

А. М. БАЙТУРЕЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СУШИЛЬНОГО АГЕНТА ($t_{\text{вх}}$) НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА СУШКИ В БАРАБАННОЙ СУШИЛКЕ СО СМЕШАННЫМ РЕЖИМОМ ТЕРМООБРАБОТКИ ($L_0/D_0 = 7,2/1,2 = 6$)

(Представлена академиком НАН РК Ж. Т. Сулейменовым)

В результате исследования влияния температуры сушильного агента на входе ($t_{\text{вх}}$) в зависимости от конструктивных параметров барабанного агрегата со смешанным режимом термообработки при $L_0/D_0 = 7,2/1,2 = 6$, установлено, что оптимальные значения технологических параметров процесса сушки гранулята $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ обеспечиваются при температуре сушильного агента на входе в барабан $t_{\text{вх}} = 300^\circ\text{C}$ и $t_{\text{вых}} = 325^\circ\text{C}$.

В настоящее время сушка гранулята трикальцийфосфата осуществляется в сушильных барабанах диаметром барабана $D = 1,6$ м и длиной $L = 10,5$ м, установленных с наклоном в сторону выгрузки материала. Согласно технологического регламента топочные газы из топки поступают в сушильный барабан при температуре 850°C , а температура отходящих газов после сушильного барабана должна быть не более 120°C . Начальная влажность гранулята трикальцийфосфата 10%, а на выходе из сушильного барабана должна быть не более 1%. Проектная производительность ($G_{\text{пр}}$) барабанной сушилки до 20 т/ч [1].

Температура сушильного агента, подаваемая в барабанную сушилку, определяется условиями пожарной безопасности и экономикой сушки. При прочих равных условиях с увеличением температуры сушильного агента на входе возрастает температура отработавших газов, а это повышает потери тепла с отходящими газами.

В целях исследования влияния температуры сушильного агента на входе в барабан ($t_{\text{вх}}$) на технологические параметры процесса сушки в барабанной сушилке со смешанным режимом термообработки при конструктивных параметрах отношения длины барабана к диаметру барабана $L_0/D_0 = 7,2/1,2 = 6$ зададимся производительностью $G_{\text{пр}} = 18\ 500 \div 19\ 000$ т/ч ($G_{\text{пр}} = 5139 \div 5277$ кг/с) – согласно технологического регламента [1].

Было рассмотрено влияние температуры сушильного агента на входе в барабан на технологические параметры процесса сушки как: коэффициент заполнения барабана, производительность сушилки, массовую скорость, время пребывания и температуру сушильного агента на выходе из барабана.

Анализ исследования технологических процессов сушки в барабанных агрегатах со смешанным режимом термообработки проводили с использованием программы электронных таблиц Microsoft Excel как основного инструмента.

Обработку исследования вели на ПК в инновационных технологиях Microsoft Excel при помощи численного метода вычисления – «Методом наименьших квадратов».

Для получения требуемой влажности гранулята трикальцийфосфата необходимо проведение процесса сушки.

Основным показателем при сушке гранулята трикальцийфосфата является производительность сушильного агрегата.

Производительность сушильного барабана по сухому продукту (G) определяем по ниже приведенной формуле (1) [2].

$$G = M\Pi(\rho_c g_c) D_0^2 \cdot t_{\text{вх}}^{0,426}, \quad (1)$$

где

$$M = \frac{1360\varphi^{0,34} t^{0,34} K \left(\frac{n^2}{1800}\right)^a D^{a_1} \sin \beta^{b_1}}{A^{0,337} d^{0,525} (\rho_c g_{\text{вх}})^{0,139}}; \quad (2)$$

$$\Pi = \sqrt{\frac{t_{\text{вх}} - 30}{t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}} + 10}}; \quad (3)$$

$$K = \left[\frac{W_K}{W_H \cdot (W_H - W_K)} \right]. \quad (4)$$

В формулах (1)–(4): G – производительность материала по сухому продукту, кг/ч; M – коэффициент; Π – температурный коэффициент; K – коэффициент влажности; $t_{\text{вх}}$ – температура агента сушки на входе в барабан, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{вых}}$ – температура агента сушки на выходе из барабана, $^\circ\text{C}$;

$\rho_c \mathcal{G}_c$ – массовая скорость сухого агента сушки по барабану, кг/(м²·с); ρ_c – плотность газа (воздуха), кг/м³; \mathcal{G}_c – скорость агента сушки, м/с; D_σ – диаметр барабана, м; φ – коэффициент заполнения барабана, %; L_σ – длина барабана, м; W_n и W_k – начальная и конечная влажность материала, %; n – частота вращения барабана, об/мин; α – угол наклона барабана, град; d – средний эквивалентный диаметр частицы, мм.

Коэффициент заполнения барабана – φ определяем по формуле (5) [3]

$$\varphi = \left[(220 - 30,3\rho_c \mathcal{G}_c - 57\alpha - 15,7\alpha\rho_c \mathcal{G}_c) \times \ln(28,8 - 4\alpha) - 62\rho_c \mathcal{G}_c n + 6,46\alpha\rho_c \mathcal{G}_c + 97,8\alpha \cdot n + 3,12n\rho_c \mathcal{G}_c - 127\alpha \cdot t_{ex} + 4,5\alpha - 12,5\rho_c \mathcal{G}_c - 44,4n + 0,21 \cdot t_{ex} - 8,6 \right] \cdot 0,001. \quad (5)$$

Подставив значения коэффициента заполнения – φ (5), коэффициента- M (2), коэффициента- Π (3) и коэффициента- K (4) в уравнение (1) получено критериальное уравнения процесса сушки дисперсных материалов в барабанном агрегате со смешанным режимом термообработки (6).

$$G = \frac{1360\varphi^{0,34} L_\sigma^{0,34} \left(\frac{W_k}{W_n \cdot (W_n - W_k)} \right) \left(\frac{n^2}{1800} \right)^{0,21} D_\sigma^2 (\sin \alpha)^{0,4}}{A^{0,337} d^{0,526} (\rho_c \mathcal{G}_c)^{0,139}} \times \sqrt{\frac{t_{\sigma_{\text{вых}}} - 30}{t_{\text{ex}} - t_{\sigma_{\text{вых}}} + 10}} (\rho_c \mathcal{G}_c) D_\sigma^2 t_{\text{ex}}^{0,426}}. \quad (6)$$

Анализируя зависимость (6), можно отыскать экстремальные значения различных параметров, обеспечивающих максимальную производительность барабанного агрегата по сухому продукту. Уравнение (6) справедливо только для барабанных агрегатов, установленных с углом наклона в сторону загрузки (с отрицательным углом наклона).

Температура отработанного сушильного агента на выходе из барабана $t_{\sigma_{\text{вых}}}$ не может быть выбрана произвольно и должна рассчитываться из уравнения теплового баланса, решенного совместно с уравнением кинетики процесса сушки (6). Это решение может быть представлено в виде равенства (7) [2]:

$$\frac{t_{\text{ex}} - t_{\sigma_{\text{вых}}}}{M \cdot t_{\text{ex}}^{0,426} \sqrt{\frac{t_{\sigma_{\text{вых}}} - 30}{t_{\text{ex}} - t_{\sigma_{\text{вых}}} + 10}}} = 0,713 \frac{\omega_n - \omega_k}{100} + 0,00038 \cdot c_M (t_{\sigma_{\text{вых}}} - 30) \frac{\omega_n + 100}{100}, \quad (7)$$

Подставив выражение M (2) в уравнение (7) и преобразовав его получено уравнение теплового баланса (8)

$$\frac{t_{\text{ex}} - t_{\sigma_{\text{вых}}}}{1360\varphi^{0,34} L_\sigma^{0,34} K \left(\frac{n^2}{1800} \right)^{0,21} D_\sigma^2 (\sin \alpha)^{0,4} A^{0,337} d^{0,526} (\rho_c \mathcal{G}_c)^{0,139} \cdot t_{\text{ex}}^{0,426} \sqrt{\frac{t_{\sigma_{\text{вых}}} - 30}{t_{\text{ex}} - t_{\sigma_{\text{вых}}} + 10}}} = 0,713 \frac{\omega_n - \omega_k}{100} + 0,00038 \cdot c_M (t_{\sigma_{\text{вых}}} - 30) \frac{\omega_n + 100}{100};$$

$$\frac{A^{0,337} d^{0,526} (\rho_c \mathcal{G}_c)^{0,139} \cdot (t_{\text{ex}} - t_{\sigma_{\text{вых}}})}{1360\varphi^{0,34} L_\sigma^{0,34} K \left(\frac{n^2}{1800} \right)^{0,21} D_\sigma^2 (\sin \alpha)^{0,4} \cdot t_{\text{ex}}^{0,426} \sqrt{\frac{t_{\sigma_{\text{вых}}} - 30}{t_{\text{ex}} - t_{\sigma_{\text{вых}}} + 10}}} = 0,713 \frac{\omega_n - \omega_k}{100} + 0,00038 \cdot c_M (t_{\sigma_{\text{вых}}} - 30) \frac{\omega_n + 100}{100}. \quad (8)$$

Решив уравнение (8) методом последовательных приближений, задаваясь температурой отработавших газов $t_{\sigma_{\text{вых}}}$, добиваемся равенства правой и левой частей уравнения (7), отыскивая таким путем истинное значение температуры отработавшего в барабане сушильного агента. Определив, таким образом, температуру сушильного агента на выходе из сушилки ($t_{\sigma_{\text{вых}}}$) определяем производительность сушильного барабана со смешанным режимом термообработки по уравнению (6).

Исследования проводились при следующих исходных данных: отношение длины барабана к диаметру барабана $L_\sigma/D_\sigma = 7,2/1,2 = 6$ [2]; число оборотов барабана $n = 10, 12$ об/мин; угол наклона барабана в сторону загрузки $\alpha = -1^\circ$; температуру сушильного агента на входе в барабан брали в пределах $t_{\text{ex}} = 100-400^\circ\text{C}$ с интервалом 25°C .

Обработка данных исследования проведены на ПК в инновационных технологиях Microsoft Excel при помощи численного метода вычисления – «Методом наименьших квадратов». В результате математической обработки полученных данных процесса сушки гранулята трикальций-фосфата в барабанном сушильном агрегате со смешанным режимом термообработки определены

рациональные параметры: производительность сушильного агрегата; коэффициент заполнения барабана; массовая скорость агента сушки; время пребывания материала в барабане и температура сушильного агента на выходе из барабана.

Согласно расчетных данных строим графики зависимости влияния температуры сушильного агента на входе в барабан на: коэффициент запол-

нения барабана (рис. 1); производительность сушилки (рис. 2); массовую скорость агента сушки (рис. 3); время пребывания (рис. 4) и температуру сушильного агента на выходе из барабана (рис. 5).

Графики зависимости технологических параметров процесса сушки гранулята трикальцийфосфата в зависимости от температуры сушильного агента на входе в барабан приведены на рис. 1–5.

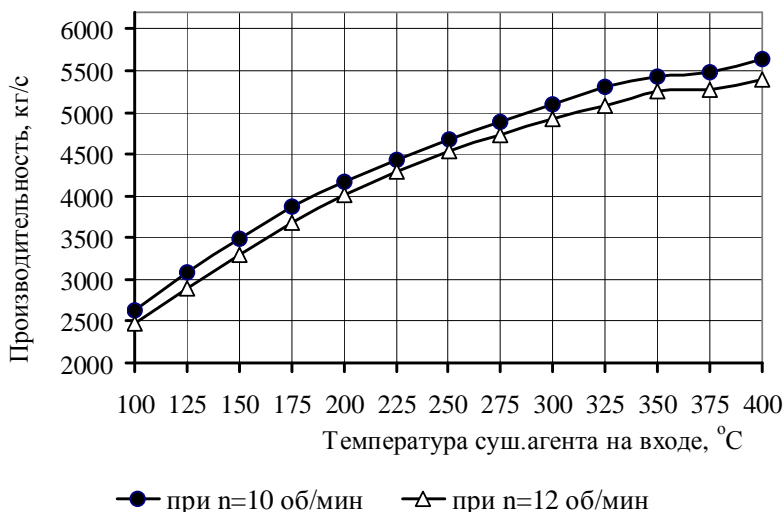


Рис. 1. Влияние температуры сушильного агента на входе в барабан на производительность сушилки в зависимости от числа оборотов барабана

Из анализа рис. 1 видно, что проектная производительность сушилки в барабанном агрегате со смешанным режимом термообработки обеспечивается при температуре сушильного агента на входе в барабан $t_{ex} = 300^{\circ}\text{C}$ и $t_{ex} = 325^{\circ}\text{C}$ и числе оборотов барабана $n = 10$ об/мин и $n = 12$ об/мин соответственно.

На рис. 2 представлены графики коэффициента заполнения барабана при $n = 10$ и 12 об/мин. Рациональными являются коэффициенты запол-

нения соответствующие температуре сушильного агента на входе в барабан при $t_{ex} = 300^{\circ}\text{C}$ для $n = 10$ об/мин, при $t_{ex} = 325^{\circ}\text{C}$ для $n = 12$ об/мин.

Из анализа рис. 3 видно, что массовая скорость агента сушки при $n = 10, 12$ об/мин равны и с увеличением температуры сушильного агента уменьшается. Рациональной считается массовая скорость агента сушки соответствующая: при $t_{ex} = 300^{\circ}\text{C}$ для $n = 10$ об/мин; при $t_{ex} = 325^{\circ}\text{C}$ для $n = 12$ об/мин.

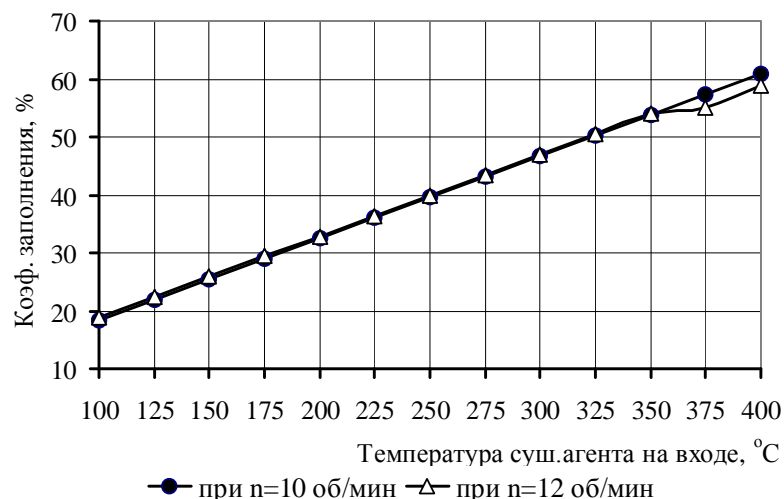


Рис. 2. Влияние температуры сушильного агента на входе в барабан на коэффициент заполнения барабана в зависимости от числа оборотов барабана

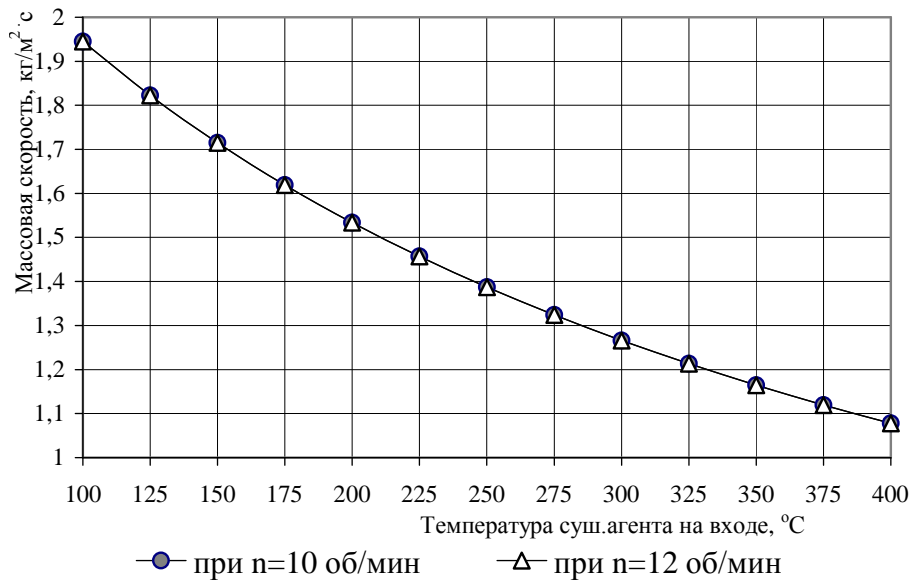


Рис. 3. Влияние температуры сушильного агента на входе в барабан на массовую скорость агента сушки в зависимости от числа оборотов барабана

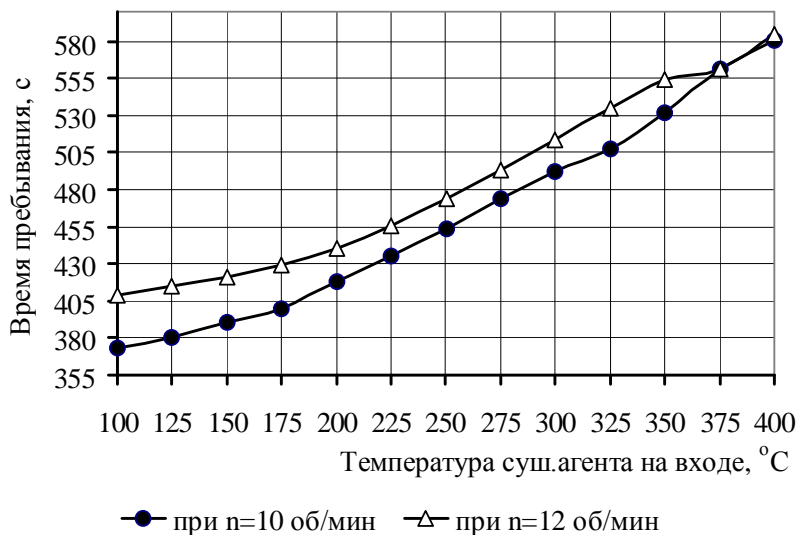
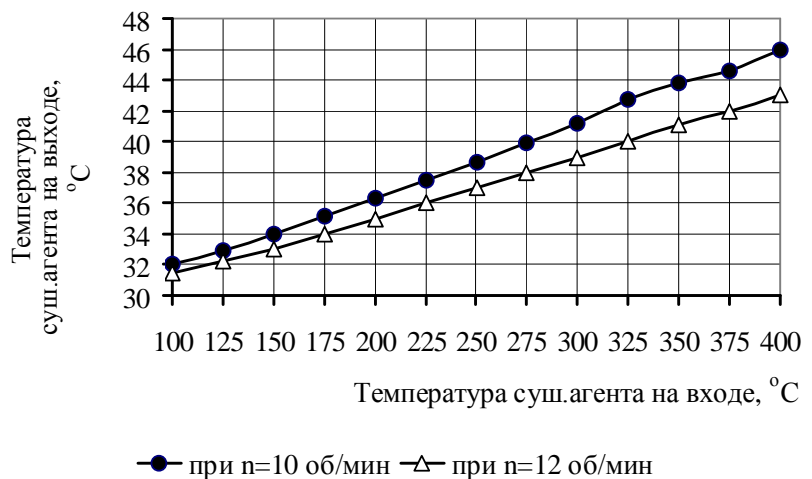


Рис. 4. Влияние температуры сушильного агента на входе в барабан на время пребывания материала в барабане в зависимости от числа оборотов барабана

Рис. 5. Влияние температуры сушильного агента на входе в барабан на температуру сушильного агента на выходе из барабана в зависимости от числа оборотов барабана



На графике рис. 4 представлены время пребывания высушиваемого материала в барабанном агрегате со смешанным режимом термообработки при $n = 10, 12$ об/мин. Рациональным временем пребывания является время пребывания при температуре сушильного агента на входе в барабан при $t_{\text{вх}} = 300^\circ\text{C}$ для $n = 10$ об/мин и при $t_{\text{вх}} = 325^\circ\text{C}$ для $n = 12$ об/мин.

На рис. 5 приведены графики влияния температуры сушильного агента на входе в барабан на температуру сушильного агента на выходе из барабана в зависимости от числа оборотов барабана.

Из графиков следует, что рациональной температурой сушильного агента на выходе из барабана при $t_{\text{вх}} = 300^\circ\text{C}$ и $n = 10$ об/мин является $t_{\text{вых}} = 41^\circ\text{C}$, а при $t_{\text{вх}} = 325^\circ\text{C}$ и $n = 12$ об/мин является $t_{\text{вых}} = 40^\circ\text{C}$.

Таким образом, из выше приведенного следует, что применение сушильного барабана со смешанным режимом термообработки позволяет уменьшить конструктивные параметры существующей сушилки. Также следует отметить при конструктивных параметрах барабанной сушилки со смешанным режимом термообработки равного $L_6/D_6 = 7,2/1,2 = 6$ температуру сушильного агента на входе в барабан можно снизить с $800 \div 850^\circ\text{C}$ до $300 \div 325^\circ\text{C}$. Это в свою очередь приведет к экономии топлива и безопасной эксплуатации оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постоянный технологический регламент производства трикальцийфосфата кормового в цехе КОФ. Срок действия 2008-2013 гг. ТФ ТОО «Казфосфат» «Минеральные удобрения». Тараз, 2008.

2. Стерлин Д.М. Сушка в производстве фанеры и древесностружечных плит. М.: Лесная промышленность, 1977. 383 с.

3. Байтуреев А.М. Предотвращение слеживаемости галита в процессе хранения путем термообработки в барабанных сушильных агрегатах с отрицательным углом наклона // Вестник ТарГУ им. М.Х. Дулати. 2007. №2. С. 142-145.

Резюме

Аралас режимде термоөңдейтін барабанды агрегаттың құрылымдық параметрлеріне байланысты ($L_6/D_6 = 7,2/1,2 = 6$ кезінде) кептіргішке кіргендегі ($t_{\text{кпр}}$) кептіргіш агенттің температурасының әсерін зерттеу нәтижесінде, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ түйіршігін кептіру процесінің қамтамасыз ететін технологиялық параметрлердің оң-тайлы мәндері кептіргіш агенттің барабанға кіргендегі температурасы $t_{\text{кпр}} = 300^\circ\text{C}$ және $t_{\text{кпр}} = 325^\circ\text{C}$ анықталды.

Summary

As a result of studies of the influence of the temperature of the dry agent at the input (t) depending on constructive parameter of the drum unit with mixed regime of thermoprocessing within $L_6/D_6 = 7,2/1,2 = 6$, it is installed that best values of technological parameters of the drying process of the of partictes of $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ at the temperature of the drying agent at the input to the drum $t = 300^\circ\text{C}$ and $t = 325^\circ\text{C}$ are provided.

УДК 66.047.57

Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати

Поступила 30.06.09г.