**Введение**

Сушка – это процесс удаления влаги из твердого или пастообразного материала путем испарения содержащейся в нем жидкости за счет подведенного к материалу тепла. Целью сушки является улучшение качества материала (снижение его объемной массы, повышение прочности) и, в связи с этим, увеличение возможностей его использования. В химической промышленности, где технологические процессы протекают в основном в жидкой фазе, конечные продукты имеют вид либо паст, либо зерен, крошки, пыли. Это обусловливает выбор соответствующих методов сушки.

В керамической промышленности для обезвоживания шликеров в основном применяют два способа: механический и термический. Механический способ обезвоживания основан на процессе фильтрования суспензии через тканевый фильтр под давлением 0,5 – 1,5 МПа. Обезвоживание производят в камерных и рамных фильтр – прессах периодического действия, а также в автоматических камерных фильтр – прессах циклического действия. Основным недостатком данного способа является относительно высокая влажность осадка (19–25%). Поэтому для получения из осадка пресс – порошка необходимы последующие сушка и помол, что значительно усложняет технологический процесс.

Термический способ обезвоживания материала основан на процессах тепло-массообмена, в результате которых из материала испаряется влага. Сушку керамической суспензии проводят в башенных распылительных сушилках и сушильных барабанах.

К основным преимуществам получения пресс–порошка в распылительной сушилке следует отнести стабильный гранулометрический состав и постоянную влажность готового материала, а также простоту конструкции сушилки и возможность автоматизации процесса сушки. Поэтому распылительные сушилки нашли широкое распространение в керамической промышленности в производстве облицовочных, фасадных плиток и плиток для полов.

Основным сырьем для производства керамических плиток являются глинистые материалы (глины и каолины) и кварцевый песок, причем содержание глинистых компонентов в массах составляет не менее 45–50%, в том числе глин – не менее 30%.

Решающее влияние на технологические свойства глин, применяемых для керамических изделий, имеет их минералогический состав. Минералогический состав глин очень разнообразен, что объясняется различным содержанием основных глинистых минералов (каолинита, гидрослюды, монтмориллонита, смешанослойных образований) и различными сочетаниями их.

В производстве пресс-порошков для керамических плиток используют распылительные сушилки. Это позволило исключить из технологического процесса в качестве самостоятельных операций помола и грануляции массы. Использование распылительных сушилок, кроме того, позволяет сократить потери массы и добиться получения пресс-порошка стабильного гранулометрического состава, постоянной в определенных пределах влажностью, шарообразной формой частиц, а, следовательно, и хорошей сыпучестью.

Процесс получения пресс-порошка в распылительных сушилках может быть полностью механизирован, что позволяет легко включать их в автоматические производственные линии.

Простота конструкций, высокие технико-экономические показатели распылительных сушилок и технологические свойства получаемого в них пресс-порошка обеспечили широкое их внедрение в промышленность.

Сушка влажных материалов является комплексным процессом, включающим перенос тепла и влаги внутри материала и обмен энергией (теплом) и массой (влагой) поверхности материала с окружающей средой (агентом сушки).

В распылительных сушилках, высушивая шликер, получают порошок материала. Для этого в сушильной камере шликер тем или иным способом диспергируют (распыляют) в виде капель, которые, перемещаясь в камере, омываются подаваемым в нее агентом сушки и высушиваются до определенной влажности вследствие разности парциальных давлений паров жидкости на поверхности капель и в агенте сушки. Поэтому достаточная степень диспергирования шликера является одним из важнейших факторов интенсивной работы распылительных сушилок, т. к. от нее зависит величина поверхности распыления шликера и, соответственно, скорость процессов тепло- и массообмена при сушке.

Перед другими способами сушки шликерных масс сушка их в диспергированном состоянии отличается значительной скоростью процесса благодаря большой поверхности взаимодействия распыленного материала с агентом сушки.

В распылительных сушилках диспергирование шликера может осуществляться за счет кинетической энергии шликера (механическое распыление) или кинетической энергии газа (пневматическое распыление).

К механическим распылителям относятся струйные и центробежные форсунки, быстровращающиеся центробежные диски и ультразвуковые распылители, а к пневматическим – различной конструкции газовые и паровые форсунки.

В распылительных сушилках, предназначенных для сушки керамических шликеров, используются распылители в виде вращающихся дисков и механических форсунок.

**1. Краткое описание распылительной сушилки**

Распылительная сушилка включает сушильную камеру, газооборудование, вентиляционную систему, систему подачи суспензии, КИП и автоматику.

Сушильная камера представляет собой сварную из 4–5 мм металлического листа башню, перекрытую металлической крышкой. Днище камеры выполнено в виде конусного бункера и приварено к корпусу. В производстве керамических плиток для корпуса используется нержавеющая сталь типа Х13 или Х25Т. Снаружи боковая и верхняя поверхность корпуса изолирована минераловатыми плитами толщиной 200 мм, а днище – минераловатыми плитами толщиной 60–100 мм. покровным слоем теплоизоляции служит тонколистовой металл – алюминий либо оцинкованная сталь. Днище камеры заканчивается центральным отверстием для выпуска порошка. К отверстию крепится течка с лепестковым затвором, уменьшающим подсосы воздуха. В крышке сушильной камеры устроен взрывной клапан в виде мембраны из асбестового картона толщиной 10 мм. Для наблюдения за работой горелок и форсунок в стенах сушильной камеры имеются люки со смотровыми окнами и устройства для освещения рабочего пространства. Снаружи на конусном днище смонтирован один или несколько стандартных вибраторов с возмущающей силой не более 1000 Н. Вибраторы предназначены для кратковременного включения при «зависании» порошка на днище.

Для сжигания газа в стенах сушильной камеры, примерно в середине по высоте, равномерно по периметру установлены газовые горелки. В конусном днище установлен вытяжной зонт для удаления отработанных газов. Вытяжной патрубок зонта подключен к пылеулавливающему циклону, который, в свою очередь, соединен с отсасывающим вентилятором. Сечение зонта 1–2,5 м, что обеспечивает небольшой (не более 2–4%) вынос материала с отходящими газами. Сушилка оборудована системой контрольно-измерительных приборов, показывающих температуру и разрежение в верхней части сушильной камеры, в выгрузочном конусе, до и после циклонов. Контролируются также давление газа и давление суспензии в нагнетающем трубопроводе. Для распыления суспензии служат механические тангенциальные форсунки, работающие при давлении 10–12 атм. Диаметр сопел форсунок 2,1 или 1,5 мм.

Форсунки с соплами небольшого диаметра быстрее засоряются. Поэтому большое внимание уделяется очистке суспензии. При совместном помоле пластичных и отощающих материалов суспензию при сливе из мельницы пропускают через вибрационное сито с 400 отв/см2 и при перекачке в расходный бассейн через сито с 900 отв/см2. Соблюдение правил приготовления суспензии и исправность системы ее очистки практически исключают засорение сопел.

Конструктивно распылительная сушилка включает в себя сушильную камеру с днищем и системы: подачи и распыления суспензии, теплообеспечения, отбора и очистки отработанных газов, КИП и автоматики, а также конструкционно-строительные элементы.

В соответствии с ГОСТ 18906–80 распылительные сушилки общего назначения в зависимости от способа распыления суспензии подразделяются на два типа:

РФ – распылительные сушилки с распылением исходного материала механическими или пневматическими форсунками;

РЦ – распылительные сушилки с распылением исходного материала центробежными форсунками.

Исполнение сушилок может быть: Н – невзрывозащищенное, В-взрывозащищенное, П – с устройством пожаротушения.

Для изготовления конструкционных элементов сушилки, соприкасающихся в процессе эксплуатации с получаемым порошком или исходной суспензией, могут использоваться материалы следующих групп: У – углеродистые стали и чугун, К – корозионностойкие стали и сплавы, Т – титан и его сплавы, М – цветные сплавы, Э – эмали.

Указанный стандарт устанавливает 6 модификаций распылительных сушилок в зависимости от их конструктивных признаков (места расположения распылителя и подвода теплоносителя, конструкции днища):

1 – с нижним подводом теплоносителя, коническим днищем и расположением распылителя вверху сушильной камеры;

2 – с верхним подводом теплоносителя, коническим днищем и расположением распылителя вверху сушильной камеры;

3 – с верхним подводом теплоносителя, коническим днищем и расположением распылителя внизу сушильной камеры;

4 – с верхним подводом теплоносителя, плоским днищем и расположением распылителя вверху сушильной камеры;

5 – с верхним подводом теплоносителя, плоским днищем и расположением распылителя внизу сушильной камеры;

6 – с нижним и верхним подводом теплоносителя, коническим днищем и расположением распылителя вверху сушильной камеры.

Основным недостатком сушилок с верхней подачей суспензии является значительная разница во влажности крупных и мелких гранул, в результате чего крупные частицы прилипают к конусному днищу и препятствуют равномерному выходу порошка из сушилки. При нижней подаче суспензии влажность порошка на различном расстоянии от оси сушилки практически совпадает со средней. Отмеченные недостатки сушилок с верхней подачей суспензии устранены в сушилках с нижней подачей.

Наряду с распылительными сушилками на газообразном топливе используют сушилки на жидком топливе, преимущественно на мазуте. Отличительной особенностью таких сушилок является использование выносной топки, установленной на нулевой отметке, и соединительного трубопровода между топкой и потолком сушилки.

Разработанные в НИИстройкерамике конструкции распылительных сушилок имеют следующие особенности:

– применение для распыления суспензии группы близко расположенных друг к другу механических форсунок, работающих под давлением 0,8–1,2 МПа, установленных по оси сушилки снизу вверх, либо установленных сверху и направленных вертикально вниз;

– сжигание газа в металлических туннелях, расположенных внутри сушильной камеры в средней части по высоте;

– отбор отработанных газов в нижней части сушильной камеры через вытяжной зонт;

Указанные особенности создают следующие преимущества.

Сжигание газа внутри сушильной камеры исключает потери тепла топочными устройствами и газоходами, обеспечивает предельно высокую начальную температуру теплоносителя, позволяет вести процесс с минимальным расходом воздуха и как следствие обеспечивает минимально возможные удельные расходы тепла – до 3,18 МДж и электроэнергии – до 0,004 кВт\*ч на 1 кг испаряемой влаги.

Распыление суспензии группой форсунок создает высокую концентрацию материала в объеме факела, позволяет уменьшить размеры сушильной камеры и в связи с этим обеспечивает высокий удельный влагосъем – более 25 кг/(м3\*ч). В связи с небольшим расходом теплоносителя унос высушенного продукта не превышает 2–4%. Требуемое низкое давление суспензии позволяет применять износостойкие мембранные насосы.

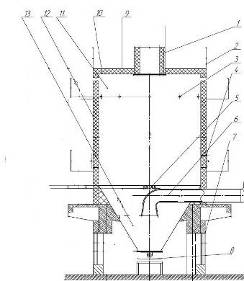


Рис. Схема БРС

1 – Взрывной клапан; 2 – молниеотвод; 3 – горелка; 4 – люк; 5 – система питания шликера; 6 – аспирация; 7 – опора; 8 – транспортёр; 9 – крыша; 10 – крышка; 11 – газооборудование; 12 – наружная обшивка; 13 – конус.

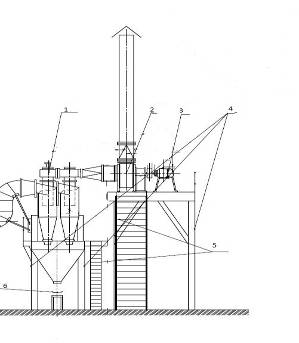


Рис. Схема вспомогательного оборудования для БРС

1 – Циклон; 2 – дымосос; 3 – электродвигатель; 4 – колонки; 5 – лестница; 6 – транспортёр.

**2. Теплотехнический расчет распылительной сушилки**

**2.1 Исходные данные для расчета**

Исходные данные для расчета:

1. производительность сушилки по абсолютно сухому порошку Gа.с.= 6000 кг/ч
2. потери порошка в сушилке…………………………………….…П= 4%
3. относительная влажность шликера……………………………Wш = 48%
4. относительная влажность готового порошка…………………..Wп= 6%
5. температура шликера на входе в сушилку……………….…….θн = 37 оС
6. температура порошка на выходе из сушилки…………………θк = 80оС
7. параметры наружного воздуха:

температура воздуха………………………………….….tвозд = 20 оС

относительная влажность…………………………………..φ = 85 оС

удельная теплоемкость…………………………….…свозд = 1,03 

8. температура теплоносителя на входе в сушилку……….…..tк = 150 оС

9. средний размер частиц порошка……………………….……. d = 0,25 мм

10. средняя теплоемкость керамической массы……………. сс = 0,921 

11. температура газа поступающего на горение………….………tгаз = 20 оС

12. теплоемкость природного газа………………………………сгаз = 1,3 

Топливо – природный газ Восточная Украина (Шебелинское месторождение)

**2.2 Материальный баланс сушилки**

Общая производительность сушилки

Gаобщ..с. = Gа.с. = = 

Потери абсолютно сухого порошка

Па.с. = Gобща.с. – Gа.с. = 6250 – 6000 = 250 

Производительность сушилки по товарному порошку

Gw =  =  = 6383 

Общая производительность сушилки по товарному порошку

Gобщw = Gw =  = 6649 кг/ч

Потери товарного порошка

Пw = Gwобщ – Gw = 6649 – 6383 = 266 

Плотность шликера

ρш =  =  = 1,471 

Производительность сушилки по шликеру

Gш = Gобща.с. =  = 

Объемный расход шликера в сушилке

Vш = 

Количество влаги, содержащейся в шликере

Gвл.ш = 

Количество испаряемой влаги



Количество остаточной влаги в порошке



Таблица 2.1. Материальный баланс распылительной сушилки

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Приход | | | Расход | | |
| Наименование | Кг/ч | % | Наименование статьи | Кг/ч | % |
| Шликер Gш | 12020 | 100 | Товарный порошок Gw | 6383 | 53,1 |
|
| Потери порошка Пw | 266 | 2,2 |
|
| Испаряемая влага Gв.и. | 5371 | 44,7 |
| Итого | 12020 | 100 | Итого | 12020 | 100 |

**2.3 Расчет горения топлива и определение параметров теплоносителя**

В качестве топлива используется природный газ Восточная Украина Шебелинское месторождение. Состав и свойства приведены в таблице 2.2

Таблица 2.2. Состав и свойства природного газа Восточной Украины Шебелинского месторождения

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| CH4 | C2H6 | C3H8 | C4H10 | C5H12 | CO2 | N2 |
| 91,5 | 4 | 1,6 | 0,28 | 0,13 | 0,12 | 2,39 |

Газ сжигается с коэффициентом расхода воздуха α =1,2. Воздух, идущий для горения, имеет температуру 20 оС.

Принимаем содержание влаги в газе 1,0%. Пересчитываем состав сухого газа на влажный рабочий газ:



Другие составляющие газа остаются без изменений. Состав влажного рабочего газа приведен в таблице 2.3

Табл. 2.3. Состав влажного рабочего газа, %.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| CH4вл | C2H6вл | C3H8вл | C4H10вл | C5H12вл | CO2вл | N2вл | H2Oвл |
| 90,585 | 4 | 1,6 | 0,28 | 0,13 | 0,12 | 2,39 | 1,0 |

Определяем теплоту сгорания газа:





Находим теоретически необходимое количество сухого воздуха





Принимаем влагосодержание атмосферного воздуха do=10 сух. воздуха и находим теоретически необходимое количество атмосферного воздуха с учетом его влажности





Действительное количество воздуха при коэффициенте расхода α =1,2:

Сухого воздуха: Lα=

Атмосферного воздуха: 





Определяем количество и состав продуктов горения при α= 1,2:





Общее количество продуктов горения составляет:



Определяем процентный состав продуктов горения:









Составляем материальный баланс процесса горения на 100 нм3 газа при α=1,2 (табл. 2.4)

Таблица 2.4. Материальный баланс процесса горения

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Приход | Кг | % | расход | Кг | % |
| Природный газ |  |  | Продукты горения |  |  |
|  | 64,949 | 4,033 |  | 208,129 | 12,91 |
|  | 5,424 | 0,336 |  | 178,145 | 11,05 |
|  | 3,232 | 0,200 |  | 58,860 | 3,65 |
|  | 0,795 | 0,049 |  | 1166,05 | 72,37 |
|  | 0,418 | 0,025 | Невязка | -0,98 | 0,061 |
|  | 0,237 | 0,014 |  |  |  |
|  | 0,804 | 0,049 |  |  |  |
| Воздух: |  |  |  |  |  |
|  | 353,16 | 21,93 |  |  |  |
| 9,807\*1,2\*0,21\*0,79\*1,251 | 1163,06 | 72,23 |  |  |  |
|  | 15,139 | 0,940 |  |  |  |
| Итого | 1610,21 | 100 | Итого | 1611,19 | 100 |

Невязка баланса составляет: 

Тогда 

Определяем действительную температуру горения при коэффициенте ηп=0,82

Расчетное теплосодержание составит:

Определяем коэффициент избытка воздуха из уравнения теплового баланса процесса горения газа

,

Откуда 

**2.4 Расчет конструктивных размеров сушилки и режима сушки**

Давление распыления шликера рассчитывается по эмпирической формуле:



Где μ – коэффициент распыления форсунки; dс – диаметр сопла форсунки, мм; d – средний размер частиц порошка, мм; Wш – относительная влажность шликера.

Принимая для диаметра сопла dс=3,7 коэффициент распыления μ=0,7 находим:



Для распыления шликера используем механические центробежные форсунки, разработанные в НИИ Стройкерамики.

Производительность одной форсунки



Общее количество форсунок в сушилке



Принимаем N=6.

Полученное число форсунок удовлетворяет рекомендациям /14/, в соответствии с которым общее количество форсунок не должно быть более 12 шт., что обеспечивает их рациональное размещение внутри сушилки и простоту обслуживания.

Высота факела форсунки, выше которой поднимается не более 1% частиц (капель) шликера,



Радиус окружности распыления, внутри которого выпадает 99% всех частиц (капель) шликера,



Диаметр цилиндрической части сушильной камеры



где l – расстояние по окружности между соседними форсунками.

Принимаем l=0,15 м, получаем:



Тогда



Форсунки располагаются по окружности вокруг вертикальной оси сушильной камеры. Диаметр данной окружности 

Высота сушильной камеры Δhк, равная расстоянию от уровня установки форсунок до потолка сушилки, принимается на 0,5 м больше высоты факела:



В соответствии с рекомендациями /14/ принимаем расстояние от уровня отбора отработанного теплоносителя до выгрузочного отверстия Δhотб=1,7 м.

Расстояние от уровня установки форсунок до уровня установки горелок составит (0,5–0,8) H99.



Определив основные габаритные размеры сушильной камеры, рассчитываем начальные параметры процесса сушки.

Высшая теплота сгорания топлива



здесь gп.в.г. – количество образующихся при горении топлива паров воды, кг/м3.

Величину gп.в.г. находим, используя данные статьи «расход продуктов горения»

gп.в.г=.

Находим



Максимальное теплосодержание продуктов горения

,

где ηт – к.п.д. топки; gвозд – теоретический расход воздуха на горение, кг/м3; gс.п.г. – теоретическое количество сухих продуктов горения, кг/м3.

В распылительной сушилке применяются встроенные газовые горелки. При таком расположении газовых горелок ηт=1.

Находим величину gвозд:



Величину gс.п.г. находим используя данные статьи «расход продуктов горения»:



Получаем



Максимальное начальное влагосодержание продуктов горения



Теплосодержание наружного воздуха



Начальное теплосодержание теплоносителя



где х – соотношение между количеством избыточного воздуха продуктов горения и теоретическим количеством сухих продуктов горения, х=0,3 – 6.

Для распылительных сушилок с встроенными горелками х рекомендуется принимать ближе к значению 0,3.

Принимаем х=0,35. Находим



Начальное влагосодержание теплоносителя



По точке пересечения I1 =2188 кДж/кг = const и d1 = 118,704 г./кг = const на I – d диаграмме находим начальную температуру tн равную 1430 оС

Определяем конечные параметры процесса сушки. Принимаем температуру порошка на выходе из сушилки θк по точке пересечения линии теоретического процесса сушки I1=const (линия ВС) с линией φ=100% по I-d диаграмме. Откуда θк=80 оС.

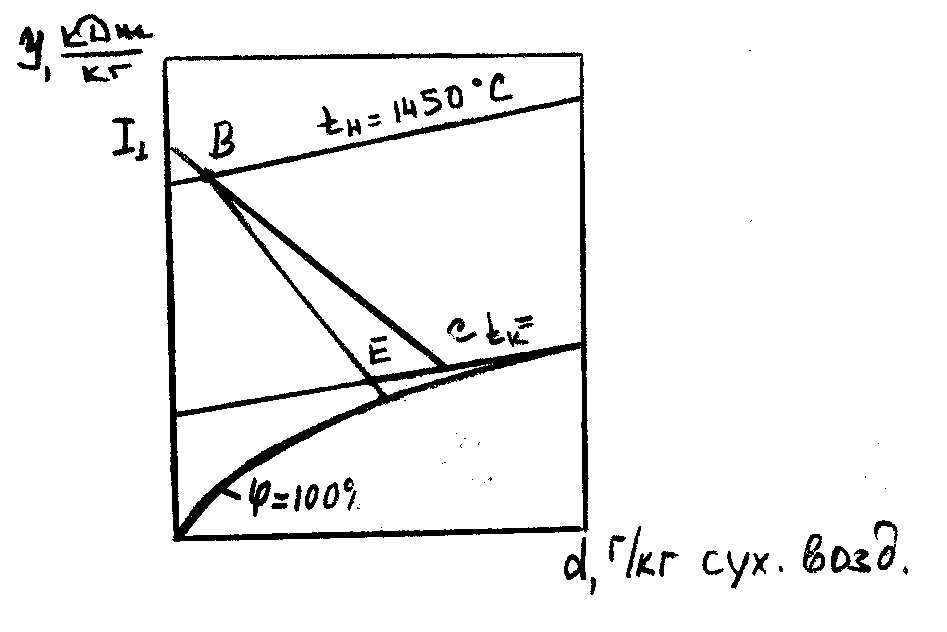


Рис. I-d диаграмма

Величина удельных теплопотерь составит:

∆ = \*[GА.с.общ. \*cc\*(θн – θк) + 4,19\* Gвл. ш.\* θн – 4,19\*Gост.\* θк] – qвл.окр,



Где qвлокр – относительная величина теплопотерь в окружающую среду.

Потери тепла в окружающую среду принимают равными 210 -250 кДж/кг испаренной влаги ⁄15⁄.

Принимаем qвл.окр = 236 кДж/кг испаренной влаги. Находим:

∆ = 1/5371 \*[6250\*0,921\*(37–80) + 4,19\*5770\*37 – 4,19\*399\*80] – 236 =



= – 140 кДж/кг.

Строим линию действительного процесса сушки на I – d диаграмме.

В действительном процессе сушки имеют место тепловые потери. Следовательно, при действительном процессе сушки теплосодержание в точке С снизится на величину теплопотерь ∆ = 140 кДж/кг сухого газа. Линия ВD показывает направление линии действительного процесса сушки с учетом тепловых потерь. Задаемся значением температуры отходящих газов tк =150 0С. Точка Е находится пересечением линии ВD с изотермой tк =const. Точка Е является конечной точкой действительного процесса. Действительный процесс сушки изображается линией ВЕ.

По точке пересечения линии tк =const с линией действительного процесса находим значение dк = 685 г./кг сух. воздуха.

Начальное количество теплоносителя



Начальная расчетная температура теплоносителя



Средняя разность температур



Находим расстояние Δh от уровня установки форсунок до уровня отбора отработанного теплоносителя при подаче шликера снизу вверх из формулы



Здесь r – теплота испарения,

,

где ro=2493 кДж/кг – скрытая теплота парообразования водяного пара при 0 оС; сп=1,97 кДж/(кг\*К) – удельная теплоемкость водяных паров; св=4,19 кДж/(кг\*К) – удельная теплоемкость воды.

Получаем





Откуда Δh=1,707 м.

Найденное значение Δh удовлетворяет требованиям [3], в соответствии с которыми величина Δh должна находиться в пределах от 0,155 до 5,5 м.

Общая высота сушильной камеры



Отношение высоты цилиндрической части сушильной камеры к ее общей высоте составляет:



Принимая iк=0,62, находим высоту цилиндрической части сушильной камеры



Высота конусной части сушильной камеры



Сушильная камера обычно изготавливается из листовой нержавеющей стали типа Х13 или Х25Т толщиной 4–5 мм.

Снаружи камера покрывается теплоизоляцией, выполненной из минераловатных плит, и обшивается дюралюминиевыми листами толщиной 1 мм.

Основные конструктивные размеры распылительной сушилки, полученные в результате расчетов, показаны на рис. 2.

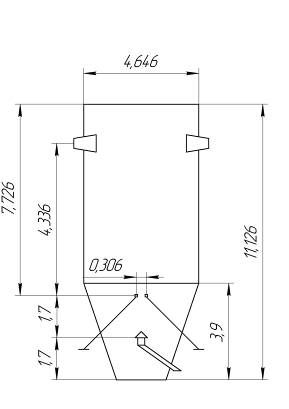


Рис. 2. Основные размеры распылительной сушилки

**2.5 Определение расходов тепла на процесс сушки**

В реальном процессе сушки материала в распылительной сушилке имеют место потери теплосодержания теплоносителя. Для расчета действительного процесса сушки определяем расход тепла в окружающую среду.

Расход тепла на нагрев сухой массы материала:



Расход тепла на нагрев остаточной влаги в материале:



Расход тепла на нагрев готового порошка:



Расход тепла на нагрев и испарение влаги из материала:



Тепло, уходящее с отработанным теплоносителем:



Расход тепла на сушку:



Удельный расход тепла на сушку, отнесенный к 1 кг испаренной влаги:



Удельный расход тепла на сушку шликера в распылительной сушилке находится в пределах 2900 – 4000 кДж/кг вл / 6 /. Найденное значение удельного расхода тепла находится в указанном диапазоне.

Удельный расход воздуха на сушку равен:



Затем определяем потери тепла в окружающую среду через ограждающие конструкции – потолок, цилиндрическую и коническую части сушилки.

Тепловой поток через потолок. Принимаем, что потолок сушилки выполнен из листовой стали толщиной δ1=5 мм. с теплоизоляционным слоем минеральной ваты толщиной δ2=120 мм и наружным ограждением из дюралюминиевых листов толщиной δ3=1 мм.

Принимаем температуру для внутренней поверхности потолка tп=400 оС. /6/

Площадь потолка составляет:



Коэффициент теплопередачи:



где α1 – коэффициент теплоотдачи от внутренней среды к внутренней поверхности потолка, α1=23,2 Вт/(м2\*К); α2 – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности потолка в окружающую среду, α2=17,4 Вт/(м2\*К); λ1, λ2, λ3 – коэффициенты теплопроводности стали, минеральной ваты и дюралюминия соответственно, λ1=58 Вт/(м\*К), λ2=0,08 Вт/(м\*К), λ3=200 Вт/(м\*К).

Получаем



Тепловой поток через потолок:



Тепловой поток через цилиндрическую часть сушилки.

Принимаем, что цилиндрическая часть сушилки выполнена из листовой стали толщиной δ1=5 мм с теплоизоляционным слоем минеральной ваты толщиной δ2=120 мм и наружным ограждением из дюралюминиевых листов толщиной δ3=1 мм.

Принимаем температуру для внутренней поверхности цилиндрической части сушилки tц.ч.=300 оС. /6/

Площадь цилиндрической части сушилки составляет:



Коэффициент теплопередачи:



где α1 – коэффициент теплоотдачи от внутренней среды к внутренней поверхности стенки, α1=25,5 Вт/(м2\*К); α2 – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности потолка в окружающую среду, α2=15,7 Вт/(м2\*К);.

Получаем:



Тепловой поток через цилиндрическую часть сушилки:



Тепловой поток через коническую часть сушилки.

Принимаем, что цилиндрическая часть сушилки выполнена из листовой стали толщиной δ1=5 мм с теплоизоляционным слоем минеральной ваты толщиной δ2=60 мм и наружным ограждением из дюралюминиевых листов толщиной δ3=1 мм.

Принимаем температуру для внутренней поверхности цилиндрической части сушилки tк.ч.=200оС. /6/

Площадь цилиндрической части сушилки составляет:



Коэффициент теплопередачи:



где α1 – коэффициент теплоотдачи от внутренней среды к внутренней поверхности стенки, α1=23,2 Вт/(м2\*К); α2 – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности потолка в окружающую среду, α2=15,7 Вт/(м2\*К);.

Получаем:



Тепловой поток через коническую часть сушилки:



Суммарный тепловой поток в окружающую среду:

Q\*=Q1+Q2+Q3=3819+17910+6781=28510 Вт.

или

\*

Потери тепла в окружающую среду, отнесенные к 1 кг испаренной влаги,



Уточняем удельный расход тепла.



Расход природного газа:



Рассчитываем КПД распылительного сушила:



По литературным данным КПД распылительных сушилок составляет: 78%

**2.6 Тепловой баланс**

На основании выполненных расчетов составляем тепловой баланс сушилки, который сведен в табл. 2.5

Таблица 2.5. Тепловой баланс распылительной сушилки

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование статьи | Количество тепла | | | Наименование статьи | Количество тепла | | | | |
| кДж/ч | кДж/  кг. вл. | % | кДж/ч | | кДж/  кг. вл. | | % |
| Приход тепла | | | | Расход тепла | | | | | |
| Тепло теплоносителя, поступающего на сушку Qт  Итого | 16290927,941  16290927,941 | 3033  3033 | 100  100 | Нагрев  готового продукта Qг.п. | | 319400 | | 5,946 | 0,199 |
| Потери тепла в окружающую среду Q\* | | 102636 | | 19,109 | 0,640 |
| Испарение влаги из материала Qисп | | 14144367.37 | | 2633,47 | 88,213 |
| Тепло, уходящее с отработанным теплоносителем, Qух | | 1633129,57 | | 326,805 | 10,947 |
| Невязка | | -91395 | | -17 | -0,57 |
| Итого | | 16199532,94 | | 3016 | 100 |

**3. Вспомогательное оборудование к распылительной сушилке**

**3.1 Горелочные устройства**

С точки зрения обеспечения симметричного обогрева устанавливают четное число горелок. Часовой расход газообразного топлива находится с 15–20%-м запасом.

Тогда Вн.ч.=1,2В=1,2\*409,001=490,801 м3/ч.

Принимаем к установке горелки типа ГНП – 6 [3] производительностью Qг = 55 м3/ч. Количество горелок составит:

Количество горелок составит:



Принимаем 10 горелок.

**3.1 Вентилятор для отбора отработанных газов**

Количество отработанных газов Vух складывается их объема пара, получившегося в результате сушки суспензии, объема продуктов сгорания топлива с учетом избыточного воздуха и объема пара, содержащегося в исходном воздухе.



Действительный объем влажных газов, уходящих из распылительной сушилки при температуре 125 оС,



Для отсасывания дымовых газов из распылительной сушилки используется центробежный вентилятор.

Подбираем вентилятор для подачи теплоносителя в количестве Vгаз=17540 м3/ч и создаваемым полным давлением h20=900 н/м2.

Учитываем, что при подаче горячего воздуха с другой плотностью давление его изменяется пропорционально его плотности



где hp – расчетное давление при данной плотности воздуха; h20 – давление, создаваемое вентилятором при плотности воздуха ρвозд=1,2 кг/м3;ρt – плотность горячего воздуха, кг/м3.

Плотность нагретого воздуха:



Расчетное давление с учетом действительной температуры газа составит:



Выбираем вентилятор среднего давления серии ВРС №8, для которого пересечение линии давления 1400 Н/м2 в верхней части номограммы с вертикалью 14319 м3/ч дает КПД η=0,56 и число оборотов в мин n=750, скорость в выходном отверстии 23,5 м/с (υвых).

Мощность на валу электродвигателя рассчитывается по следующей формуле:



где ηп – КПД передачи, который в зависимости от вида передачи имеет следующие значения:

ηп=0,98 – КПД передачи при помощи эластичной муфты;

ηп=0,95 – КПД клиноременной передачи:

ηп=0,90 – КПД плоскоременной передачи.

Принимаем соединение вентилятора с двигателем при помощи эластичной муфты. Тогда



Установочная мощность вентилятора при значении коэффициента запаса мощности κ=1,15 равна:



По значениям Nуст и n выбираем электродвигатель А71–6 /9/.

**3.3 Циклон**

Циклон для очистки запыленного газа после распылительной сушилки выбирается по действительному объему отходящих газов, равному Vгаз=17540 м3/ч.

Для производительности одного циклона Gц=14319 м2/ч диаметр циклона ЦН-24, γ=24о составит 600 мм. выбираем группу из четырех циклонов с выводом газа через улитку /9/.

**Заключение**

В теплотехническом расчете распылительной сушилки определили теплоту сгорания топлива Qрн =  кДж/м3, теплосодержание продуктов горения iобщ. кДж/м3, коэффициент избытка воздуха α =1,5. Также рассчитали давление распыления шликера р=1,88 МПа и количество форсунок в сушилке: N=6. Рассчитали конструктивные размеры сушилки, на I – d – диаграмме построили линии теоретического и действительного процессов сушки. Определили расход тепла на нагрев готового порошка qг.п. = 319400 кДж/ч и суммарный тепловой поток в окружающую среду qрокр. = 102636 кДж/ч. Рассчитали число горелок типа ГНП – 6 [3]: Nг =10. Рассчитали электродвигатель А71–6 /9/, а также группу из четырех циклонов типа ЦН – 24 диаметром 600 мм.

**Список используемых источников научно-технической литературы**

1. Левченко, П.В. Расчет печей и сушил силикатной промышленности. – М.: Высш. Шк., 1968. – 366 с.

2. Справочник химика. Том V. – М.: Химия, 1968 – 972 с.

3. Новая технология керамических плиток / Под ред. В.И. Добужинского. – М.: Стройиздат, 1977. – 228 с.

4. Белопольский, М.С. Сушка керамических суспензий в распылительных сушилках. – М.: Изд-во лит. По стр.-ву, 1972. – 128 с.

5. Комлева Г.П., Комлев В.Г., Основы проектирования заводов по производству тугоплавких неметаллических и силикатных материалов: Учеб пособие / Иван. гос. хим. – технолог. ун-т. Иваново, 2004. – 112 с.

6. Овчинников, Л.Н., Овчинников Н.Л., Сушка в силикатной промышленности: Учеб. Пособие /Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2004. – 104 с.

7. Теплотехнический расчет распылительной сушилки: Метод. указания / Сост.: С.В. Натареев, Н.Л. Овчинников; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2004. – 104 с.

8. Кузнецов, Ю.Н. Расчет распылительной сушилки типа РФ (Материальный баланс сушилки. Расчет и выбор оптимальных размеров сушильной камеры): Метод. указания / Иван. хим.-технол. институт. Иваново, 1983. – 28 с.

9. Рысин, С.А., Вентиляционные установки машиностроительных заводов: Справочник. – М.: Издательство «Машиностроение», 1964. – 704 с.