Введение

В различных отраслях народного хозяйства широко распространены процессы удаления жидкости (растворителей) с поверхности или из внутренних слоев различных материалов. В качестве удерживаемых материалами жидкостей могут быть вода, метанол, бензин, метаноло - ацетоновая смесь, бензино -изопропиловая смесь и т. п. Среди существующих способов обезвоживания материалов (сушка, отжатие, центрифугирование, фильтрование, отсасывание, поглощение химическими реагентами и т. д.) особое место занимает тепловая сушка, при которой удаление влаги из материала происходит в основном путем испарения.

Под сушкой понимают совокупность термических и массообменных процессов у поверхности (внешняя задача) и внутри (внутренняя задача) влажного материала, способствующих его обезвоживанию. Обезвоживание материалов, в том числе и сушка, предназначается для улучшения их качества и долговечности, например при сушке древесины, увеличения теплотворности при сушке топлива, возможности длительного хранения при сушке пищевых продуктов и т.д. Поэтому в ряде случаев сушка сопровождается структурно-механическими, химическими, биохимическими, реологическими изменениями высушиваемого материала.

Скорость протекания этих процессов, степень их завершенности зависит не только от способа подвода теплоты к материалу, но и от режима сушки.

Для оценки перспективности способа сушки влажные материалы делят на шесть основных групп: истинные и коллоидные растворы, эмульсии и суспензии; пастообразные материалы, не перекачиваемые насосом; пылевидные, зернистые и кусковые материалы, обладающие сыпучестью во влажном состоянии; тонкие гибкие материалы (ткани, пленка, бумага и т.п.); штучные массивные по объему материалы и изделия (керамика, штучные строительные материалы, изделия из древесины и т.п.); изделия, подвергающиеся сушке после грунтования, окраски, склеивания и других поверхностных работ.

барабанный сушилка вентиляционный привод

1. Литературный обзор по теории и технологии процесса сушки материалов

Сушка-это процесс удаления из материалов влаги, обеспечиваемый ее испарением и отводом образовавшихся паров. Сушка материалов и изделий производится в зависимости от их назначении или последующей обработки. Для ряда материалов в результате сушки увеличивается прочность, долговечность, облегчается обработка, улучшаются теплоизоляционные свойства и т.д.

Различают сушку естественную (на открытом воздухе) и искусственную (в сушилках). При естественной сушке материал можно высушить только до влажности, близкой к равновесной. Преимущество искусственной сушки состоит в ее малой продолжительности и возможности регулирования конечной влажности материала. Аппараты, в которых осуществляют сушку, называют сушилками. По способу сообщения тепла различают конвективные, контактные, терморадиационные, сублимационные и высокочастотные сушилки. Дисперсные материалы, к которым относятся зернистые, порошкообразные, гранулированные, дробленные твердые, а также диспергированные жидкие и пастообразные продукты, в химической технологии высушивают, главным образом, конвективным способом.

В конвективных сушилках тепло процесса несет газообразный сушильный агент (нагретый воздух, топочные газы или смесь их с воздухом), непосредственно соприкасающийся с поверхностью материала. Пары влаги уносятся тем же сушильным агентом. В сушилках многих типов со взвешенным слоем высушиваемого материала сушильный агент служит не только тепло- и влагоносителем, но и транспортирующей средой для дисперсного материала.

Если соприкосновение высушиваемого материала с кислородом воздуха недопустимо или если пары удаляемой влаги взрыво- или огнеопасны, сушильным агентом служат инертные к высушиваемому материалу газы: азот, диоксид углерода, гелий и другие инертные газы или перегретый водяной пар.

Скорость процесса сушки влажного материала нагретым воздухом зависит от интенсивности внешнего и внутреннего тепло- и массообмена, т.к. от этих процессов зависит количество влаги, подведенной к поверхности испарения.

В простейшем виде процесс сушки осуществляется таким образом, что сушильный агент, нагретый до предельно допустимой для высушиваемого материала температуры, используется в сушильном аппарате однократно. Этот процесс называется основным. Снижение температуры термолабильных материалов обеспечивается созданием дополнительной поверхности нагрева внутри сушильной камеры или нагреванием воздуха по ходу процесса за счет тепла, полностью вносимого в сушильную камеру. В процессе сушки во влажном материале происходит перенос влаги, как в виде жидкости, так и в виде пара.

Изучение закономерностей переноса влаги и теплоты может идти двумя путями:

-на основе молекулярно-кинетического метода, т.е. изучения микроскопической картины происходящих при этом процессов и осмысливания физической сущности отдельных составляющих сложного явления.

-на основе понятий термодинамики процесса. Изучает макроскопические свойства тел и системы тел и процессы их взаимодействия, не интересуясь поведением отдельных молекул.

Перенос газообразного вещества может происходить молекулярным путем за счет хаотического перемещения отдельных молекул (диффузия) или за счет направленного перемещения молекул, когда каждая из них движется независимо друг от друга (эффузия), и молярным путем, когда перемещаются группы, скопления молекул под действием разности давлений в различных точках тела.

Для сушки материалов, требующих повышенной влажности сушильного агента и невысоких температур, применяют устройства, обеспечивающие рециркуляцию (возврат) части отработанного воздуха в сушилку, а также сушилки с промежуточным подогревом воздуха между отдельными ступенями (или зонами) и одновременной рециркуляцией его. При сушке трудно сохнущего материала или для улучшения его сыпучести применяют рециркуляцию части высушенного продукта, т.е. возврат его на вход сушилки и смешение с исходным материалом.

Когда удаляемая из материала жидкость является ценным продуктом (спирты, эфиры, углеводороды и другие растворители), а также при сушке огне- и взрывоопасных материалов применяют схемы с полностью замкнутым циклом инертных газов, включающие дополнительно устройства для конденсации и удаления из системы испаряющейся влаги и одновременного осуществления циркулирующих в системе газов.

Перечисленные схемы являются вариантами основного процесса и находят широкое применение во многих производствах химической промышленности.

Механизм конвективной сушки можно представить следующим образом. При введении влажного тела в нагретый газ происходит перенос тепла к поверхности материала, обусловленный разностью температур между ними, нагрев его и испарение влаги. При этом повышается парциальное давление вблизи поверхности тела, что и приводит к переносу паров влаги в окружающую среду. В результате испарения влаги с поверхности и отвода образовавшихся паров возникает градиент концентрации влаги в материале, являющийся движущей силой внутреннего перемещения ее из глубинных слоев к поверхности испарения. При перемещении происходит нарушение связи влаги с веществом твердого тела, что требует дополнительных затрат энергии сверх той, которая необходима для парообразования. Поэтому скорость процесса зависит от характера или формы связи влаги с сухим веществом материала.

1.1 Классификация сушильных аппаратов

Промышленные сушильные установки классифицируют по следующим признакам:

1) по способу подвода теплоты к материалу:

а) конвективные,

б) кондуктивные,

в) радиационные,

г) электромагнитные,

д) комбинированные(конвективно-радиационные, конвективно -радиационно – высоко - частотные и т. п.);

2) по функционированию во времени:

а) непрерывного действия,

б) периодического действия,

в) полу непрерывного действия;

3) по конструкции:

а) камерные,

б) шахтные,

в) туннельные,

г) барабанные,

д) трубчатые,

е) ленточные,

ж) взвешенного слоя,

з) распылительные,

и) сублимационные и др.

Из приведенной классификации наибольшее распространение получили конвективные сушильные установки. Эти установки разделяют на несколько групп:

1)по применяемому сушильному агенту на:

а) воздушные,

б) на дымовых (топочных) газах,

в) на неконденсирующихся в процессе сушки газах (азоте, гелии, перегретом водяном паре и т.д.);

2)по схеме движения сушильного агента на:

а) однозонные (с однократным использованием сушильного агента, рециркуляцией),

б) многозонные (с промежуточным подогревом сушильного агента, рециркуляцией его в зонах, рециркуляцией между зонами и т.п.);

3)по давлению в сушильной камере на:

а) атмосферные,

б) вакуумные;

4)по направлению движения сушильного агента относительно материала на:

а) прямоточные,

б) противоточные,

в) перекрестно-точные,

г) реверсивные.

1.2 Конструкция и принцип действия барабанной сушилки

В сушильной технике барабанные сушилки являются наиболее распространенным типом. Первоначально такие сушилки представляли собой открытую вращающуюся трубку, через которую пропускались горячие дымовые газы, вступавшие в тепло - и массообмен с движущимся по трубе материалом. Барабанные сушилки применяются для сушки сыпучих и малосыпучих материалов (колчедан, уголь, фосфориты, минеральные соли, руда, удобрения, песок, различные химические продукты и т.д.). Высокая приспособляемость позволила им найти им найти применение во многих отраслях промышленности и в с/х при индустриальном производстве кормов.

По конструктивному использованию барабанные сушилки очень разнообразны. Сушилка может быть выполнена в виде единственной трубы, может также представлять собой систему, состоящую из большого числа труб разных диаметров, вставленных одна в другую.

Наиболее распространенная барабанная сушилка представляет собой цилиндрический наклонный барабан с двумя бандажами, которые при вращении барабана катятся по опорным роликам. Материала поступает с приподнятого конца барабана через питатель, захватывается винтовыми лопастями, на которых он подсушивается, после чего перемещается вдоль барабана, имеющего угол наклона к горизонтали до 6°. Осевое смещение барабана предотвращается упорными роликами.

Материал перемещается в сушилке при помощи внутренней насадки, равномерно распределяющей его по сечению барабана. Конструкция насадки зависит от размера кусков и свойств высушиваемого материала. Насадка осуществляет механическую перевалку материала, сбрасывая его в поток сушильного агента. Ее назначение заключается в том, чтобы процесс теплообмена влажного материала с сушильным агентом осуществлялся по возможно большему поперечному сечению барабана.

Наиболее целесообразна такая насадка, которая наименьшим образом распределяет, пересыпает, перемешивает материал и осуществляет его контакт с потоком сушильного агента, не забиваясь при этом и не нарушая транспортирования материала.

Насадка с точки зрения тепломассопереноса должна быть компактной, однако для надежности транспортирования интервал между элементами насадки должен быть как можно больше.

Обычно в барабанных сушилках материал и сушильный агент движутся прямотоком, благодаря этому предотвращается пересушивание и унос материала топочными газами в сторону, противоположную его движению. Для уменьшения уноса при прямотоке скорость газов в барабане поддерживается не более 2-3 м/сек. Газы поступают из топки, примыкающей к барабану со стороны входа материала и снабженной смесительной камерой для охлаждения газов до нужной температуры наружным воздухом.

Высушиваемый материал проходит через подпорное устройство в виде сменного кольца или поворотных лопаток, посредством которых регулируется степень заполнения барабана, обычно не превышающая 20-25% его объема. Готовый продукт проходит через шлюзовой затвор, препятствующий подсосу наружного воздуха в барабан, и удаляется транспортером. Газы просасываются через барабан при помощи дымососа, установленного за сушилкой. Для улавливания из газов пыли между барабаном и дымососом включен циклон.

Барабан приводится во вращение посредством зубчатого венца, который находится в зацеплении с ведущей шестерней, соединенной через редуктор с электродвигателем. Скорость вращения барабана зависит от угла его наклона и продолжительности сушки; обычно барабан делает 1-8об/мин.

Преимуществами этих сушилок являются:

- интенсивность и равномерность сушки вследствие тесного контакта материала и сушильного агента;

- относительная простота и компактность устройства;

- большая производительность;

- большое напряжение барабана по влаге, достигает 100 кг/м3 и более;

- Большая экономичность, по сравнению с шахтными.

К недостаткам относятся:

- громоздкость при значительных затратах металла и необходимость сооружения специального помещения.

Большое распространение получили сушилки, в которых сырой материал поступает в барабан вместе с горячим сушильным агентом. При одинаковой крупности материала возможна и противоточная сушка. В этом случае транспортирование материала можно осуществлять только механическим путем навстречу потоку воздуха с помощью винтовых лопастей или наклона барабана. Перекрестное движение потоков осуществимо только в барабанах с перфорированными стенками.

Принцип действия.

Влажный материал (-31-31-) поступает в бункер влажного материала Б1, откуда он через дозатор Д поступает в сушильный барабан. Топливо и воздух (3-3-) поступает в топку Т, где сжигается и после смесительной камеры топочные газы (-33-33-) поступают в сушильный барабан. Высушенный материал поступает в бункер высушенного материала Б2, из которого попадает на ленточный конвейер. Дымовые газы после барабана попадают в циклон Ц. Из циклона частицы материала, уносимые с дымовыми газами, также попадают на ленточный транспортер ТЛ транспортер. Топочные газы после циклона идут в мокрый пылеуловитель ПМ. Из него топочные газы уходят в атмосферу, а влажный материал направляется в Б1.

2. Выбор типа барабанной сушилки и сушильного агента

Выбор типа сушильного агента проводится на основе комплексного исследования технико-экономических показателей сушильной установки, технологической схемы и связи ее с тепловой схемой предприятия.

Т.к. сушильный материал не боится загрязнений, то принимаем в качестве сушильного агента смесь дымовых газов и атмосферного воздуха с начальной температурой t,г=600°С. Дымовые газы рационально использовать и потому, что суперфосфат гранулированный сушится при температурах выше 80°С. При этом выявляется большая потребность в топливе , снижается металлоемкость, ниже сибистоимость сушки. Сушилки, работающие на дымовых газах, более производительны и экономичны. Барабанные сушилки для сушки глины являются наиболее надежными и широко распространенными установками. Они просты по конструкции, удобны в обслуживании, работу их можно автоматизировать. Все сорта суперфосфат гранулированных при перегреве выше 600°С теряют полностью свою пластичность и способность при соединении с отощающими материалами, превращаться в массу, хорошо поддающуюся формовке. При сушке в барабанной сушилке мы не получим t° материала выше предела (начинается при 150°С) даже при t° газа на входе в барабан 900°С.

С целью недопущения снижения пластичности глины при сушке вследствие перегрева, а также уменьшения пылеуноса принимаем для барабана прямоточную схему движения топочных газов. Прямоток также дает возможность быстрее придать материалу подвижность. Сушилки, работающие на дымовых газах более производительны и экономичны, просты по конструкции и удобны в эксплуатации. Работу их можно автоматизировать Барабанные сушилки для сушки глины являются наиболее надежными и широко распространенными установками.

2.1 Описание технологической схемы сушильной установки

Влажный материал (-31-31-) поступает в бункер влажного материала Б1, откуда он через дозатор Д поступает в сушильный барабан. Топливо и воздух (3-3-) поступает в топку Т, где сжигается и после смесительной камеры дымовые газы (-33-33-) поступают в сушильный барабан. Высушенный материал поступает в бункер высушенного материала Б2, из которого попадает на ленточный конвейер. Дымовые газы после барабана попадают в циклон Ц. Из циклона частицы материала, уносимые с дымовыми газами, также попадают на ленточный конвейер ЛК транспортер. Дымовые газы после циклона идут в мокрый пылеуловитель МП. Из него дымовые газы уходят в атмосферу, а влажный материал направляется в Б1.

2.2 Описание сушимого материала

Порошковый суперфосфат имеет свойство видоизменяться и переходить в неусваиваемое для растений состояние, попадая в почву, особенно это свойство ярко выражено, если грунт хорошо замешан с препаратом и если почва кислая. Для решения этой проблемы химическая промышленность начала производить его в гранулах размером от 1 до 4 мм. Таким образом, увеличивается продолжительность действия препарата.

Применяя гранулированный вариант, вы можете быть уверены, что в этом случае с почвой контактирует меньший процент удобрения и необходимое количество фосфора будет усвоено растительной культурой. В ходе гранулирования он подсушивается, и фосфорная кислота частично нейтрализуется, таким образом, количество свободной фосфорной кислоты уменьшается до 1-2%, а содержание воды – до 1-4%. Но этот факт компенсируется увеличением продолжительности сохранения фосфора в почве в усваиваемой для растений форме.

Гранулированный суперфосфат также содержит серу – до 10%, кальций – 12-17%, 0,5% магния. В отличие от порошкового, не слеживается и не склеивается. Гранулированный вариант можно вносить в грунты зерновыми сеялками. Если удобрение вносится в качестве основного внесения, до засева выращиваемой культуры, то препарат следует заделывать под плуг, выдерживая глубину засева семян, так как гранулированный не смывается осадками, не опускается глубже отметки своего первоначального задела. Таким образом, помещение гранул на поверхности почвы и оставление грунта не перемешанными не даст необходимых результатов – он должен контактировать с корневой системой возделываемой культуры в непосредственной близости с ней.

Гранулы используются для основного внесения – до проведения посевных работ, одновременно с посевом и в качестве подкормки под все растительные культуры на любых видах почв. Самый рациональный способ внесения удобрения – рядковое совместно с посевом зерен, высадкой корнеплодов. В этом случае количество затрачиваемого удобрения снижается втрое при неизменном результате. Прибавка урожая при таком методе внесения удобрения составит, например, для озимой пшеницы – от 5 до 15 центнеров на гектар.

1. Материальный баланс процесса сушки

3.1 Определяем количество влаги W, кг/ч, испарившееся из материала по уравнению материального баланса продукта, подвергающегося сушке

где: G1- производительность сушилки по сырому материалу, 15 т/ч = 15000 кг/ч;

w1- начальная влажность материала на общую массу, 12%;

w2- Конечная влажность материала на общую массу, 2%.

3.2 Определяем количество сухого материала G2, кг/ч

G2=G1-W W (2)

G2=15000-1704,55 =13295,45

3.3 Определяем количество влаги W вл.н., кг/ч, содержащееся во влажном материале до сушки

3.4 Определяем количество влаги Wвл.к., кг/ч, содержащееся в высушенном материале

3.5 Определяем содержание остаточной влаги W, кг/ч

W=Wвл.н-Wвл.к к (5)

W=1800 – 34,09 = 1834,09

3.6 Составляем материальный баланс по абсолютно сухому материалу, расход по массе которого не изменяется в процессе сушки

Gc=G1(1-w1)=G2(1-w2) ) (6)

Gc=15000(1-0,12)= 13295,45 (1-0,02)

Gc=13200=13029,54

Из справочной литературы, согласно вида высушенного материала, для сушки в барабанных сушилках выбираем тип насадки и напряжение барабана по влаге, т.е. количество влаги (кг), которое испаряется с 1м3объема барабана за 1 час.

Для суперфосфата гранулированного принимаем тип насадки подъемно лопастная секторная.

3.7 Определяем объем барабана Vбар , м3

m0 - напряжение барабана по влаге, 60 м3/час

3.8 Принимаем отношение длины барабана к его диаметру

3.9 Определяем диаметр барабана D, м

Принимаем Dбар=1,77

Уточняем Vбар

3.10 Определяем площадь сечения S, м2

3.11 Определяем длину барабана Lбар, м

Принимаем длину корпуса Lбар= 11,46 м.

Тогда отношение вполне допустимо.

* 1. Объемное напряжение барабана по влаге составит

4.Расчет времени сушки

Время нахождения материала в барабане определяем по формуле, с:

Где: β-коэффициент заполнения барабана (принимаем согласно вида высушиваемого материала и типа насадки барабана) = 0,15%;

 ρ-плотность суперфосфата гранулированного (кг/м3) при средней ее влажности ωСР = 3,1 ρс = 2600 кг/м3:

5.Расчет горения топлива

В качестве сушильного агента в конвективных сушилках применяют смесь топочных газов. При расчете сушильных установок необходимо знать основные физические параметры сушильного агента.

Топочные газы образуются при сжигании различных топлив и их использование в качестве сушильного агента имеет свои преимущества по сравнению с сушилками с паровыми или водяными калориферами - большая экономичность по расходу топлива;

- меньшие габаритно-весовые показатели;

- меньшая инерционность по температуре сушильного агента.

К недостаткам сушилок с топочными газами следует отнести возможность засорения сушимого продукта сажей.

Состав топлива (мазут малосернистый) по массе (%):

Wp – 3,0%

Ap – 0,05%

Sp– 0,3%

Cp – 84,65%

Hp – 11,7%

Np– 0.3%

Op – 0.3%

5.1 Теоретическое количество воздуха по объему, необходимое для полного сгорания 1кг топлива, м3 воздуха/ кг топлива

Qнр=339CР+1030S Hp - 108,5(Op - Sp)-25 Wp; м3/кг (18)

Qнр=339\*84,65+1030\*11,7- 108,5(0,3 – 0,3)-25\*3=40672

L0=0,0889\*CР+0,265\*HР-0,0333(OР - SР); кг/кг (19)

L0=0,0889\*84,65+0,265\*11,7-0,0333(0,3 – 0,3)=10,6

5.2 Находим количество атмосферного воздуха при его влагосодержании

L0’=(1+0,0016\*d0) L0 (20)

d0- влагосодержании, 10,8 г на 1 кг сухого воздуха

L0’=(1+0,0016\*10,8)10,6=10,78

5.3 Действительное количество воздуха при коэффициенте избытка

Принимаем α – коэффициент избытка воздуха 1,2.

Для сухого воздуха

Lα=α\* L0

Lα=1,2\*10,6=12,72

Для атмосферного воздуха

Lα’=α\* L0’ (21)

Lα’=1,2\*10,78=12,9

5.4 Количество и полный состав продуктов полного горения при α=1,2:

0,01855\*84,65=1,57

 (25)

(26)

(27)

(28)

5.5 Общее объемное количество продуктов горения

(29)

5.6 Рассчитать состав продуктов горения

5.7 Определяем влагосодержание продуктов горения кг/кг:

5.8 Определяем энтальпию дымовых газов на 1 кг. сухих газов, кДж/кг:

Где: η – к.п.д. топки, принимаем 0,9;

Ст tт – количество теплоты, Ст = 2,30 кДж/(кг\* °С), tт =120 °С;

Н0 – энтальпия атмосферного воздуха, равна 40 кДж на 1 кг. сухого воздуха;

Vуд – удельный объем влажного воздуха при В = 99,4 кПа Vуд = 0,843 м3 на 1 кг. сухого воздуха.

По H-t диаграмме находим действительную температуру приложение 13, источник 1, при α = 1,2, tг=1420

6.Графические расчеты процессов сушки в H,d-диаграмме

Графический расчет процессов сушки в Н-d диаграмме.

6.1 Рассчитываем начальные параметры теплоносителя

Температура газов при входе в барабан tнгаз =600°С. Для получения такой температуры топочные дымовые газы разбавляем атмосферным воздухом. Приняв к.п.д. топки η=0.9, определяем количество воздуха, необходимого для смешивания с дымовыми газами. Для этого составляем уравнение теплового баланса топки и камеры смешивания на 1 кг сжигаемого топлива.

где: Нвоз – энтальпия поступающего для смешивания воздуха при температуре, кДж/кг

Ндым - энтальпия дымовых газов при tгазн 600°С, Ндым =1050кДж/кг

Нв, - энтальпия воздуха при температуре 120 °С (таблица Vll.33),

Нв, =815 кДж/кг

Тогда:

6.2 Общее количество воздуха. Необходимое для горения 1 кг топлива и разбавления дымовых газов до заданной температуры составляем кг/с:

6.3 Общий коэффициент избытка воздуха

6,4 Определяем влагосодержание разбавленных дымовых газов

Где: - объемы отдельных составляющих продуктов горения при αобщ = 2,7

Рассчитываем объем составляющих продуктов горения:

Таким образом:

6.5 Производим построение теоретического процесса сушки

Точка К характеризуется параметрами Нгаз = 2213 кДж на 1 кг сухих газов и dгаз = 75,08 г на 1 кг сухих газов, а также А параметрами окружающего воздуха t0 = 15°C b φ0 = 75% (d0 = 10,6 г).

По известным начальным параметрам сушильного агента (tнгаз = 600°C и dн =26,4)

Находим точку В – начало теоретического процесса сушки. Эта точка характеризует параметры сушильного агента ( смесь продуктов сгорания топлива с воздухом), поступающего в сушильный барабан. Соотношение между топочными газами (точки К) и воздухом (точка А) при смешивании их до заданных параметров (точка В) определяется зависимостью.

где: - количество сухого воздуха. Необходимого для получения смеси с температурой tнгаз =600°С

От точки В проводим линию Ннгаз = const до пересечения с изотермой tкгаз =120°С и определяем положение конечной точки процесса L0. Теоретический процесс сушки на Н-d диаграмме изобразится линией ВС0. Параметрами точки С0 на 1 кг сухих газов являются постоянная энтальпия Ннгаз =1100 кДж и влагосодержание d2 = 300 г.

6.6 Расход сухих газов по массе при теоретическом процессе сушки

6.7 Построение действительного процесса в реальной сушилке сводится к определению направления линии сушки для чего находим удельное количество теплоты, отданное в окружающую среду поверхностью сушильного барабана и на нагрев материала.

где: - количество теплоты, расходуемой на нагрев сушимого материала, кДж/кг.

где: см – удельная теплоемкость высушенного материала при конечной влажности .

где: – теплоемкость,

 - количество теплоты, потерянной сушилкой в окружающую среду.

где: α1 – коэффициент теплоотдачи от газов к внутренней поверхности сушильного барабана равной 150 Вт/(м2\*°С);

s1 – толщина стенки барабана = 14 мм;

s2 – толщина теплоизоляции барабана равна 40 мм;

 и - теплопроводность соответственно стальной стенки

 = 58,2 Вт/°С;

 = 0,2 Вт/°С;

 - коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности теплоизоляции в окружающую среду обычно принимаемый 12-15 Вт/(м2\*°С), ;

 – площадь боковой поверхности сушильного барабана

 - разность температур газов рабочего пространства барабана и окружающего воздуха, °С

 - средняя температура материала в барабане

где: средняя температура материала в барабане.

Следовательно:

Подставляем числовые значения в формулу :

Подставляем числовые значения в формулу :

6.8 Так как часть теплоты теряется, то энтальпия в конце процесса будет меньше энтальпии газов в начале процесса сушки, т.е

Находим величину уменьшения энтальпии дымовых газов.

Откладываем на Н-d диаграмме значение = кДж на 1 кг сухих газов от точки С0 вертикально вниз и получаем точку D, которую соединяем с точкой В. Линия BD показывает направление линии действительного процесса сушки с учетом тепловых потерь. Линия пересечения пучка действительного процесса сушки с линией = 600°С дает точку С – конца процесса сушки. При заданной конечной температуре процесса =65°С весь процесс в действительной сушилке выразился линией ВС. Следовательно, процесс пойдет по более крутой линии и конечная точка переместится по вертикали вниз от С до точки D на величину, равную потере теплоты, отнесенной к 1 кг сухого газа, проходящего через сушилку. Притом энтальпия уменьшается при постоянном влагосодержании, поскольку потери теплоты снижают температуру газов. Определяем на Н-d диаграмме конечное влагосодержание газов для точки С, dк = 270г на 1 кг сухих газов.

6.9 Действительный расход газов по массе на сушку составит

6.10 Определяем количество теплоты на сушку

6.11 Приняв к.п.д. топки η=0,9 определим количество подводимой теплоты в топку

6.12 Определим тепловую мощность топки

6.13 Расход топлива по массе составляет

7.Материальный и тепловой баланс сушильного барабана

При установившемся процессе сушки количество влаги, поступающей в сушильный барабан с материалом и дымовыми топочными газами, должно быть равно количеству влаги, остающейся в материале, и влаги, ушедшей с дымовыми газами (баланс влаги) на 1 ч работы сушилки. Малая величина потерянной теплоты в окружающую среду объясняется применением тепловой изоляции. Проверим конструктивные размеры сушильного барабана.

7.1 Определяем объем сушильного барабана Vбар,м3

где: Кб—коэффициент, учитывающий долю объема барабана, занятого насадками и винтовыми направляющими (Кб=1,1 ...1,2) Кб=1,2;

Ф — тепловой поток, передаваемый от газов к материалу и расходуемый на испарение влаги и нагрев материала:

Ф=( 2493+1,97\*tкгаз-4,2\*tнм)\*0,278\*W+0,278\*Qм (61)

где: Qм- количество теплоты, расходуемой на нагрев сушимого материала:

 кДж/ч

Ф=(2493+1,97\*120-4,2\*15)\*0,278\*1704,55+0,278\*505227,1=1403967,86 кВт

7.2 Определяем среднюю логарифмическую разность температур между газами и материалом в барабане для случая прямотока по формуле

∆tср=∆tмакс-∆tмин/﴾2,3\*lg\*(∆tмакс/∆tмин)﴿ (62)

∆tмакс= tнгаз - tнм (63)

∆tмакс=600-15=585°С

∆tмин= tкгаз – tкм (64)

∆tмин =120-65=55°С

∆tср=585-55/(2,3\*lg\*(585/55)=224,58°С

Принимаем объемный коэффициент теплоотдачи, отнесенный к единице свободного объема барабана, не занятого перегородками и лопастями Вт/(м3\*°С)

Таблица 1. Материальный баланс

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Приходные статьи | Количество | Расходные статьи | Количество |
| кг/ч | % | кг/ч | % |
| Влажного материала по массе, G1 | 15000 | 67,61 | Высушенного материала по массе, G2 | 13295,45 | 59,93 |
| Сухих дымовых газов, Gгаз | 6997,3 | 31,54 | Отходящих газов с водяными парамиGгаз+W | 8701,85 | 39,22 |
| Водяных паров в газах:Gв.п. | 187,47 | 0,85 | Невязка баланса | +187,47 | 0,85 |
| Итого: | 22184,77 | 100 |  | 22184,77 | 100 |

7.3 Определим количество водяных паров в газах

8.Расчет удельного количества теплоты, топлива и к.п.д. сушилки

Таблица 2. Тепловой баланс сушильного барабана.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Приходные статьи | Количество теплоты | Расходные статьи | Количество теплоты |
| Общее, кДж/ч | на 1 кг испаренной влаги, кДж | % | Общее, кДж/ч | на 1 кг испаренной влаги, кДж/кг | % |
| От сгорания топлива:Qгор=mт\*Qpн | 5789659,2 | 339,66 | 98,64 | На нагрев глины Qм | 505227,1 | 29,23 | 8,49 |
| В окружающую среду Qп | 28620,42 | 1,65 | 0,48 |
| На испарение и на нагрев влаги минерала:Qисп=(2493+1,97tгазк-4,2tмн)W | 356932,77 | 20,65 | 5,99 |
| С отходящими газами, за исключением теплоты, уносимой испарившейся влагойQух=(αобщL′0+ΔV)mт \*Нух  | 3778267,9 | 218,61 | 63,5 |
| С атмосферным воздухом:Qв=αобщ\*\*L′ 0Нвmт | 80793,16 | 4,67 | 1,36 | Потерянной в топке Qтоп=mтQрн(1-ηтоп) | 578965,92 | 33,499 | 9,73 |
| Невязка баланса | 622438,25 | 36 | 10,7 |
| Итого: | 5870452,36 | 344,33 | 100 | Итого: | 5870452,36 | 344,33 | 100 |

9. Расчет частоты вращения и мощности привода сушильного барабана

9.1 Определяем удельный расход сухих газов на 1 кг испаренной влаги

lсм=1000/ (d2-dн) (66)

lсм=1000/(300-26,4)=3,65 кг

9.2 Удельное количество теплоты на 1 кг испаренной влаги составит

q= Qтоп/W (67)

Определим количество теплоты потерянные в топке, кДж/ч:

q=578965,92/1704,55=339,66 кДж

9.3 Удельный расход топлива на 1 кг испаренной влаги составит

b= mт/W (69)

b=142,35/1704,55=0,084

9.4 Тепловой к.п.д. барабанной сушилки равен

η= Qисп/q q (70)

Определим количество теплоты на испарение и нагрев влаги материала, кДж/ч;

η=20,65/339,66 =0,06

10. Расчет частоты вращения и мощности привода сушильного барабана

10.1 Частоту вращения барабана определяем по формуле

n= LБАР/(a\* t \*D\* tg α) (71)

где: a- коэффициент, зависящий от типа насадки и диаметра барабана.

Для подъемно лопастной насадки принимаем угол наклона барабана: α=30 (tg =0,052)

n=11,46/(1.2\*2649\*1,77\*0.052) =0,039 об/с = 2,35 об/м

10.2 Мощность, необходимую на вращение барабана, определяем по формуле А.П.Ворошилова

N=0,0013\* D3БАР\* LБАР\*n\* η\*ρн (72)

где: η- коэффициент мощности для барабана

ρн- объемная насыпная масса суперфосфата гранулированного в барабане при средней влажности , кг/м3

Следовательно:

N=0,0013\*1,773\*11,46\*2,35\*0.038\*2600=19,18 кВт

11 Аэродинамический расчет, подбор приборов для сжигания топлива и вентиляционных устройств

Расчет топочного устройства и подбор горелочного устройства

11.1 Объем топки Vт,м3:

Vт=Qт/qv (73)

qv =(100000)кВт/м3

Vт=(40762\*142,35)/100000=5,8 м3

11.2 Диаметр топки Dт, м:

Dт= (75)

Dт==1,55

11.3 Длина топки Lт, :

Lт=2\* Dт (76)

Lт=2\*1,55=3,1

Рассчитаем мощность горелки, мВт:

Qг=(mт \*Q)/106 (77)

Qг=(142,35\*)/106=50,8

По рассчитанной мощности принимаем к установке газомазутную горелку с форсунками воздушного распыливания Оргмонтажэнергогаз ОЭН-75-ГМВ-6, номинальной производительностью-86 м3/ч, с давлением газа перед горелкой 1-1.5 кПа.

11.4 Определяем объемный расход воздуха V'ВОЗ,м3/ч, необходимого для горения газа :

(78)

11.5 Определяем подачу воздуха вентилятором Vt, м3/ч, при температуре воздуха t0 = 15°C (летние условия работы):

Вентилятор подбирают в зависимости от требуемых подачи и создаваемого давления, необходимого для преодоления сопротивлений воздушного тракта с целью нормальной работы горелки.

11.6 Принимаем полное давление, развиваемое вентилятором при плотности воздуха ρв=1,2 кг/м3: Pt = 1500 Па

По таблицам выбираем центробежный вентилятор ВЦ-14-46, имеющего следующие характеристики:

к. п. д. в — 0,6 .

11.7 Определяем мощность на валу электродвигателя NДВ, кВт, приняв к.п.д. привода для вентилятора, соединенного с двигателем при помощи эластичной муфты ηп=0,98

11.8 Определяем установочную мощность электродвигателя Nуст, кВт, с учетом запаса

где: К — коэффициент запаса мощности электродвигателя на пусковой момент, который принимают в зависимости от мощности на валу NДВ, кВт. К=1.1-1.2, К=1.2

Принимаем к установке электродвигатель типа АИР 56 А4, мощностью 0.12 кВт.

С целью понижения температуры дымовых газов, а также интенсивного перемешивания их с воздухом и предохранения загрузочной течки от быстрого перегорания воздух подают специальным вентилятором в подсводовое пространство смесительной камеры.

11.9 Определяем объемный расход холодного воздуха V''в, м3/ч, необходимого для разбавления дымовых газов в камере смешивания

(82)

С учетом температурной поправки подача воздуха вентилятором Vt, м3/ч

По таблице выбираем вентилятор ВЦ-14-46-2.5 с КПД равным 0.6.

Вентилятор соединяют с электродвигателем с помощью муфты, что требует соответствия частоты вращения его и двигателя. К. п. д. привода =0,98.

11.10 Определяем мощность NДВ, кВт, на валу электродвигателя

11.11 Определяем установочную мощность Nуст, кВт, двигателя

Nуст=K\*Nдв (85)

Nуст=1,2\*1,7=2,06

где К — коэффициент запаса мощности на пусковой момент, равный 1,1 .

Принимаем к установке электродвигатель типа АИР100L6, мощностью 2,2 кВт, 1000 об/мин.

11.12 Определяем действительный объемный расход влажных отходящих газов Vсм,м3/с, при выходе из сушильного барабана:

где gcm — расход газов по массе, выходящих из сушильного барабана, кг/ч

11.13 Определяем плотность уходящих дымовых газов ρ см, кг/м3, при tГАЗК =120° С

По H,d-диаграмме при tГАЗК =120° С и dK=270г на 1 кг сухих газов парциальное давление водяного пара в отходящих газах составит

Рп = 26664.5 Па

Тогда

Следовательно,

11.14 Сопротивление барабанной сушилки  принимают 100—200 Па при скорости газа =1,7...2 м/с и коэффициенте заполнения = 20,6 %

Наибольшее сопротивление движению газового потока оказывает батарейный циклон для очистки от пыли отходящих газов. Подбираем батарейный циклон с элементами диаметром D=150 мм, коэффициент гидравлического сопротивления элемент=90. Исходя из технико-экономических соображений, а также из требований надежности работы батарейных циклонов принимаем гидравлическое сопротивление батарейного циклона из соотношения (отношение перепада давления в циклоне к плотности газа): Принимаем

11.15 Определяем пропускную способность Vэл, м/с, через один элемент циклона по запыленному газу

11.16 Определяем требуемое количество элементов циклона n:

11.17 Принимаем тип секции ПС-5-5, количество элементов в секции n=50. Располагаем их в 5 рядов по ходу газа ( 10 элементов в каждом ряду)

Определяем гидравлическое сопротивление циклона ,Па

ΔР=550\*ρсм (91)

ΔР=550\*0,8=440

Начальная запыленность газа, поступающего в батарейный циклон, допускается до 100 г/м3. К. п. д. батарейного циклона зависит от фракционного состава пыли и в среднем колеблется от 78 до 95%.

11.18 Определяем скорость газов на выходе из барабана Vгаз, м/с

11.19 Определяем скорость газов ν, м/с, в цилиндрической части циклонного элемента

11.20 Общее аэродинамическое сопротивление, которое должен преодолеть дымосос, складывается из следующих сопротивлений

газоходов от топки до входа в сушильный барабан….…………....100 Па

барабанной сушилки……………………………..………….................200

выходной газовой камеры от конца барабана до выходного патрубка циклона…………………………………………………………………………...50

батарейного циклона………………………………………..............440

Полное сопротивление сушильной установки составит  = 790Па.

11.21 Обычно газы отсасываются вентилятором среднего давления, подачу которого рассчитывают из условий обеспечения скорости газов по массе в сечении барабана 2—3 кг/(с-м2) с учетом подсосов по газовому тракту в размере 50—70%

Определяем подачу дымососа Vдым, м3, с учетом подсосов воздуха в размере 50%:

Vдым=Vcм\*1,5 (94)

Vдым=\*1,5=16867,32

11.22 При подборе дымососа следует учитывать запас давления примерно до 40% к общей сумме аэродинамических сопротивлений, Па

Соответственно:

ΔРсу=790\*1,4=1106

11.23 В качестве дымососа можно использовать обычный центробежный вентилятор среднего давления (желательно с охлаждением подшипников)

Так как характеристики для подбора вентиляторов составлены для нормальных условий при Т0=273+15 = 288° К, Па.

По этим данным (Vдым=2735 м3/ч и Р0=1509 Па) подбираем центробежный вентилятор типа ВЦ-14-46-6.3: к.п.д. B = 0,63.

11.24 Определяем мощность электродвигателя Nдв, кВт, вентилятор

где:  — к. п. д. передачи при помощи эластичной муфты, равный 0,98.

11.25 Определяем установочную мощность двигателя Nуст, кВт, при коэффициенте запаса мощности К=1,1, кВт.

Nуст=Nдв\*К К (97)

Nуст=11,45\*1,1=12,59

Принимаем к установке двигатель серии АИР160S-4 с номинальной мощностью 15 кВт, 1500 оборотов в минуту. Дымосос и циклон необходимо изолировать в том случае, если ожидается охлаждение газов в них ниже 70—75 °С.

Вращающиеся барабанные сушилки обычно работают под полным давлением (585-635 Па), чтобы предотвратить выход в цех запыленных вредных топочных газов. Слишком большой подсос воздуха снизит температуру сушки, поэтому стремятся за счет уплотнений (лабиринтных радиальных и торцовых) снизить подсос воздуха до минимального предела.

12. Примерный расчет дымовой трубы

12.1 Определяем температуру газов в устье трубы tу, °С, из условий понижения температуры по высоте = 1,5° С на 1 м для кирпичной трубы и 2—3° С в металлических нефутерованных трубах:

tу=tосн-30Δt (98)

tу=120-30\*1,5=75

## 12.2 Определяем среднюю температуру tср, °С ,газов в трубе:

12.3 Определяем среднюю плотность окружающего воздуха, кг/м3 :

12.4 Определяем диаметр устья трубы Dу, м, принимая скорость νоу=4м/с, если плотность газов при давлении 101,3 кПа и t=80° С составляет 0 = 1 кг/м3:

12.5 Принимаем Dy-1,22м.

Тогда

12.6 Определяем диаметр основания трубы Dосн, м:

DOCH =l,5Dy =1,5\*1,22= 1,83

12.7 Определяем средний диаметр Dср, м:

12.8 Определяем среднюю скорость газов в трубе νср, м/с:

При искусственной тяге высоту дымовой трубы выбирают с учетом санитарно-гигиенических требований и «Санитарных норм проектирования промышленных предприятий» . Металлические трубы изготовляют высотой не более 30—40 м. При сжигании сернистых топлив не следует применять металлические трубы вследствие их износа от коррозии за 3—4 года. Согласно санитарно-техническим нормам, дымовую трубу высотой 30 м допускают при суточном массовом расходе многозольного топлива до 5 т/ч. При работе на газе и мазуте высота дымовых труб может быть уменьшена, но она должна быть больше высоты зданий, расположенных вблизи сушильной или печной установки. Если в радиусе 200 м от сушильной установки имеются здания высотой более 15 м, минимальную высоту трубы принимают равной 45 м. В соответствии с требованиями пожарной охраны минимальную высоту дымовой трубы принимают не менее 16 м.

Кирпичные трубы выполняют высотой 30—70 м и диаметром не менее 800 мм для сушильных и печных установок средней и большой производительности. Железобетонные трубы выполняют высотой 80—150 м для тепловых установок большой и сверхбольшой мощности. Кирпичные и железобетонные трубы являются дорогими сооружениями, поэтому одну трубу устанавливают на 2—4 агрегата. Скорость газов на выходе из трубы выбирают в пределах 12—20 м/с. При колебании расхода топлива скорость в устье трубы не должна превышать 2— 6 м/с. При скорости меньше 2 м/с возможны нарушения тяги трубы от воздействия ветра.

Принимаем к установке кирпичную дымовую трубу высотой ориентировочно H=30 м. При естественной тяге рассчитывают необходимую высоту дымовой трубы и ее диаметр. Расчетную скорость газов при выходе из трубы выбирают при условии минимальных ее сопротивлений, значительно более низкой, чем при искусственной тяге, (в пределах 6—10 м/с и не менее 4 м/с во избежание «задувания» трубы).

13. Расчет толщины теплоизоляционных покрытий

13.1 Определяем толщину тепловой толщины δиз, мм, из равенства удельных тепловых потоков через слой изоляции от поверхности изоляции в окружающую среду:

где α2- коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности изоляционного материала в окружающую среду, Вт/м2 °К;

tст2- температура поверхности изоляции со стороны окружающей среды, для аппаратов, работающих в закрытом помещении не должна превышать tст2=45°С;

tст1- температура изоляции со стороны аппарата, ввиду незначительного термического сопротивления стенки аппарата по сравнению с термическим сопротивлением слоя изоляции tст1, принимаем равный средней температуре между газами и материалом в барабане сушилки tст1=50,7;

tок- температура окружающей среды (воздуха), tок=15°С, пункт

Толщина изоляции δиз ,м

где: λи- коэффициент теплопроводности изоляции, принимаем асботермит: λи =0,112 Вт/м°К

14. Основные требования ПТЭ к сушилкам

Камеры сушилок должны быть герметичными. Двери камер должны иметь рычажные, клиновые, винтовые или другие устройства, плотно закрывающие их.

Если в конвейерных сушилках по условиям эксплуатации не могут быть устроены двери или конструкция сушилки не обеспечивает зону с нулевым давлением, у входа и выхода сушилки необходимо устраивать тепловые (воздушные) завесы.

Сушильные установки должны иметь тепловую изоляцию, обеспечивающую минимальные технологические потери теплоты.

При установке сушилок на открытом воздухе теплоизоляция должна быть влагостойкой с гидроизоляционным покрытием.

В сушильных установках, в которых происходит пропаривание материала или изделий, ограждающие конструкции должны покрываться слоем гидроизоляции.

В сушилках с принудительной циркуляцией воздуха должны устанавливаться ребристые или гладкотрубные подогреватели или пластинчатые калориферы. Для лучшего обеспечения стока конденсата пластинчатые калориферы должны устанавливаться вертикально.

Для обеспечения равномерного распределения воздуха в сушильной камере должны устанавливаться направляющие экраны, решетки и другие устройства. Сушилка материалов в камерных сушилках с неполными габаритами штабеля по высоте запрещается

При сушке порошкообразных или дробленых материалов удаляемый из сушилки воздух должен очищаться путем устройства пылеосадочных камер, сухих или мокрых циклонов, мультициклонов, матерчатых фильтров. В этих сушилках должна применяться рециркуляция воздуха.

Кратность рециркуляции воздуха должна быть определена расчетным путем с учетом режима взрывоопасных паров и пыли, выделяемой при сушке, и указана в инструкции по эксплуатации.

На рабочем месте работника, обслуживающего сушильную установку, должна быть режимная карта. При эксплуатации сушилки должен осуществляться контроль за параметрами теплоносителя! регламентируемыми температурами по зонам, за качеством высушиваемого материала с регистрацией показателей в оперативном журнале

Режим работы сушильных установок и характеристики работы основного и вспомогательного оборудования определяются энергетическими испытаниями, которые должны производиться:

после капитальных ремонтов сушилок;

после внесения конструктивных изменений или внедрения рационализаторских предложений;

для устранения неравномерности сушки, связанной с выходом бракованной продукции

При испытаниях сушилки должны определяться часовой расход и параметры греющего теплоносителя, температура и влажность сушильного воздуха в разных точках камеры, коэффициент теплопередачи нагревательных поверхностей, производительность вентиляторов и частота вращения электродвигателей (в сушилках с принудительной циркуляцией воздуха.

Список используемой литературы

1. М.М. Роговой, М.Н. Кондакова, М.Н. Сагановский « Расчеты и задачи по теплотехническому оборудованию предприятий промышленности строительных материалов»
2. В.Ф. Степанчука, Справочное пособие по теплотехническому оборудованию промышленных предприятий. Мн.: Высшая школа, 1983-256с.
3. В.А.Григорьев, В.М. Зорин, «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника:Справочник».-М.:Энергоатомиздат,1983.
4. Ю.И. Дытнерский, Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: «Химия», 1991-545с.
5. Р.И.Эстеркин, Промышленные котельные установки. Л.: Энергоатом издательство, 1985-400с.
6. «Правила технической эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей потребителей. Техника безопасности при эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей потребителей».-Мн.:ЦОТЖ,2004