

Соскин М. И., магистрант строительного факультета, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Шулепова А. В., магистрант строительного факультета, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ПРИМЕР ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СУШИЛЬНО-ПОМОЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГЛИНИСТОГО СЛАНЦА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЛИНКЕРА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Аннотация: В статье рассмотрены основные понятия связанные с сушкой и приведен пример теплотехнического расчета сушильно-помольной установки для глинистого сланца при производстве клинкера портландцемента.

Ключевые слова: Сушка, теплотехнический расчет, сушильно-помольная установка.

Abstract: The article describes the basic concepts related to drying and is an example of the calculation of heating drying and grinding plant for shale in the production of cement clinker.

Keywords: Drying, Thermal calculation, drying and grinding plant.

Сушкой называют термический процесс удаления влаги из твердых материалов путем её испарения. Процесс сушки изделий и материалов сопровождается изменением объема, которое называют усадкой. В процессе сушки из материала или изделий удаляют влагу, физико-механически и физико-химически связанную с ним.

Любой влажный материал в процессе сушки рассматривают как систему, состоящую из сухого материала и воды. Под сухим материалом (только для процессов сушки) понимают абсолютно сухой материал вместе с химически связанной влагой. Таким образом, массу влажного материала представляют в виде: $G_{ВМ}=G_{СМ}+W$, где $G_{ВМ}$ – масса влажного материала; $G_{СМ}$ – масса сухого

материала; W – масса физико-химически и физико-механически связанной влаги [1].

Материал представляет собой многокомпонентную систему, состоящую из твердого скелета, влаги, воздуха и паров воды. Различают три состояния материала по отношению к окружающей среде: *влажное, равновесное и гигроскопическое*. Под *влажным* понимают такое, при котором парциальное давление водяных паров на поверхности материала выше, чем парциальное давление водяных паров в окружающей среде. При этих условиях материал отдает влагу. Воздух, окружающий материал, ассимилирует влагу материала и постепенно насыщается ею. *Равновесное* состояние наблюдается при равенстве парциальных давлений водяных паров на поверхности материала и в окружающей среде. В этом случае сушки материала не происходит.

Гигроскопическое состояние материала, при котором парциальное давление водяных паров на поверхности материала меньше, чем парциальное давление водяных паров в окружающей среде, нехарактерно и может быть получено только искусственно. В этом случае материал начинает сорбировать влагу из окружающей среды, постепенно переходя в равновесное состояние [2].

Исходные данные для расчета

Барабанная мельница Аэрофол 8,25x1,86; диаметр: $D=8,25$ м; длина: $L=1,86$ м; мощность= $N=2000$ кВт, Производительность: $G=160$ т/ч, $K^m=0,06$, $K^M=0,15$, производительность: $G=30,96$ т/ч, Влажность глины: Начальная: $W_1=7\%$, конечная: $W_2=1\%$, Плотность сухого материала: $\rho=2450$ кг/м³, допускается: $t_{зага} \leq 400^\circ\text{C}$, берем $t_{гоз} = \pm 35^\circ\text{C}$, $t_{гозд} \leq 60^\circ\text{C}$, $t_y = 15^\circ\text{C}$.

Материальный баланс тепловой установки

Компонент	Вход		Выход	
	%	т/ч	%	т/ч
1. Глин. сланец	93	28,79	99	28,79
2. Физическая влага	7	2,17	1	0,31
Σ		30,96		29,1

Расчет расхода сушильного агента по транспортной способности

$$\omega_{\text{воздуха}} = 5,2 \cdot \sqrt{\frac{\phi_{\text{мат}} \cdot \rho_{\text{мат}}}{\rho_{\text{с.а.}}}} \cdot 1,11 = 5,2 \cdot \sqrt{\frac{0,0001 \cdot 2450}{1,293}} \cdot 1,11 = 2,5 \text{ м/с}$$

$\omega_{\text{воздуха}}$ – скорость воздуха (м/с)

$\phi_{\text{мат}}$ – размер зерна глины (м)

$\rho_{\text{мат}}$ – плотность глины (кг/м³)

$\rho_{\text{с.а.}}$ – плотность воздуха (кг/м³)

$$L_{\text{с.а.}}^{\text{факт}} = \omega_{\text{воз}} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot (1 - K^{\text{ш}} - K^{\text{м}}) \cdot \rho_{\text{с.а.}} \cdot 3600$$

$K^{\text{ш}}=6\%$ степень заполнения мелющими телами по объему [3]

$K^{\text{м}}=15-20\%$ степень заполнения материалом мельниц [3]

$$L_{\text{с.а.}}^{\text{факт}} = 2,5 \cdot \frac{3,14 \cdot 3^2}{4} \cdot (1 - 0,06 - 0,15) \cdot 1,293 \cdot 3600 = 64950 \text{ кг}$$

Тепловой баланс для определения максимально возможной температуры нагрева мельницы аккумулярованное транспортным воздухом

$$\sum Q_{\text{расхода}} = \sum Q_{\text{прихода}}$$

$$Q_{\text{возд}} + Q_{\text{исп.вл.}} + Q_{\text{окр.ср}} = Q_{\text{корп.м}} + Q_{\text{шар}} + Q_{\text{мат}} + Q_{\text{уноса с.а}} + Q_{\text{неуч}}$$

$Q_{\text{возд}}$ – количество теплоты аккумулярованное воздухом (кДж)

$Q_{\text{исп.вл.}}$ – количество теплоты пошедшее на испарение влаги (кДж)

$Q_{\text{окр.ср}}$ – количество теплоты выделяющееся в окружающую среду (кДж)

$Q_{\text{корп.м}}$ – количество теплоты выделяющееся при работе корпуса мельницы (кДж)

$Q_{\text{шар}}$ – количество теплоты выделяемое работой шаров (кДж)

$Q_{\text{мат}}$ – количество теплоты выделяемое работой материала (кДж)

$Q_{\text{неуч}}$ – неучтенное количество теплоты (кДж)

$$1. Q_{\text{возд}} = (\rho_{\text{с.а.}} \cdot t_{\text{мм}} - I_a) \cdot L_{\text{с.а.}}^{\text{факт}}$$

$t_{\text{мм}}$ – тах температура мельницы (°С)

I_a – теплосодержание воздуха, взятого с улицы (кДж/кг сух. возд)

$$Q_{\text{возд}} = (1,293 \cdot t_{\text{мм}} + 30) \cdot 64950 = 83786 \cdot t_{\text{мм}} + 1948500 \text{ кДж}$$

$$2. Q_{\text{исп.вл}} = \text{Вл}_m \cdot i''$$

i'' - теплосодержание водяного пара, при $t=60^\circ\text{C}$; $i'' = 2645 \text{ кДж/кг}$

$$\text{Вл}_m = G_m \cdot \frac{w_m^{\text{нач}}}{100}$$

$w_m^{\text{нач}}$ – начальная влажность материала

$$Q_{\text{исп.вл}} = 30960 \cdot \frac{7}{100} \cdot 2645 = 5732244 \text{ кДж}$$

$$3. Q_{\text{окр.ср}} = 3,6 \cdot k \cdot F \cdot (t_{\text{мм}} - t_{\text{ц}})$$

$k=11$ – коэффициент теплопередачи ($\text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

$t_{\text{мм}}$ – max температура мельницы ($^\circ\text{C}$)

$t_{\text{ц}}$ – температура в цехе ($^\circ\text{C}$)

F – площадь мельницы (м^2)

$$F = \pi \cdot \emptyset \cdot h + \frac{2 \cdot \pi \cdot \emptyset^2}{4} = 3,14 \cdot 8,25 \cdot 1,86 + \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 8,25^2}{4} = 155 \text{ м}^2$$

\emptyset – внутренний диаметр барабана (м)

h – длина барабана (м)

$$Q_{\text{окр.ср}} = 3,6 \cdot 11 \cdot 155 \cdot (t_{\text{мм}} - 15) = 6138 \cdot t_{\text{мм}} - 92070 \text{ кДж}$$

$$4. Q_{\text{корп.м}} = c_{\text{мет}} \cdot m_m \cdot (t_{\text{мм}} - t_{\text{возд}})$$

$c_{\text{мет}}=0,48$ – удельная теплоёмкость металла ($\text{кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$)

$m_m=105000$ – масса мельницы (кг)

$t_{\text{мм}}$ – max температура мельницы ($^\circ\text{C}$)

$t_{\text{возд}}$ – температура воздуха на выходе из мельницы ($^\circ\text{C}$)

$$Q_{\text{корп.м}} = 0,48 \cdot 105000 \cdot (t_{\text{мм}} - 60) = 50400 \cdot t_{\text{мм}} - 3024000 \text{ кДж}$$

$$5. Q_{\text{шар}} = c_{\text{мет}} \cdot m_{\text{шар}} \cdot (t_{\text{мм}} - t_{\text{возд}})$$

$c_{\text{мет}}=0,48$ – удельная теплоёмкость металла ($\text{кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$)

$m_m=17000$ – масса шаров (кг)

$t_{\text{мм}}$ – max температура мельницы ($^\circ\text{C}$)

$t_{\text{возд}}$ – температура воздуха на выходе из мельницы ($^\circ\text{C}$)

$$Q_{\text{шар}} = 0,48 \cdot 17000 \cdot (t_{\text{мм}} - 60) = 8160 \cdot t_{\text{мм}} - 489600 \text{ кДж}$$

$$6. Q_{\text{мат}} = G_{\text{мат}}^{\text{сух}} \cdot c_{\text{гл}} \cdot (t_{\text{м}}^{\text{кон}} - t_{\text{м}}^{\text{нач}})$$

$G_{\text{мат}}^{\text{сух}}$ – производительность материала (кг)

$c_{\text{гл}}=0,92$ – удельная теплоёмкость глинистого сланца (кДж/кг · °С)

$t_{\text{м}}^{\text{кон}}$ – температура выхода материала из мельницы (°С)

$t_{\text{м}}^{\text{нач}}$ – температура материала в цехе (°С)

$$Q_{\text{мат}} = 30960 \cdot 0,92 \cdot (60 - 15) = 1281744 \text{ кДж}$$

$$7. Q_{\text{уноса с.а.}} = L_{\text{с.а.}}^{\text{факт}} \cdot t_{\text{мм}} = 64950 \cdot t_{\text{мм}} \text{ кДж}$$

$$8. Q_{\text{неуч}} = 0,1 \sum Q$$

$$89924 \cdot t_{\text{мм}} + 7772814 = 1,1 \cdot (123510 \cdot t_{\text{мм}} - 2231856)$$

$$45937 \cdot t_{\text{мм}} = 10227856$$

$$t_{\text{мм}} = 222,7 \text{ °С}$$

Таким образом, максимально возможная температура нагрева мельницы Аэрофол аккумулярованное транспортным воздухом составляет 222,7 °С.

Библиографический список

1. Перегудов В.В., Роговой М.И. Тепловые процессы и установки в технологии строительных изделий и деталей. – М.: Стройиздат, 1983. – 416 с.
2. Никифорова Н.М. Теплотехника и теплотехническое оборудование предприятий промышленности строительных материалов и изделий. – М.: Стройиздат, 1985. – 271 с.
3. ГОСТ 12367-85 Мельницы трубные помольных агрегатов. Общие технические условия.