**Расчет печи кипящего слоя**

**Введение**

При производстве строительных изделий, деталей и материалов почти во всех случаях для перевода сырья в новое качество – готовую продукцию – применяют тепловую обработку. В большинстве случаев тепловая обработка дает возможность придать сырью новые, качественно отличные свойства, необходимые в строительстве. Такой процесс происходит за счет физических и физико-химических превращений в обрабатываемом материале, течение которых зависит от воздействия тепла

Для теплового воздействия материал помещают в установку, которую в общем случае называют тепловой установкой. Различные физические и физико-химические превращения в материале требуют различного теплового воздействия. Поэтому в каждой тепловой установке создают свой необходимый для обработки продукции тепловой режим. Под тепловым режимом понимают совокупность условий теплового и массообменного воздействия на материал, как-то: изменение температуры среды, скорость течения газов или жидкости, омывающих материал, концентрацию газов, их давление.

Тепловой режим установки будет воздействовать на сырье и за счет физических и физико-химических превращений в нем оно превратится в готовую продукцию.

Целью данного курсового проекта является расчет печи кипящего слоя по производству керамзитового песка.

Керамзитовый песок – искусственный пористый материал, полученный путем вспучивания глинистых пород при ускоренном обжиге или дробления керамзитового гравия. Вспучивание глин при быстром обжиге в определенных условиях является их важнейшим физико-химическим свойством.

В результате вспучивания получается легкий поризованный материал с мелкоячеистой структурой, обладающий малым объемным весом при значительной прочности и высокими теплозащитными свойствами.

Керамзитовый заполнитель наряду с тем, что имеет достаточную прочность и атмосферостойкость, обладает хорошим сцеплением с вяжущим и не содержит вредных примесей для вяжущего и арматуры, а также приготовляется чаще из местного сырья.

Керамзитовый песок применяется в качестве заполнителя при изготовлении теплоизоляционного и конструктивного (в том числе конструкционно-теплоизоляционного) легких бетонов, а также на теплоизоляционные засыпки и на прочие цели.

1. **Технологическая часть**

**1.1 Сырьевые материалы для производства керамзитового песка**

Сырьем для изготовления керамзита служат глинистые горные породы различного химико-минералогического состава и генетического происхождения. Они встречаются в природе в плотном, рыхлом и пастообразном состоянии. Размягчаясь в условиях ускоренной термической обработки, эти породы вспучиваются за счёт давления изнутри газообразных продуктов, выделяющихся в обжигаемой глинистой массе, и образуют стекловидной материал с ячеистой структурой.

Глиняные материалы образовались в результате выветривания изверженных полевошпатовых горных пород. Процесс выветривания горной породы заключается в механическом разрушении и химическом разложении. Механическое разрушение происходит в результате воздействия переменной температуры и воды. Химическое разложение происходит, например, при воздействии на полевой шпат воды и углекислоты, в результате чего образуется минерал каолинит.

Глиной называют землистые минеральные массы или обломочные горные породы, способные с водой образовывать пластичное тесто, по высыхании сохраняющее приданную ему форму, а после обжига приобретающее твердость камня. Наиболее чистые глины состоят преимущественно из каолинита и называются каолинами. В состав глин входят различные оксиды (А12ОЗ, SiO2, Fe2O3, CaO, Na2O, MgO и К2О), свободная и химически связанная вода и органические примеси.

Большое влияние на свойства глины оказывают примеси. Так, при повышенном содержании SiO2, не связанного с А12ОЗ, в глинистых минералах уменьшается связующая способность глин, повышается пористость обожженных изделий и снижается их прочность. Соединения железа, являясь сильными плавнями, понижают огнеупорность глины. Углекислый кальций уменьшает огнеупорность и интервал спекания, увеличивает усадку при обжиге и пористость, что уменьшает прочность и морозостойкость.

Глины характеризуются пластичностью, связностью и связующей способностью, отношением к сушке и к действию высоких температур.

В производстве обжиговых материалов наряду с глинами используются диатомиты, трепелы, сланцы и др. Так для получения пористых заполнителей – вспучивающиеся глины, перлит, вермикулит.

На многих керамических заводах отсутствует сырье, пригодное в естественном виде для изготовления соответствующих изделий. Такое сырье требует введения добавок.

Глины, содержащие повышенное количество глинистых фракций, обладают более высокой связностью, и, наоборот, глины с небольшим содержанием глинистых частиц имеют малую связность. С увеличением содержания песчаных и пылевидных фракций понижается связующая способность глины. Это свойство глины имеет большое значение при формовании изделий. Связующая способность глины характеризуется возможностью связывать частицы непластичных материалов (песка, шамота и др.) и образовывать при высыхании достаточно прочное изделие заданной формы.

Основными критериями пригодности глинистого сырья для производства керамзита являются:

* его способность вспучиваться при термической обработки в пределах
* 1050–1250 С и образовывать при этом материал, имеющий ячеистое строение с объёмным весом в куске в пределах 200–1350 кг/м3;
* содержание не более 30% песчаных и пылеватых частиц. А отдельные окислы в следующих пределах: SiO2 – 50–55%

А12О3 – 15–25%

CaO – доЗ%

MgO – до 4%

Fe2O3+FeO – 6,5–10%

Na2O+K2O – 3,5–5%

– отсутствие частиц карбонатов кальция и магния крупнее 0,2 мм и гипса;

– содержать тонкодисперсных органических примесей в пределах 1–2%, однако в некоторых случаях недостаток их может быть восполнен соответствующими добавками (нефтяные продукты и отходы).

**1.2 Процессы, происходящие при обжиге керамзитового песка**

Создание пористой структуры керамзита достигается вспучиванием размягченного при термической обработке глинистого сырья газами (СО, СО2, Н2О, SO2, O2, N2, CH), выделяющимися в процессе нагревания. Наилучший керамзит получают при оптимальном соотношении вязкости и связности сырья в нагретом состоянии при условии достаточного газовыделения. Это соотношение должно выдерживаться в течение всего периода газовыделения.

Получение керамзита с наилучшими показателями связано с характером газовой среды внутри гранул и в печном агрегате, также с режимом сушки и обжига сырца и охлаждении обожженных гранул.

Характер газовой среды при термической обработке сырцовых гранул обуславливается:

A) составом продуктов сгорания топлива;

Б) коэффициентом избытка воздуха;

B) составом газов, выделяемых органическими примесями глинистой породы (летучих и при окислении коксового остатка), карбонатами и продуктами реакций, зависящих от химического состава породы;

Г) составом парообразных продуктов, образующихся при удалении химически связанной воды различных глинистых минералов, также получаемых при испарении влаги сырцовых гранул, загружаемых в печь.

Продукты сгорания топлива и избыточный воздух, подаваемые в печь под давлением, устремляются в основном по оси печи. Парообразные и газообразные продукты, выделяемые исходным сырьем при его нагревании и обжиге, отмывают гранулы и затем перемешиваются и удаляются с продуктом сгорания топлива.

Вспучиванием называют процесс увеличения материала в объеме, сопровождающегося образованием внутренней, преимущественно замкнутой пористости.

***а)***

Для уяснения основных закономерностей процесса вспучивания глиняной гранулы рассмотрим его в самом схематическом приближении.

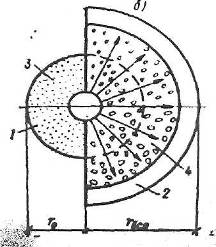


Рис. 1. Схема вспучивания элементарной ячейки глиняной гранулы а) сухая гранула; б) вспученная гранула; 1 – пора; 2 – спекшаяся оболочка; 3 – сухая гранула; 4 – вспученная гранула

Представим себе, что нагревается полый глиняный шарик радиусом Го (рис. 1),

который можно уподобить элементарной поре глиняной гранулы. Во время нагрева при достижении определенной температуры глиняная оболочка рассматриваемого шарика начнет размягчаться, спекаться и в конечном счете уплотнится и станет газонепроницаемой, находясь в пиропластическом состоянии. Если в этот момент внутри шарика по каким-либо причинам начнут выделяться газы, то, не имея выхода через оболочку, они будут создавать во внутренней полости шарика избыточное давление, под воздействием которого оболочка будучи размягченной, начнет расширяться и радиус ее станет rвсп. Это и будет представлять собой вспучивание элементарной ячейки глины.

Таким образом, процесс вспучивания состоит из двух стадий: первая – спекание с образованием закрытой поры и вторая – собственно вспучивание под давлением газов, выделяющихся внутри закрытой поры. Сумма таких элементарных актов в каждой ячейке глиняной гранулы и обусловит общий процесс вспучивания всей гранулы. При этом, рассматривая процесс вспучивания всей гранулы, необходимо иметь в виду, что по своей толще она нагревается неравномерно: с поверхности нагревается быстрее, чем в центре. Поэтому поверхность гранулы еще до того, как вся ее масса приобретает пиропластическое состояние, покрывается плотной спекшейся газонепроницаемой оболочкой 2, предотвращающей утечку газов из гранулы даже в том случае если поп давлением газов отдельные перегородки пор окажутся прорванными.

Основным условием, обеспечивающим вспучивание глинистых пород при их нагревании, является совмещение во времени пиропластического состояния глины с интенсивным газовыделением внутри обжигаемого материала. В глинах при их нагревании выделяется довольно значительное количество газообразных продуктов, причем экспериментально установлено, что вспучиваемость глин зависит от удельного газовыделения, которое у хорошо вспучивающихся глин превышает 100 мг/г. В настоящее время можно считать установленным, что источниками газовыделения в глинах являются реакции разложения и восстановления оксидов железа при их взаимодействии с органическими примесями или добавками в глине, а также химически связанная вода глинистых минералов. Схема восстановительных реакций может быть представлена следующими уравнениями:

6Fe2O3 → 4Fe3O4 + О2; 2Fe3O4 → 6FeO + О2;

Fe2O3 + С = 2FeO + СО; Fe2O3 + СО = 2FeO + СО2.

Возникновение пиропластического состояния в глине наступает в результате накопления в ней достаточного количества жидкой фазы – силикатного расплава. Интенсивность накопления жидкой фазы зависит прежде всего от химического состава глины. Она возрастает с увеличением содержания щелочей в глине и резко убывает по мере возрастания в ней свободного кварца. Восстановительная среда резко интенсифицирует процесс накопления жидкой фазы.

На вспучиваемость глины оказывает влияние и режим нагрева, создающий определенную интенсивность теплообмена. Температурный перепад, возникающий в грануле и зависящий от интенсивности теплообмена, может оказывать решающее влияние на процесс вспучивания глины.

Процесс формирования керамзитовой структуры при обжиге глиняной гранулы развивается в три температурных этапа. В интервале температур 100–800 °С в грануле образуются поры различных размеров за счет удаления различных видов физической и частично химически связанной воды, а также за счет частичного выгорания органических примесей. В этом же интервале температур начинается спекание глины. В интервале 800–1050 °С происходит образование наружной спекшейся оболочки и дальнейшее развитие пористости, но уже за счет начала процессов вспучивания. В материале развиваются твердофазовые реакции и происходит накопление жидкой фазы. На третьем этапе (1050–1200 °С) интенсивно развиваются и завершаются процессы вспучивания, нарастают количества средних и крупных пор радиусом до 50 мкм. Общая пористость вспученной гранулы достигает 70 – 90%.

**2. Теоретическая часть**

**2.1 Связь влаги с материалом**

Все материалы, подвергаемые ТО, при производстве строительных изделий представляют *собой* неоднородные системы, в которой совмещены три фазы агрегатного состояния:

* твердая фаза (скелет материала)
* жидкая фаза (влага)
* газообразная (воздух, пары воды)

Твердая фаза материала за счет свободной поверхностной энергии обладает большой адсорбционной способности поглощать влагу. Эта влага связывается материалом и может им удерживаться.

Влажные материалы в зависимости от их свойств делятся на три вида:

*коллоидные тела.* Они характеризуются эластичными свойствами, сохраняющимися даже при удалении влаги.

*капиллярно-пористые тела.* При удалении влаги из них, они приобретают хрупкость и могут быть превращены в порошок.

*капиллярно-пористые коллоидные тела.* При увлажнении они увеличиваются в размерах – набухают. Удаление влаги из таких тел сопровождается усадкой, причем удаление влаги связано с нарушением связи влаги с материалом и на это нарушение необходимо затрачивать определенную энергию.

Все формы связи влаги с материалом делятся на три группы:

* химическая
* физико-химическая
* физико-механическая

*Химическая связь* наиболее прочная, так как содержащаяся в материале влага является кристаллизационной. Она содержится в строго определенных количественных соотношениях. Такая влага удаляется из материала только при высоких температурах, а именно при прокаливании или обжиге. Поглощение материалом жидкости, химически связанной с материалом сопровождается контракцией системы. Сущность этого явления объясняется тем, что тело, поглощая жидкость, хотя и увеличивается в размерах, но объем набухающего тела уменьшает суммы первоначальных объемов тела и поглощенной влаги. Явление контракции проявляется при затворении небольшим количеством воды цемента, гипса, глины. При введении большого количества воды, явление контракции не исчезает, но становится менее заметным.

Влага, связанная с материалом *физико-химическим* способом делится на:

* адсорбционно связанную
* асматически связанную

Адсорбционная связанная – такая влага, которая абсорбирована на внешней поверхности действием силового поля коллоидных частиц. Эта влага с поверхности мицелл может частично проникать внутрь мицеллы и образовывать в ней интрамицелярный слой.

Асматически связанной называется такая влага, которая проникает в скелет коллоидного тела путем диффузии за счет сил асматического давления. Эту влагу еще называют влагой набухания. Для разрушения адсорбционных и асматических связей также нужна большая энергия, однако она значительно меньше, чем для разрыва химических связей. Такая влага может удаляться при температуре не превышающей 100 С.

При *физико-механической* форме связи влага удерживается в микро и макро порах за счет капиллярного давления и поверхностного натяжения. К макрокапиллярам относятся капилляры, которые имеют радиус больше 10-5см. эти капилляры не забирают влагу из воздуха, а заполняются только при непосредственном соприкосновении. Микропоры с радиусом менее 10-5см при действии сил капиллярного давления не заполняются влагой за счет ее сорбции из воздуха, а также при ее конденсациина поверхности материала. Влага смачивания связывается с материалом только при непосредственном соприкосновении. Эта связь самая непрочная и нарушается даже при воздушном хранении материала из-за разности парциальных давлений.

*Свободная влага* – влага, удаляемая из материала до равновесного состояния с окружающей средой.

*Связанная влага* – адсорбционная, асматическая и заполняющая микрокапилляры.

**2.2 Принцип создания кипящего слоя**

Псевдоожиженным, или кипящим слоем, называют особое состояние дисперсного материала, характеризующееся перемещением твердых частиц относительно друг друга за счет энергии газа или жидкости, пропускаемых через слой материала. Причем скорость восходящего газа должна быть достаточно высокой, чтобы нарушить неподвижность и создать интенсивное турбулентное движение, напоминающее кипение жидкости. При этом

Внутри кипящего слоя можно сжигать твердое, жидкое и газообразное топливо или подавать для обжига теплоноситель извне. Поверхность контакта зерен обжигаемого материала и теплоносителя достигает в кипящем слое максимальной величины, вследствие чего коэффициент теплопередачи отличается весьма высокими показателями – около 209 Вт/м2-сС).

Увеличение поверхности контакта способствует ускорению тепло- и массообмена, а непрерывное перемешивание частиц материала обеспечивает выравнивание температуры в слое, что позволяет проводить процесс быстро и в небольших рабочих объемах. Процессы в кипящем слое легко регулируются и поддаются автоматизации. Как показала практика, в кипящем слое можно обрабатывать зерна твердых материалов размером от долей миллиметра до 10 мм при различной влажности, так как влага, попадающая в кипящий слой, почти мгновенно испаряется. Обжигаемый зернистый материал находится в печи в виде псевдоожижиенного слоя, из которого выходит («сливается») готовый продукт. Из слоя удаляется столько же готового материала, сколько в него поступает сырца. Поэтому производительность тепловых агрегатов с кипящем слоем практически обусловливается количеством тепла, которое может быть выделено в процессе обжига или подведено в слой в еденицу времени.

Наряду с большими достоинствами метод кипящего слоя обладает и рядом недостатков. Так, интенсивное Движение частиц в слое и взаимное их перемещение не позволяют предсказать положения частицы в какой-либо промежуток времени. Это означает, что часть поступающих в камеру свежих частиц может скорее выйти из слоя, чем это требуется, и перегревается, что для ряда технологических процессов неприемлемо. Другой недостаток метода вытекает из условий взаимного соударения частиц и ударов их о стенки камеры, что приводит к истиранию материала и накоплению пыли, а также преждевременному износу аппарата.

Чтобы объяснить механизм создания кипящего слоя рассмотрим график псевдоожижения в координатах: скорость потока – сопротивление слоя материала.

P

∆P

0 W’кр Wкр’’ =Wв W

Рис. 2. Изменение сопротивления слоя сыпучих материалов от скорости сушильного агента

I Область фильтрации (участок ОА)

При прохождении воздушного потока дымовых газов через слой дисперсного материала последний оказывает сопротивление, но при такой скорости потока дымовых газов силы динамического давления этого потока на слой материала меньше силы тяжести самого слоя, поэтому поток дымовых газов проникает через дисперсный слой материала не изменяя его состояния, то есть дымовые газы фильтруются через слой, а сам слой находится в покое.

При повышении скорости потока силы динамического давления возрастают, наступает момент, когда силы динамического давления уравновешивают силы тяжести слоя (точка А). Слой приобретает новые свойства и переходит во взвешенное состояние. Частицы материала начинают раздвигаться, а слой увеличивается по толщине.

Скорость потока дымовых газов, при которой слой переходит во взвешенное состояние, называется критической скоростью начала псевдодвижения или первой критической скоростью. При этой скорости потока сопротивление слоя достигает максимального значения. Участок повышения скорости и увеличения сопротивления слоя (АО) называется областью фильтрующего слоя.

II. Область псевдоожижения (АВ)

При дальнейшем увеличении скорости в слое материала начинается свободное кипение, частицы начинают совершать движение без выноса частиц из слоя.

Еще большее увеличение скорости приводит к интенсификации кипения (точка В). Важно иметь в виду, что *во* всем диапазоне скоростей, когда процесс протекает в режиме псевдоожижения, скорость газового потока достаточна, чтобы оторвать частицы друг от друга, но не достаточна, чтобы удержать их. в потоке и вынести за пределы слоя. Состояние псевдоожижения и разбухание слоя будут продолжаться до тех пор, пока скорость дымовых газов не достигнет значения второй критической скорости, или скорости витания частиц.

Сопротивление слоя на этом участке постоянно, что объясняется изменением контактирования частиц в слое и возможностью их перемещения с возрастанием толщины слоя.

III Область транспортирования

По достижении скорости витания кинетическая энергия газового потока способна удержать в нем частицы и вынести их за пределы слоя, т.е. наступает взвешенное состояние, при котором частицы материала образуют с газовыми гетерогенную систему – аэровзвесь. Материал захватывается потоком и транспортируется в систему очистки дымовых газов и осаждения тонкодисперсного материала (направление в циклоны).

**3. Конструктивная часть**

Печи кипящего слоя в зависимости от характера процессов, протекающих

в них, могут быть одно- или многокамерными, работать без подвода тепла (при экзотермических процессах) или с различными способами подвода тепла (при эндотермических процессах). В многокамерных печах камеры могут располагаться смежно (однозонные печи) или в вертикальном положении одна над другой (многозонные печи); отдельные камеры могут сообщаться между собой при помощи наружных или внутренних переточных устройств.

Печь кипящего слоя состоит из ряда отдельных элементов; рабочей камеры, загрузочных, выгрузочных и тягодутьевых устройств, системы приборов для контроля и автоматического регулирования процесса, а при эндотермических процессах – устройств для сжигания топлива. Рабочая камера печи представляет собой футерованную шахту, перекрытую сводом. В зависимости от способа подвода тепла к шахте печи пристраивается выносная топка или устройство для сжигания топлива непосредственно в кипящем слое обрабатываемого материала. Наиболее существенной частью печи являются газораспределительные решетки, устройство для сжигания топлива и переточные устройства.

Печь кипящего слоя для обжига керамзитового песка показана на листе 1, Обжиг материала производится следующим образом: материал, загружаемый винтовым питателем 3, через течку 1 поступает в зону подогрева 2, из которого подогретым до 750 °С по внешнему переточному устройству 5 поступает в зону обжига 6. Обожженный песок через второй внешний переток 7 поступает в холодильник 8, работающий также по принципу кипящего слоя. Охлажденный до 100 °С песок по течке 9 поступает на конвейер 10. Зона подогрева оборудована подовыми керамическими решетками 11, причем вторая зона от зоны обжига отделена глухой перегородкой 12. В подовую решетку зоны обжига вмонтированы газовые горелки. Воздух турбовоздуходувной машиной нагнетается под решетку холодильника и нагретым за счет теплоты охлажденного песка по воздухосборникам 13 поступает в зону обжига к трубам 14 горелок, обеспечивая горение газа.

Перемешивание слоя в радиальном направлении в печах кипящего слоя выражено слабо. Поэтому равномерный ввод топлива через горелки имеет решающее значение для нормальной работы печи. Продукты горения из зоны обжига поступают в горячий футерованный циклон 15, где они очищаются от уносов и, огибая глухую перегородку, поступают с температурой 950 °С через решетку во вторую зону подогрева. Охладившись до 750° С через трубопровод 16 отходящих газов направляются в циклон 4, обеспыленные газы вентилятором 18 выбрасываются в атмосферу. Пылевидная фракция осажденного пес из циклона по винтовому конвейеру 17 поступает на ленточный конвейер.

**4. Расчетная часть**

Для расчета принята схеме установки, изображенная на рис. 2, которая состоит из двухзонной печи кипящего слоя, футерованного циклона й холодильника кипящего слоя. В холодильнике происходит частичное охлаждение материала, окончательное охлаждение производится при пневмотранспортировании. Холодильник выполняет также роль гидрозатвора, позволяющего с верхнего уровня слоя, свободно выгружать материал. Отходящие газы из зоны обжига печи после осаждения из них пылевидных фракций готового продукта подаются в зону термоподготовки. Перед поступлением в футерованный циклон отходящие газы из зоны обжига смешиваются с холодным воздухом. Это позволяет снизить температуру газов, подаваемых в зону термоподготовки, до технологически требуемой величины, а также облегчить работу футерованного циклона в тепловом отношении. Осажденная пыль из отходящих газов после зоны термоподготовки возвращается в зону обжига печи.

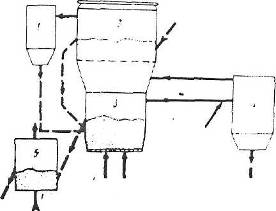


Рис. 3. Аппаратуная схема установки кипящего слоя для обжига глинистого сырья

1 – циклон зоны термоподготовки; 2 – зона термоподготовки; 3 – зона обжига; 4 – футерованный циклон; 5 – холодильник гидрозатвор.

**Исходные данные**

Объем производства 50 тыс. м3/год. Насыпная плотность песка – 538 кг/м; коэффициент использования оборудования – 0,91. Температура в зоне термоподготовки 346 °С; температура в зоне обжига – 1105 °С; температура в холодильнике – 534 °С; температура воздуха‑16 °С; влажность сырца‑10%; потери при прокаливании -12%; в том числе:

СО2 от диссоциации СаСО3 – 1,66%; СО2 от диссоциации MgCO3 -3,45%; дегидратации – 2,88%.

Зерновой состав%

Сырца:

более 5 мм 4

2,5–5 мм 16

1,2–2,5 мм… 20

0,6–1.2 мм… 26

0,3–0,6 мм… 22

0,15–0, Змм…7

менее 0,15 мм 5

Песка: более 5 мм 2

2,5–5 мм 18

1,2–2,5 мм…24 0,6–1.2 мм… 28 0,3–0,6 мм… 23 0,15–0, Змм…2 менее 0,15 мм 3

Материальный баланс

При составлении материального баланса необходимо учитывать следующие условия:

* удаление остаточной влаги происходит в зоне термоподготовки;
* унос пыли из зоны термоподготовки составляет 7…8%

Унос мелких фракций керамзитового песка из зоны обжига составляет 18–20%

– коэффициент осаждения пыли из отходящих газов в циклонах  
термоподготовки и обжига равен 0,8.

**Расчет горения природного газа**

Определить количество воздуха, необходимого для горения 1 м природного газа следующего состава, %: СН4–72,4; С2Н6-4,7; С3Н8-7,3; C4HI0-6,7; С5Н]2-0,6; СО2-2; N2-6; H2S – 0,3. Расчет горения газа производим в табличной форме с учетом различных значений коэффициента избытка воздуха а. Коэффициент избытка воздуха а = 1 используется для теоретического расчета расхода воздуха, необходимого для горения 1 кг или 1 м топлива; сц-коэффициент избытка воздуха в корне факела (#1=1,26); а2 – коэффициент избытка воздуха на загрузочном конце печи (а2=1,*55).* Теплота сгорания топлива (теплотворность): Q=358,2\*72,4+637,5\*4,7+912,5\*7,3+l 186,5\*6,7+1460,8\*0,6=44417,21 кДж/нм3

Расчет горения природного газа представлен в таблице 1, расчет материального баланса в таблице 2.

Таблица 2. Расчет материального баланса

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Приход | кг | % | Расход | кг | % |
| СН4=72,4 | 51,910 | 2,582 | CO2 | 267,883 | 13,333 |
| С2Нб=4,7 | 6,373 | 0,317 | Н2О | 181,302 | 9,023 |
| С3Н8=7,3 | 14,746 | 0,733 | N2 | 146,673 | 73,050 |
| С4Н10=6,7 | 19,028 | 0,946 | О2 | 91,456 | 4,552 |
| С5Н12=0,6 | 1,930 | 0,096 | SО2 | 0,877 | 0,049 |
| СО2=2 | 3,954 | 0,196 |  |  |  |
| N2=6 | 7,506 | 0,373 |  |  |  |
| H2S=0,3 | 0,461 | 0,022 |  |  |  |
|  |  |  | Невязка: (100\*0,778):2009,909 = 0,038% |  |  |
| воздух |  |  |  |  |  |
| О2 | 443,653 | 22,073 |  | -0,778 | 0,038 |
| N2 | 1460,348 | 72,657 |  |  |  |
| итого | 2009,909 | 100 |  | 2009,131 | 100 |

**Зона термоподготовки**

Приход сырца G, кг/ ч.

Расход:

* удаление влаги 0,091G, кг/ ч;
* унос пыли (1–0,091G)\*0,08=0,072G, kг/ч.

Выход материала из зоны 1 – (0,091G+0,072G)=0,828G, кг/ч.

Зона обжига

Приход

* из зоны термоподготовки 0,828G, кг/ ч;
* из циклонов зоны термоподготовки 0,072G\*0,8=0,0576G, кг/ ч.

Всего 0,8856G, kг/ч;

Расход:

* Потери при прокаливании 0,8856G\*0,12=0,1063G, кг/ч;
* унос мелких фракций песка 0,8856G\*0,19=0,1683G, кг/ ч.

Всего 0,2746G кг/ч.

Итого выход материала:

* из слива печи 0,8856G‑0,2746G=0,611G, кг/ч;
* из футерованного циклона 0,1683G\*0,8=0,1346G кт/ч.

ВСЕГО 0,7456G кг/ч.

Производительность печи по сырцу

G = кг/ч,



где П – производительность печи по керамзитовому песку, м3/год;

ρн – насыпная плотность керамзитового гравия, кг/м3

Тф = 365\*24\*0,91 = 7971,6 ч,

где 0,91 – коэффициент использования оборудования.

Определение рабочей скорости псевдоожижения

**Зона термоподготовки**

1. Эквивалентный диаметр зерен сырца.



где gi – доля класса зерен по массе;

dmax – максимальный диаметр узкой фракции зерен сырца, определяемый по формуле:

= = 3,467 мм,



где d1 и d2 – условный диаметр зерна, определяемый по размеру отверстий сит, соответственно проходного и непроходного.

1. Критерий Архимеда

AR =



где ρТ – плотность твердых частиц, кг/м3;

ρГ – плотность газов при заданной температуре, кг/м3

υ – кинематическая вязкость газа при заданной температуре, V\*106 м2/с

1. Критерий Рейнольдса

Re =



1. Критическая скорость псевдоожижения при заданной температуре:

м/с



1. Критическая скорость, приведенная к условиям дутья:

м/с



где Т0 – температура воздуха, подаваемого в зону термоподготовки, 0 С;

Т – температура в зоне термоподготовки, 0 С.

6. Рабочая скорость газов в зоне термоподготовки:

м/с,



где m – число псевдоожижения; для зон термоподготовки и охлаждения 2…2,5;

для зоны обжига 2,5…3,5.

**Зона обжига**

1. Эквивалентный диаметр зерен песка.



1. Критерий Архимеда

AR =



1. Критерий Рейнольдса

Re =



1. Критическая скорость псевдоожижения при заданной температуре:

м/с



1. Критическая скорость, приведенная к условиям дутья:

м/с



6. Рабочая скорость газов в зоне обжига:

м/с,



**Холодильник**

1. Критерий Архимеда

AR =



1. Критерий Рейнольдса

Re =



1. Критическая скорость псевдоожижения при заданной температуре:

м/с



1. Критическая скорость, приведенная к условиям дутья:

м/с



5. Рабочая скорость газов в холодильнике:

м/с,



Тепловой баланс

**Зона обжига**

Приход тепла

1. С материалом из зоны термоподготовки:

Q1п = 0,828G \*Cc\*tM – 0.828G \* 0,924 \* 346= 264,715G кДж/ч,

где, tM – температура материала, поступающего на обжиг из зоны термоподготовки;

Сс – удельная теплоемкость материала, поступающего на обжиг, равная 0,924

2. С воздухом, подаваемым в зону обжига:

Q2п = В\*Vв0 \*а1\*Св\*tв = B \* ll, 743 \* 1,26 \* 1,344 \* 16 = 318,18 В кДж/ч,

где *Vв°* – теоретический объем воздуха, необходимый для горения 1 м3 газа. Принят из расчета горения топлива для *а=* 1;

*а1 –* коэффициент избытка воздуха, подаваемого на горение, равный 1,2… 1,3;

Св – удельная теплоемкость воздуха, подаваемого на горение, равная 1,344 кДж/м3\*К;

tв – температура воздуха, подаваемого на горение, ° С.

З.С теплом от горения топлива:

Q3п = Qнс\* *В* = 44417,21В кДж/ч.

4. С физическим теплом топлива:

Q4п = B\*Ct\*tT = l, 358\*16\*B = 21,73В кДж/ч,

где tT – температура топлива, подаваемого на горение, ° С;

Ст – удельная теплоемкость топлива при температуре 16 °С, определяемая по формуле:

СТ = 4,2 (0,323 + 0,00008\*tT) = 4,2 (0,323 + 0,000018\*16) = 1,358 кДж/м3\*К.

Расход тепла

1. На нагрев материала до температуры вспучивания;

Q1р = 0.8856 G \* *Сс\* tобж* = 0.8856 G \* 0,924 \* 1105 = 904,22G кДж/ч.

2. С отходящими дымовыми газами:

Q2р = В\*Vдг\*Сдг\* tдг=В\*16,002\*1,44\* 1105=25462,38В кДж/ч,

где Vдг – объем дымовых газов, определяемый из расчета горения топлива для *a1 =* 1,26 м3;

tдг – температура дымовых газов, *0 С;*

Сдг – удельная теплоемкость дымовых газов при температуре 1105 °С, определяемая по формуле:

Сдг=4,2 (0,323+0,000018\*tдг) = 4,2 (0,323\*0,000018\*1105)=1,44 кДж/м3\*К.

3. На диссоциацию СаСО3:

Q3р = , кДж/ч



где – потери СО2 при диссоциации СаСО3, %;



1587,6 – эндотермический эффект от декарбонизации СаСО3, кДж/кг

4. На диссоциацию MgC03:

Q4р = , кДж/кг



где - потери при диссоциации MgCO3, %;



1318,8 – эндотермический эффект от декарбонизации MgCO3, кДж/кг.

5. На дегидратацию глинистых минералов:

Q5р =, кДж/кг



где GH2O – потери гидратной воды, %*;*

6720 – эндотермический эффект дегидратации глинистых минералов, кДж/кг.

6. На плавление силикатной массы Q6p= 0,828G\* 315= 260,82G кДж/ч,

где 315 ‑ удельный расход тепла на образование стекловидной фазы, отнесенный к 1 кг обожженного песка, кДж / кг.

Уравнение теплового баланса

При составлении уравнения теплового баланса учитываем потери в окружающую среду, которые принимаем равными 100% от общего количества прихода тепла. Решая это уравнение, находим объем газа, подаваемого в зону обжига на горение.

0,9 (Q1п + … +Q4п) = Q1p+ … + Q6p;

0,9 (264,715G + 318,18В + 44417,21В + 21,73B)=904,22G + 25462,38В + 23,35G + 40,30G + 171,44G + 260,82G

где G – производительность печи по сырцу. равная 4297,06 кг/г;

откуда расход газа составит: В=336,9 мЗ/ч

Отходящие из зоны обжига дымовые газы имеют температуру 1100 С поэтому перед подачей в футерованный циклон их требуется разбавить холодным воздухом. Принимаем температуру смеси газов и воздуха tсм = 571 °С и определяем объем холодного воздуха, необходимого для разбавления.

7. Объем холодного воздуха для разбавления 1 м3 дымовых газов:

Сдг\* tдг+ Vхв\* Схв\* tхв = (1+Vхв)\* Ссм\* tсм, м3

где VXB - объем холодного воздуха, м;

t xв, – температура холодного воздуха, °С;

Схв – удельная теплоемкость холодного воздуха, равная 1,344 кДж/ м3\*К;

Tдг – температура отходящих дымовых газов, °С;

Ссм – удельная емкость смеси при температуре 600 °С, определяемая по формуле:

Ссм = 4,2 (0,323 + 0.000018\*571) – 1,4 кДж/м3\*К, тогда

1,44\* 1105 +Vхл,\* 1,344\*16 = (1+Vхв)\* 1,4\*571,

откуда Vхв= 1,018 м3

8. Часовой выход дымовых газов:

Vдгх = а1\* Vдгт \* В = 1,26\*12,949\*336,9=5496,77

где Vдгт – объем дымовых газовэопределяемый из расчета горения топлива для а=1;

а1 *–* коэффициент избытка воздуха, равный 1,26.

9. Объем воздуха, подаваемого в зону обжига:  
 Voбж = Vвт \* a1 \* B = 11,743\*1,26\*336,9=4984,8 м3/ч,

где Va – теоретический объем воздуха, необходимый для горения 1 м3 газа. Определяется из расчета горения топлива при а=1.

10. Часовой расход воздуха на разбавление дымовых газов:

Vхв\*=Vдгх \* Vхв = 5496,77\*1,018 = 5595,71 м3/ч.

11. Часовой выход дымовых газов после разбавления:

Vдгр = Vдгх \*(Vхв+1) = 5496,77\*(1,018+1) = 11092,48 м7 ч.

**Зона термоподготовки**

Приход тепла

1. С сырцом:

Q1п = G \* Сс \* tc =G \*5,132\*16 – 82,112 G кДж /ч,

где tc – температура сырца,

2. С дымовыми газами, разбавленными холодным воздухом:

Q2п = Vдгр \* Ссм \* tсм = 11092,48\*1,4\*571 *=* 8867328,5 кДж /ч.

3. С пылью из футерованного циклона:

Q3п = 0,072G \* Сп \* tп = 0,072G \* 1,027 \* 571 = 42,22 G кДж /ч,

где tп – температура пыли, °С;

Расход тепла

1. На испарение влаги и перегрев пара:

Q1р = 0,01G \* r + 0,01G \* C(tтп – 418) = 249,9G + 0,196Gtтп – 81,93G кДж/ч,

где С – теплоемкость водяного пара, при температуре термоподготовки 1,96 кДж / кг\*К;

r – скрытая теплота парообразования, равная 2499 кДж / кг;

t тп. – температура термоподготовки материала, °С.

2. С выходом материала из зоны термоподготовки:

Q2P = 0,828G \*Cс\* tтп = 0,8372G \* 0,924 \* tтп = 0,7650Gtтп кДж /ч.

3. На нагрев пыли, поступающей в циклоны зоны термоподготовки:

Q3P = 0,0576G \* Сп \* tтп = 0,0576G \* 0,924 \* tтп = 0,0532Gtтп кДж /ч.

1. С отходящими дымовыми газами из зоны термоподготовки

Q4P= Vрдг \* Ccv tтп=11092,48 \* 1,4 \* tтп = 15529,47 tтп кДж /ч.

Уравнение теплового баланса

Потери тепла в окружающую среду принимаем равными 10% от общего количества прихода тепла. Решая уравнение теплового баланса, определяем допустимую температуру термоподготовки tтп.

0,9 (Q1п+Q2п+Q3п) = Q1р+Q2p+Q3р+Q4р

0,9 (82,112G +8867328,5+42,22G)=249,9G+0,1960tтп – 81,93G+0,765Gtтп+0,0532Gtтп+15529,47tтп

Подставляя численное значение G, находим tтп =389,17 что является технологически допустимым.

1. Общий объем газов, подаваемых в зону термоподготовки:  
   Vгтп= Vдгр=11092,48
2. Удельный расход тепла на производство 1 кг керамзитового песка:

q= кДж/ч



Холодильник

Приход тепла

1. С материалом из зоны обжига:

Q1п=0,611G\*Cкп\*tобж = 0.611G\* 1,2\* 1105 = 810,19G кДж/ч, где tобж – температура обжига, С;

Скп – удельная теплоемкость керамзитового песка при температуре 1105 С:

Скп =0,84 (1+0,00039 \* 1105) = 1,2 кДж/кг\*К,

2. С воздухом, подаваемым на псевдоожижение:

Q2п=Vхол\* Св \* tв= Vхол \*1,344\*16=21,504 Vхол

Расход тепла

1. С песком, выходящим из холодильника:

Q1п=0,611G\* Скп\* tкп = 0,611G \*1,0149\*534=331,135 G кДж/ч

где tкп – температура керамзитового песка, выходящего из холодильника, °С;

Скп – удельная теплоемкость керамзитового песка при температуре 534 °С.

Скп = 0,84 (1+0,00039\*534)= 1.0149 кДж/кг\*К.

2. С уходящим воздухом:

Q2P – Vхол \* Св \* ty.в. = Vхол \* 1,344 \* 534 = 717,696 Vхол кДж /ч.

Уравнение теплового баланса

Потери тепла в окружающую среду принимаем равными 10% от общего количества прихода тепла. Решая уравнение теплового баланса, определяем объем холодного воздуха, подаваемого в холодильник:

0,9 (Q1п + Q2п) =Q1р+ Q2р

0,9 (810,19G + 21,504 Vхол)=331,135+717,696 Vхол;

подставляя численное значение G=4297,06 кг/г, находим: Vхол = 2456,77 м3/ч.

Определение размеров поперечного сечения зон печи

Площадь поперечного сечения и диаметр каждой зоны установки определяются исходя из рассчитанной ранее рабочей скорости псевдоожижения и объема воздуха или газов. Расчет поперечного сечения каждой зоны производится по формуле:

F=V/3600ωp

где V – объем воздуха или газов, подаваемых в зону, м3/ч

ωp – рабочая скорость газов в зоне, м/с

Зона термоподготовки

1. Поперечное сечение: F=м



1. Диаметр: dm.n.=м



Зона обжига

1. Поперечное сечение: F=м



1. Диаметр: dобж.=м



Холодильник

1. Поперечное сечение: F=м



Диаметр: dm.n.=м

