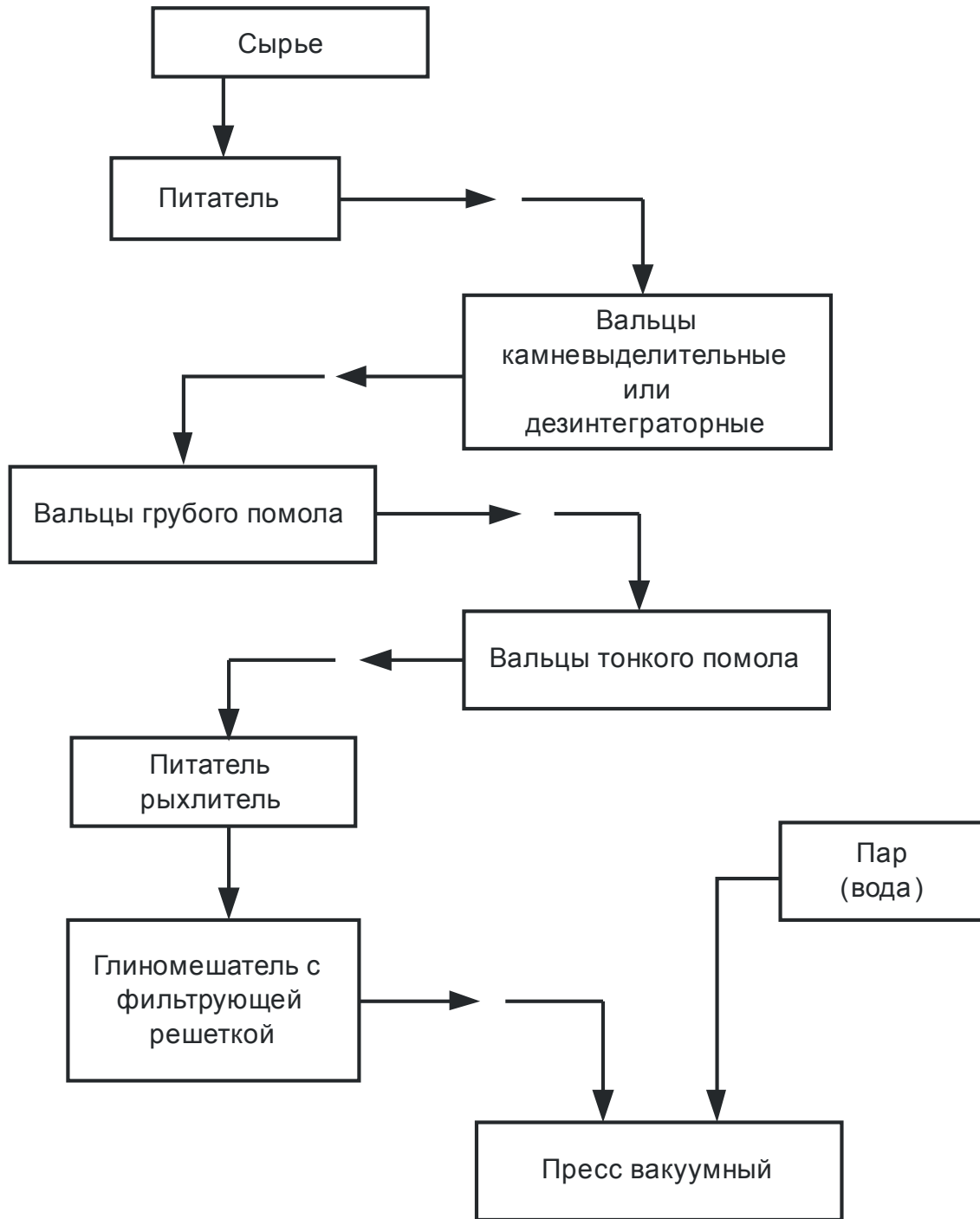


Рис. ПЗ.2. Для глин рыхлых, малой пластичности, быстроразмокаемых (лессы, лессовые суглинки)

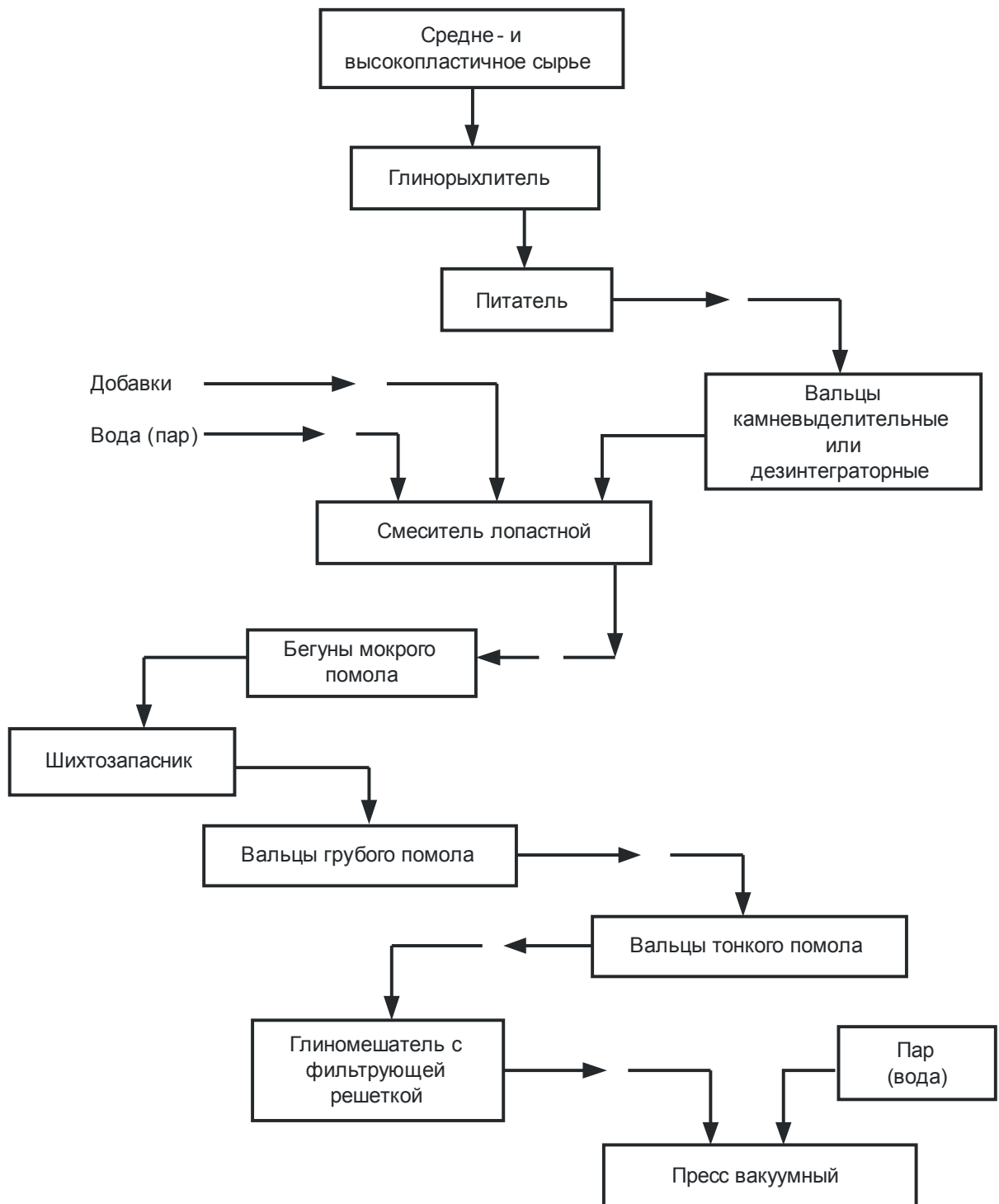


Рис. ПЗ.3. Для глин средней плотности и пластичности

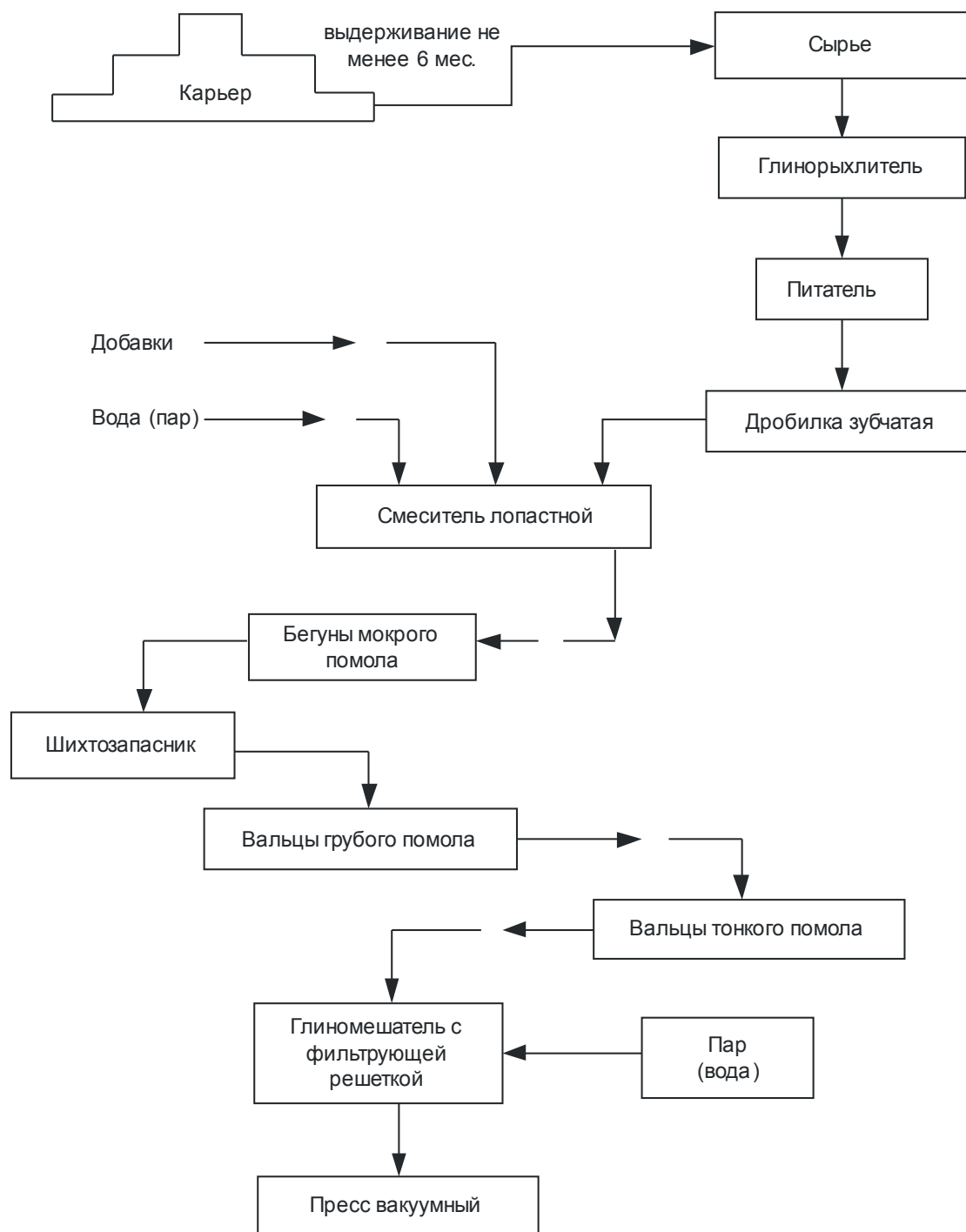


Рис. ПЗ.4. Для глин пластичных, вязких, плотных, трудноразмокаемых в воде

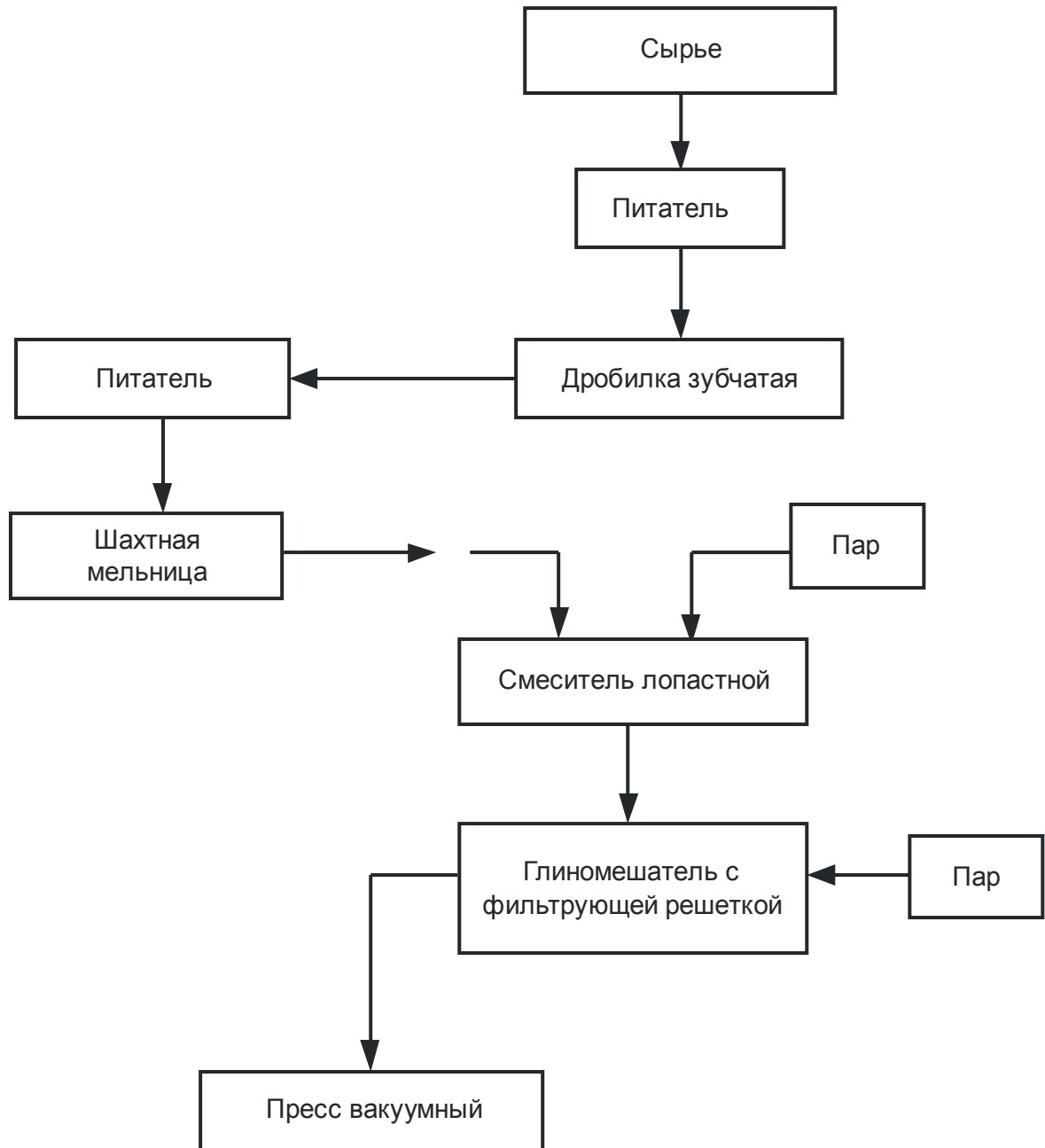


Рис. ПЗ.5. Для глинистых сланцев, аргиллитов в природном виде или в виде отходов углеобогащения с наличием повышенного содержания активных карбонатных включений (полусухой способ подготовки сырья с пластическим способом формования сырца)

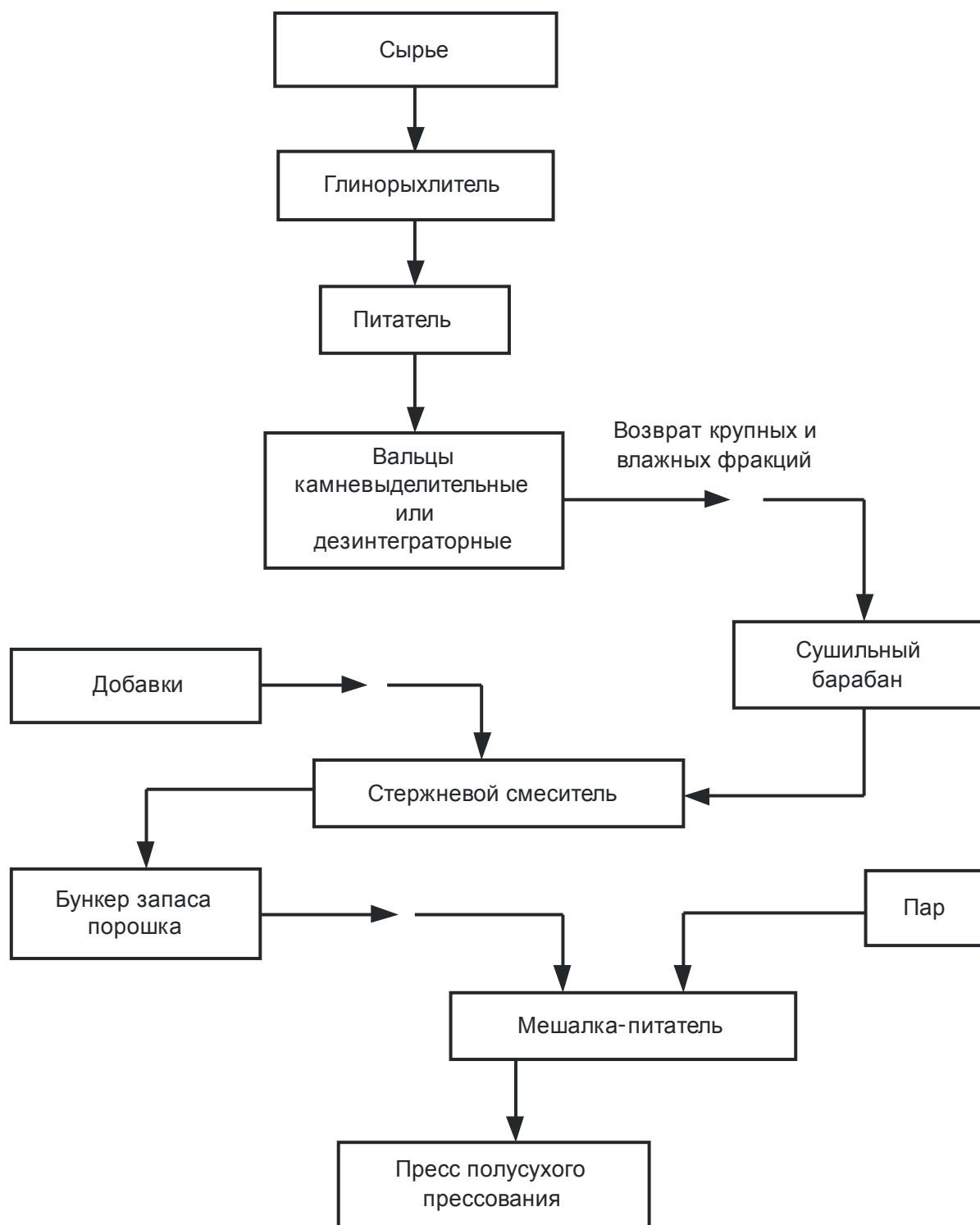


Рис. П.3.6. Для глин с пониженной карьерной (относительной) влажностью 13-18 % (полусухой метод изготовления изделий)

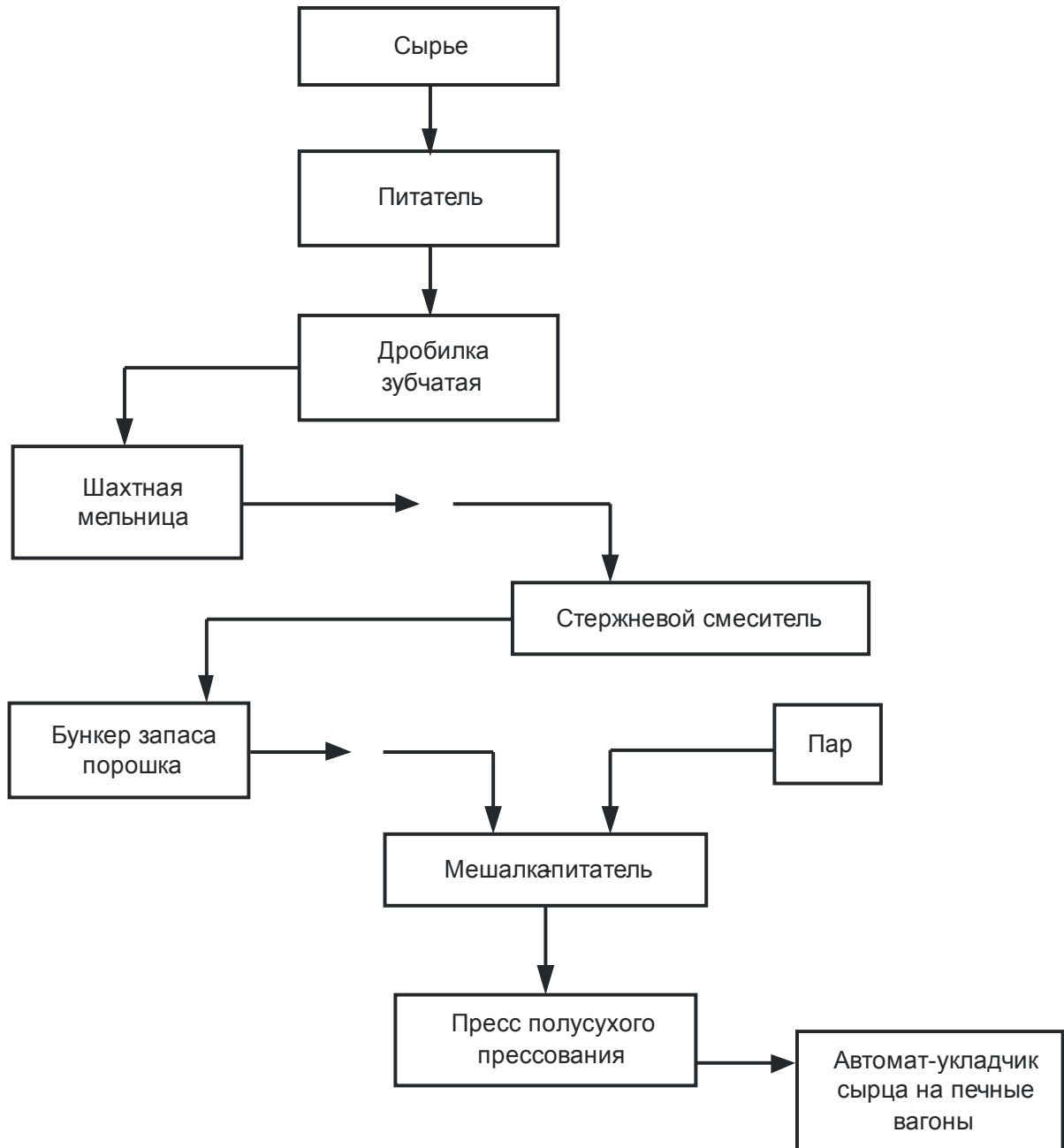


Рис. П.3.7. Для глин аргиллитовых, туфаргиллитовых, сланцев с карьерной влажностью 8-14 % (полусухой метод изготовления изделий)

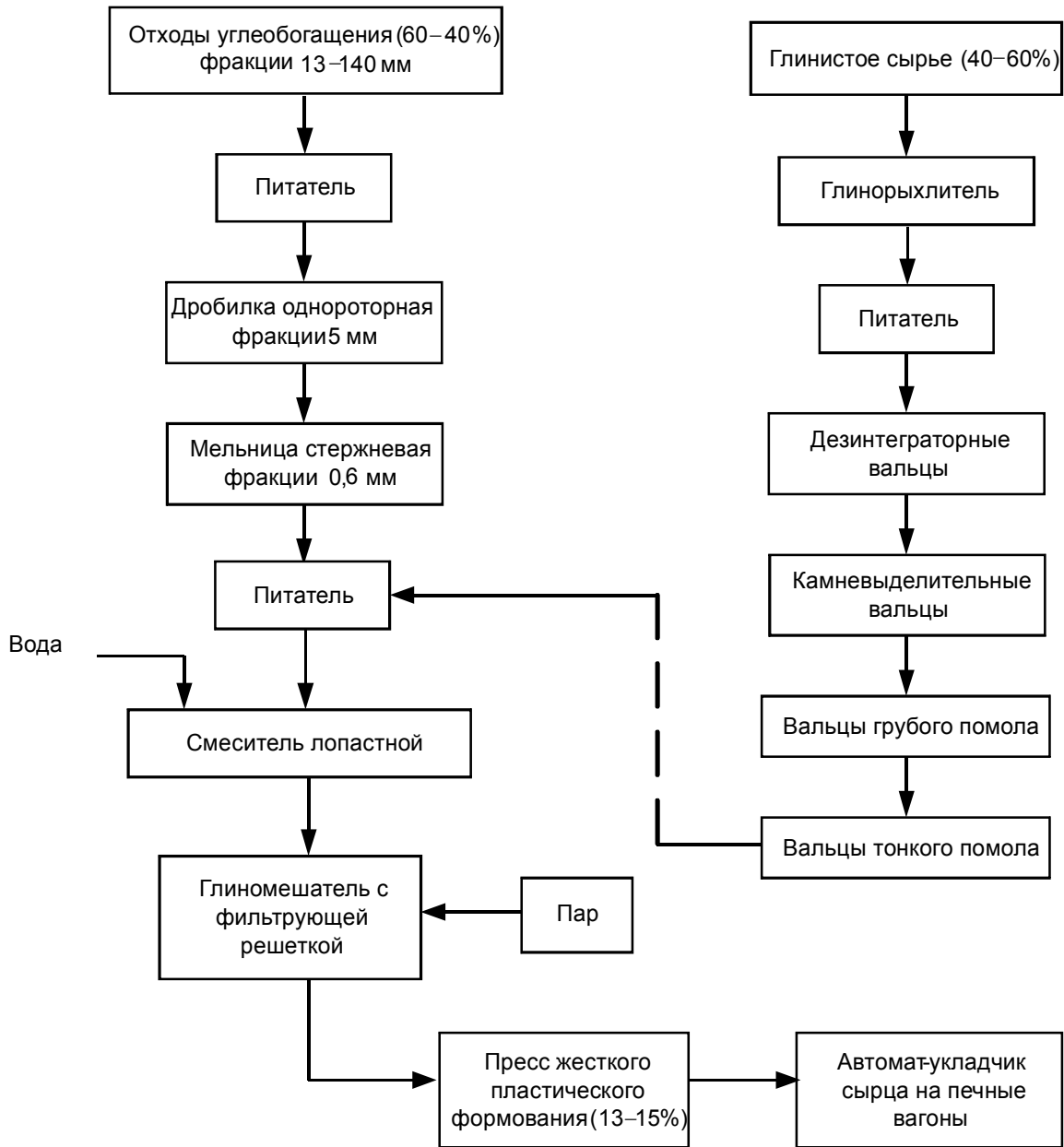


Рис. П.3.8. Для глин с естественной пониженной влажностью до 21 % с использованием отходов углеобогащения с влажностью до 8 % (способ жесткого формования)

Приложение 4

Таблица П4.1

Плотность основных керамических материалов, кг/м³

Каолинит	2,63
Глины	1,3–3,45
Аргиллиты	2,0–2,3
Глинистые сланцы	2,1–2,65
Диатомиты	0,35–1,25
Трепелы	0,7–1,15
Кирпич:	
керамический рядовой	1,5–1,9
керамический облицовочный	0,7–1,4
керамические камни	1,25–1,4
фаянс твердый	1,2–2,5
тонкокаменные	1,92–2,5
майолика	1,3–2,2

Продолжение прил. 4

Таблица П4.2

Температурная зависимость теплоемкости и теплопроводности
огнеупорных и теплоизоляционных материалов

Изделия	Коэффициент теплоемкости, кДж/кг град	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/м град
Шамотные огнеупоры	0,837 + 0,000264 t	1900 1600	1,04 + 0,00015 t 0,70 + 0,00064 t
Шамотный легковес		1300 1200 1000 800	0,61 + 0,00018 t 0,35 + 0,00035 t 0,28 + 0,00023 t 0,21 + 0,00043 t
Динасовые огнеупоры	0,795 + 0,000335 t	1900 1100	1,07 + 0,00093 t 0,58 + 0,00043 t
Керамический кирпич	0,837 + 0,000264 t	1800	0,47 + 0,00051 t
Высокоглино-земистые	0,837 + 0,000264 t	2500	2,1 – 0,00062 t
Корундовые	0,795 + 0,000419 t	2800	2,1 + 0,00215 t
Магнезитовые	0,942 + 0,000250 t	2700	6,2 – 0,00270 t
Магнезитохромитовые		2750	4,0 – 0,00082 t
Хромомагнезитовые	0,754 + 0,00015 t	2900	2,0 – 0,00035 t
Форстеритовые	0,890 + 0,000419 t	3000	3,3 – 0,00110 t
Диатомитовые	0,837 + 0,000920 t	1100	0,27 + 0,00023 t
Бакор			2,13 e ^{0,00062t}
Ячеистый фосфатный бетон		900	0,348 + 0,00010 t
Фосфокерамзитобетон		1200	0,314 + 0,00024 t
ШВП – 1150		350	0,13 + 0,00010 t
ШВП – 1350		500	0,07 + 0,00030 t
Рулонное каолиновое волокно	0,837 + 0,000264 t	130	0,034 + 0,00026 t

Таблица П4.3

Зависимость теплоемкости газов от температуры

Температура, °С	Теплоемкость газов, кДж/нм ³ град					
	CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	SO ₂	Воздух
0	1,5998	1,4943	1,2946	1,3059	1,7334	1,2971
100	1,7003	1,5052	1,2959	1,3176	1,8130	1,3005
200	1,7874	1,5224	1,2996	1,3352	1,8883	1,3076
300	1,8628	1,5425	1,3068	1,3562	1,9553	1,3177
400	1,9298	1,5655	1,3164	1,3775	2,0181	1,3294
500	2,9888	1,5898	1,3277	1,3980	2,0644	1,3428
600	2,0412	1,6149	1,3402	1,4168	2,1144	1,3570
700	1,3537	1,6413	1,3537	1,4345	2,1521	1,3712
800	2,1312	1,6681	1,3670	1,4500	2,1814	1,3846
900	2,1698	1,6957	1,3796	1,4646	2,2149	1,3976
1000	2,2036	1,7230	1,3918	1,4776	2,2359	1,4098
1100	2,2350	1,7502	1,4035	1,4893	2,2777	1,4219
1200	2,2639	1,7770	1,4144	1,5006		1,4328
1300	2,2899	1,8029	1,4256	1,5107		1,4437
1400	2,3137	1,8280	1,4349	1,5203		1,4537
1500	2,3355	1,8527	1,4441	1,5295		1,4629
1600	2,3556	1,8762	1,4529	1,5379		1,4717

Таблица П4.4

Теплоемкость некоторых материалов в зависимости от температуры,
кДж/кг град, и теплота фазовых процессов

Тем- пера- тура, °С	Глина	Шамот	CaCO ₃	MgCO ₃	CaO	MgO	CaSO ₄ ·2H ₂ O	β·CaSO ₄ ·0,5H ₂ O
0	1,075	0,808	0,79	0,85	0,74	0,87	0,53	0,49
100	1,088	0,837	0,87	0,86	0,79	0,91	1,22	0,91
200	1,105	0,871	0,98	0,96	0,79	0,98		1,02
300	1,120	0,905	1,02	0,99	0,84	1,03		
400	1,160	0,935	1,037	1,01	0,86	1,04		
500	1,170	0,964	1,05	1,06	0,86	1,07		
600		0,997	1,08		0,87	1,09		
700		1,030	1,10		0,88	1,12		
800		1,060	1,11		0,88	1,13		
900		1,090	1,11		0,89	1,15		
1000		1,122			0,90	1,16		
1100		1,155			0,90	1,17		
1200		1,182			0,91	1,19		
1300		1,218			0,91	1,20		
1400		1,248			0,91	1,20		
<i>Тепло, затраченное на химические реакции, кДж/кг</i>								
500	290-557			1310		2750		
900			1780		3177			
1000							495	582

Таблица П 4.5

Состав природных газов

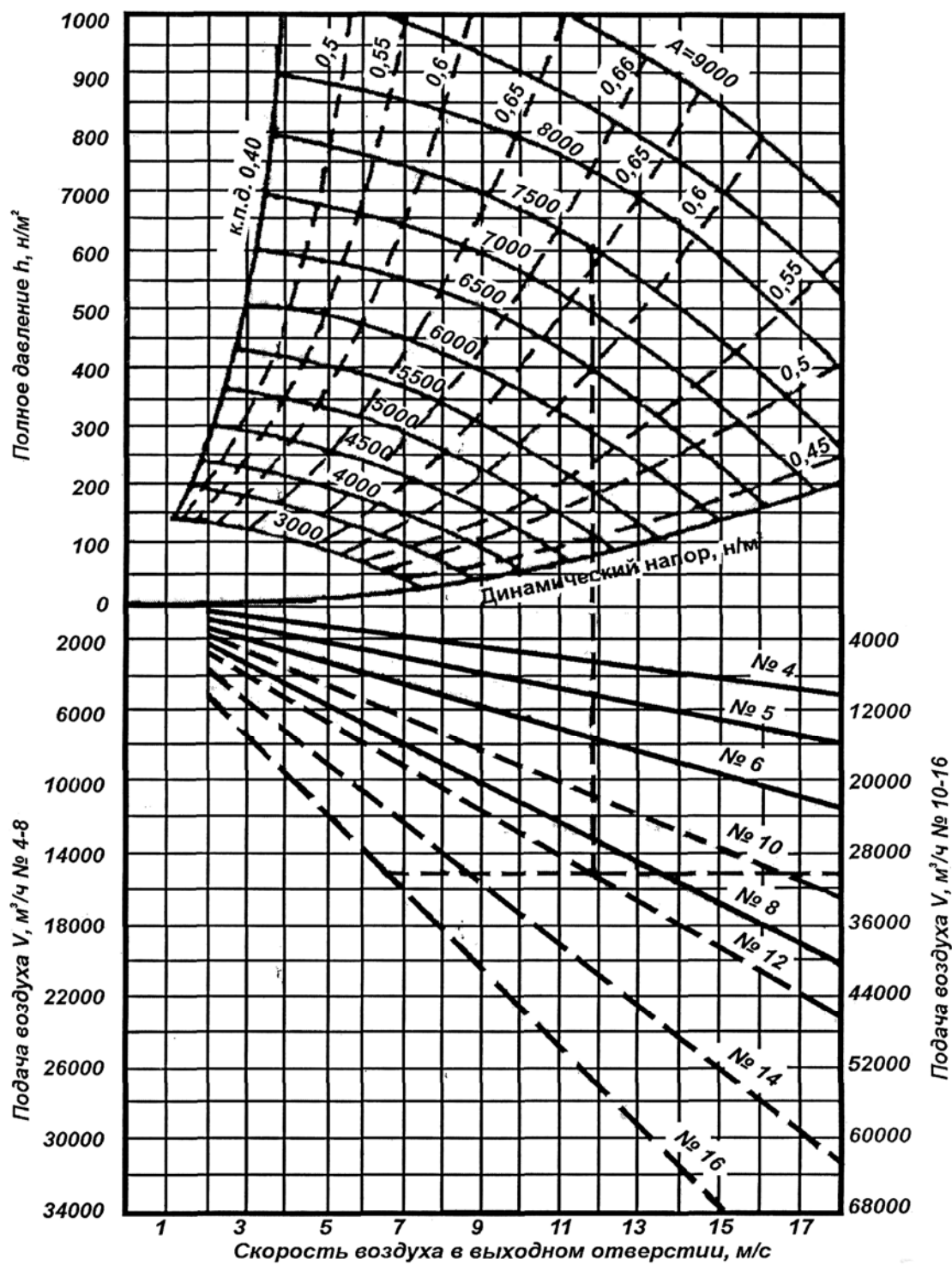
Наименование газа	Состав сухого газа, %, по объёму								Теплотворная способность, кДж/нм ³
	СН ₄	С ₂ Н ₆	С ₃ Н ₈	С ₄ Н ₁₀	С ₅ Н ₁₂	СО ₂	Ν ₂	Н ₂ S	
Шебелинский	93,2	4,4	0,8	0,6	0,3	0,1	0,8		35800
Ставропольский	98,0	0,3	0,1	0,1	-	0,3	1,2		35380
Газлинский	95,6	2,7	0,3	0,3		0,1	1,2		36010
Дашавский	97,9	0,5	0,2	0,1		0,1	1,2		35590
Саратовский	94,0	1,2	0,7	0,4	0,2	0,2	3,3		35720
Коми (Саха)	85,9	3,1	1,0	0,4	0,1	0,1	9,4		33370
Бугурусланский	81,7	5,0	2,0	1,2	0,6	0,4	8,5	0,6	36720
Березовский	91,6	1,6	0,8	0,4	0,2	0,6	4,7	0,1	33100
Лесмуровский	84,9	4,7	2,6	0,8	0,2	2,0	4,8		38240
Двуреченский	86,5	2,0	1,2	0,6	0,1	0,4	9,2		35404

Таблица П 4.6

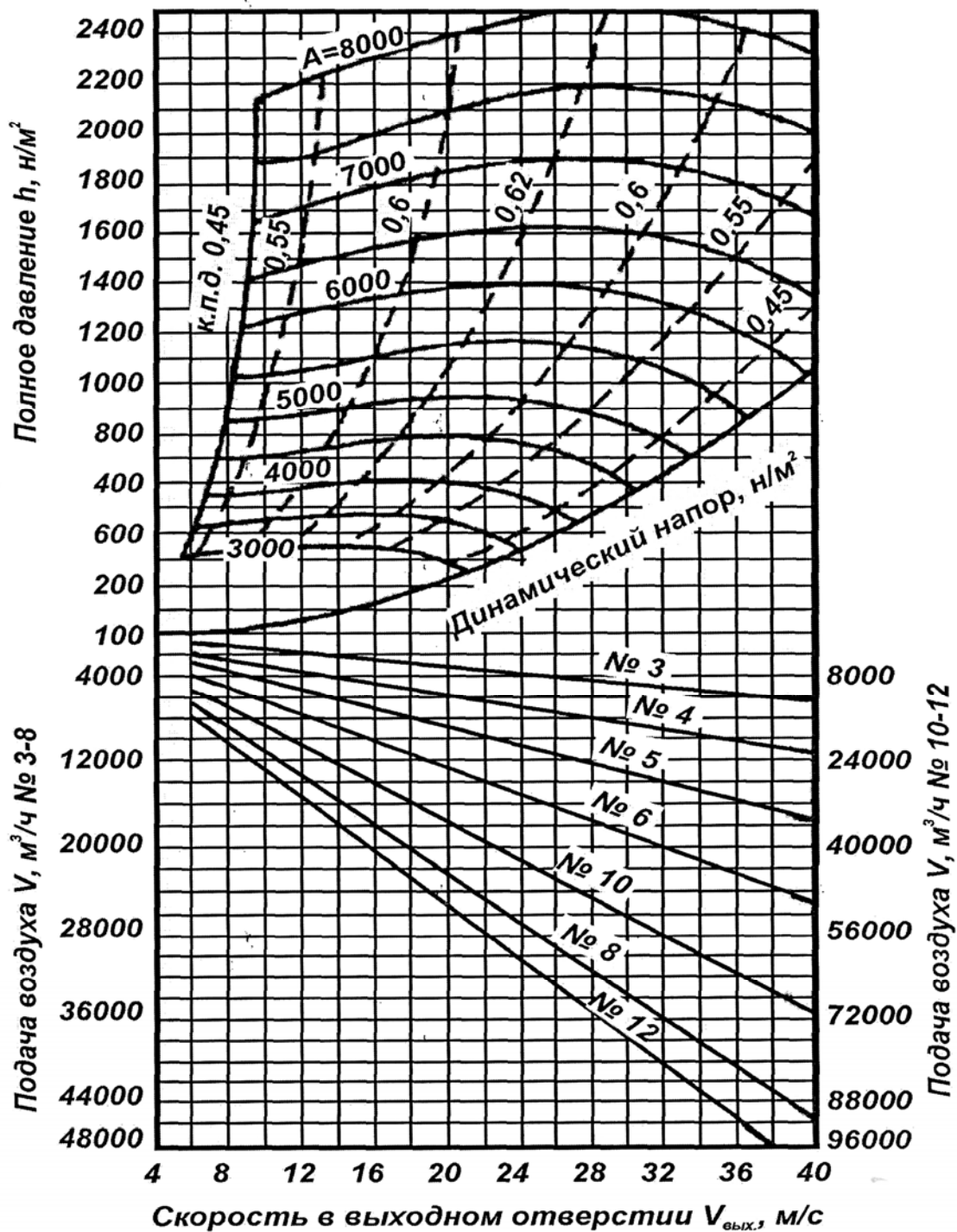
Составы мазута и угольного топлива

Наименование	Элементарный состав, % масс						Q _н ^p , кДж/кг
	С ^r	Н ^r	S ^r	N+O ^r	A _p	W _p	
<i>Жидкое топливо</i>							
Мазут 20	87,2	11,7	0,5	0,6	0,1	2,0	40400
Мазут 40	87,4	11,2	0,5	0,9	0,2	3,0	39440
Мазут 60	87,6	10,7	0,7	1,0	0,3	4,0	39020
Мазут 80	87,6	10,5	0,8	1,0	0,3	4,0	38690
Мазут 100	87,5	10,5	0,9	1,0	0,3	4,0	38690
<i>Твердое топливо, каменный уголь</i>							
Кемеровский	86,0	5,0	0,7	8,3	16,0	9,0	21186
Ленинский	79,0	5,5	0,5	15,0	5,5	10,0	26378
Подмосковный	67,0	5,0	5,9	22,1	35,0	32,5	10635
Воркутинский	85,0	5,3	1,3	8,4	23,0	8,0	23740
Буланашский	80,0	5,5	1,3	12,7	24,0	11,0	21396
Челябинский	72,0	5,2	2,1	20,7	32,0	17,0	15157

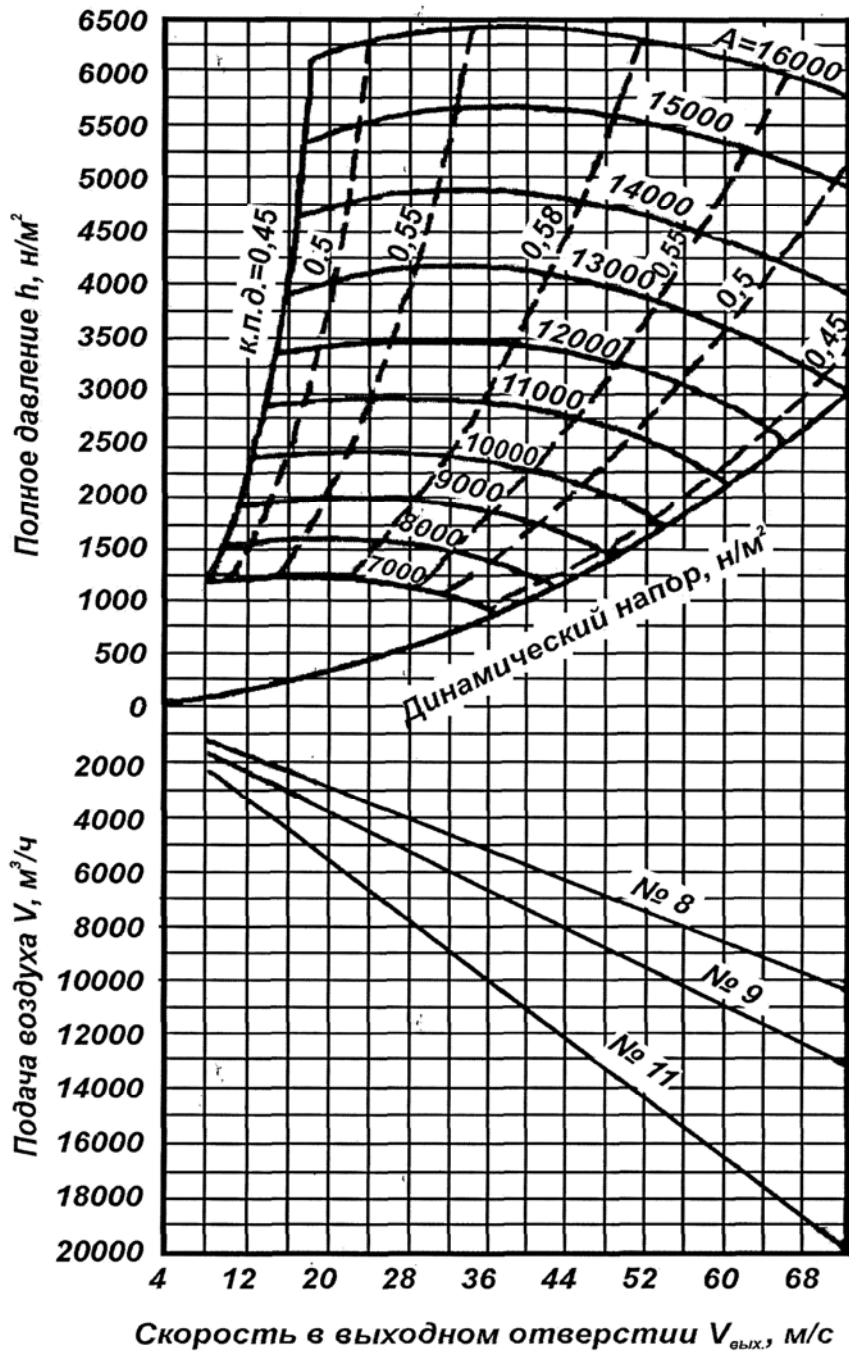
Номограмма для подбора вентиляторов низкого давления серии ВРН
 № – номер вентилятора



Номограмма для подбора вентиляторов среднего давления серии ВРС



Номограмма для подбора вентиляторов высокого давления серии ВВД



Газовая горелка ГНП

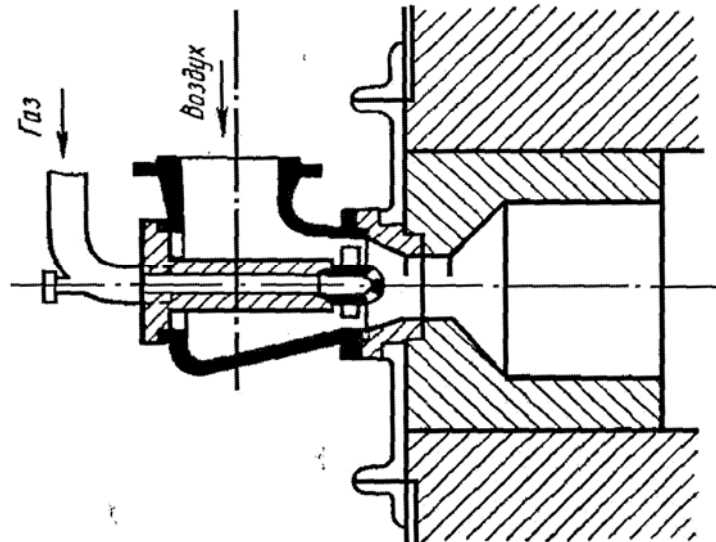
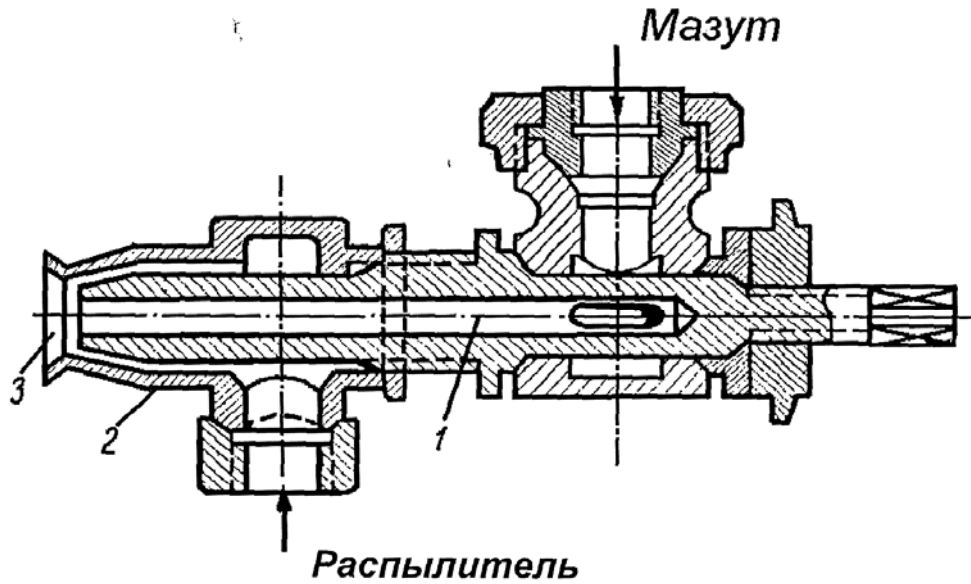


Таблица П 6.1
Производительность горелок ГНП

Номер горелки	ГНП-1	ГНП-2	ГНП-3	ГНП-4	ГНП-5	ГНП-6	ГНП-7	ГНП-8	ГНП-9
Производительность, м ³ /час	1,5-6	2,5-10	5-12	7-30	13-52	20-80	30-120	39-156	51-204

Форсунка системы Шухова



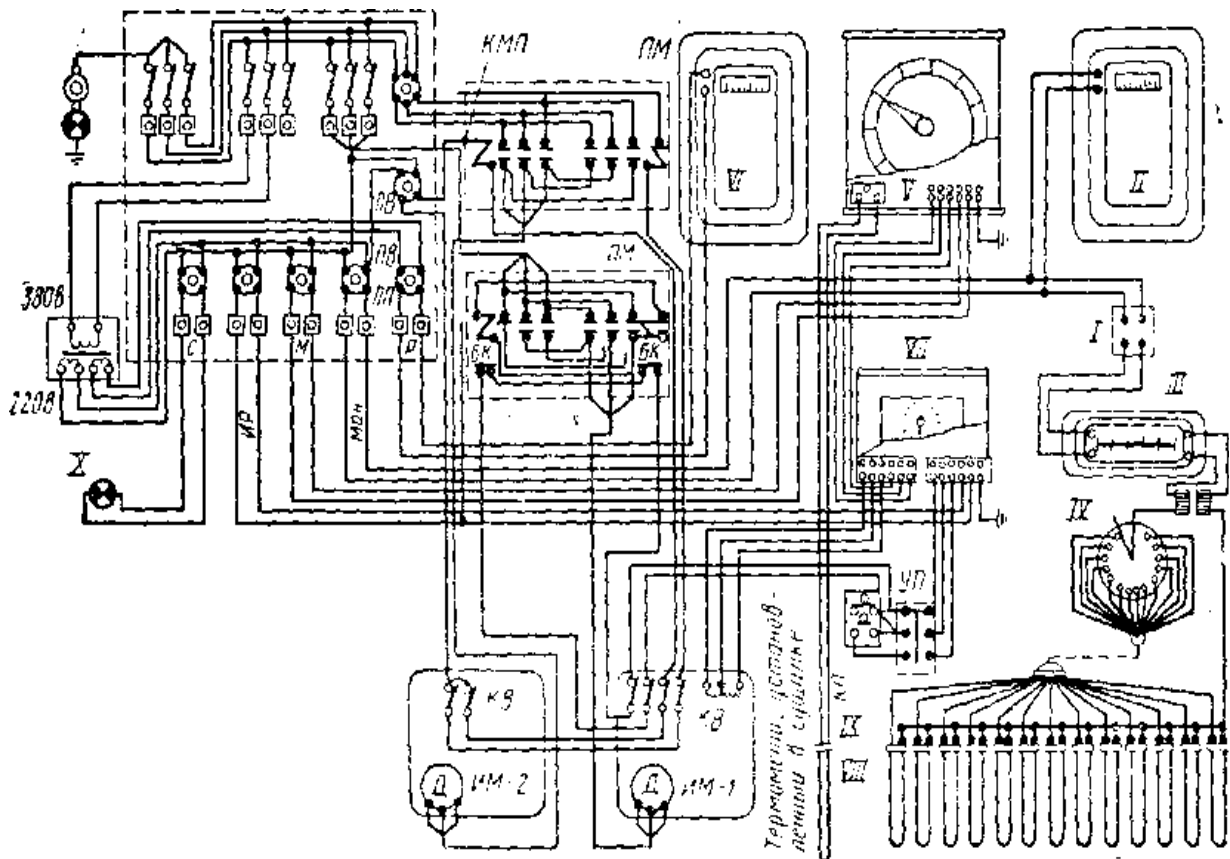
1 – мазутное сопло,
2 – корпус форсунки, 3 выходное сопло

Таблица П 6. 2

Тепловое напряжение топок

Вид топлива	Q_f , кВт/м ²	Q_v , кВт/м ³	
		Топка для сушил	Топка для печей
Каменный уголь	600–700	290–350	580–700
Антрацит	460–580	290–350	700–830
Бурый уголь	580–785	290–350	580–700
Природный газ		230–390	
Мазут		230–3450	

Схема автоматического регулирования температуры теплоносителя
в туннельной сушилке



- УП – универсальный переключатель; КП – кнопочный пункт;
 ПМ-магнитный пускатель; КВ – конечный выключатель;
 ИМ – исполнительный механизм; Д – электродвигатель исполнительного
 механизма; БК – блокирующий контакт магнитного пускателя;
 КМП – катушка магнитного пускателя; ПВ – пакетный выключатель;
 ПП – пробочный предохранитель; ИР – изодромный регулятор;
 М – электронный мост; Ман – манометр (кольцевые весы); Р – расходомер;
 I – селеновый выпрямитель; II – манометр; III – логометр; IV – переключатель;
 V – электрический мост; VI – расходомер; VII – изодромный
 регулятор; VIII – термометры сопротивления, установленные в туннелях
 сушил; IX – то же, в подводящем канале сушил; X – освещение щита

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1. СОСТАВ И ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЕКТА	5
1.1. Задание.....	6
1.2. Выбор и обоснование способа производства.....	6
1.3. Составление технологической схемы производства.....	7
1.4. Режим работы предприятия	8
1.5. Расчет производственной мощности проектируемого предприятия.....	11
1.6. Материальный баланс предприятия.....	12
1.7. Общие указания по проектированию предприятия.....	16
1.8. Выбор и расчет количества основного технологического оборудования.....	27
1.9. Автоматизация технологических процессов. Уровень автоматизации и механизации	30
1.10. Архитектурно-строительная часть.....	31
1.11. Себестоимость продукции и производительность труда.....	38
1.12. Контроль технологических процессов и качества готовой продукции.....	40
2. ОПИСАНИЕ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ СУШКИ И ОБЖИГА КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ.....	41
2.1. Сушка керамических изделий	41
2.1.1. Процесс сушки керамических изделий.....	42
2.1.2. Требования, предъявляемые к сушилкам	44
2.2. Обжиг керамических изделий	45
2.2.1. Процессы, происходящие при обжиге глин	45
2.2.2. Описание конструкции и работы туннельной печи	48
2.3. Расчет процесса обжига кирпича. Тепловой баланс туннельной печи	50
2.3.1. Расчет продолжительности обжига кирпича и производительности печи	50
2.3.2. Горение топлива	53
2.3.3. Тепловой баланс рабочего пространства печи	56
2.3.4. Расчет количества газов, проходящих по печи	71
2.3.5. Расчет аэродинамических сопротивлений туннельной печи	73
2.3.6. Подбор вентиляторов.....	74

2.4. Расчет процесса сушки кирпича-сырца и тепловой баланс сушилки	75
3. ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ И АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПЕЧИ	85
3.1. Характеристика объекта управления.....	85
3.2. Назначение системы управления.....	86
3.3. Требования к системе автоматизации	88
3.4. Техничко-экономическое обоснование системы автоматизации.....	89
3.5. Разработка системы автоматизации.....	89
3.6. Разработка функциональной схемы автоматизации.....	91
4. БЕЗОПАСНОСТЬ ОБСЛУЖИВАНИЯ ТУННЕЛЬНОЙ ПЕЧИ	98
4.1. Характеристика воздействий тепловых агрегатов на производственный персонал	98
4.2. Оценка техногенных воздействий.....	98
4.2.1. Взрывное воздействие	98
4.2.2. Тепловое воздействие	106
4.3. Обеспечение техногенной безопасности	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	111
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	112
ПРИЛОЖЕНИЯ	115

Учебное издание

Тяпкин Вячеслав Александрович
Мороз Марина Николаевна
Макридин Николай Иванович
Бобрышев Анатолий Николаевич

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ
КЕРАМИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**
Учебное пособие

Под общей редакцией доктора технических наук
профессора В.И. Калашникова

Редактор С.В. Сватковская
Верстка Н.А. Сазонова



Подписано в печать 24.04.13. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать офсетная.
Усл.печ.л. 8,37. Уч.-изд.л. 9,0. Тираж 80 экз.
Заказ №95.

Издательство ПГУАС.
440028, г.Пенза, ул. Германа Титова, 28.