

Расчет барабанной сушилки

Исходные данные

Сушимый материал - песок

Производительность сушилки - 3,5 кг/с

$$2,0 - 1,5 = 25$$

$$1,5 - 1,0 = 75$$

Начальная влажность песка (ω_n) - 12 %

Конечная влажность песка (ω_k) - 0,5 %

$$t_{cm} = t_1 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\varphi = 75 \%$$

Решение

1. Параметры топочных газов, подаваемых в сушилку:

Так как вид топлива не задан, принимаем природный газ с низшей теплотой сгорания $\approx 8020 \text{ ккал/м}^3$

Параметры газа:

CH₄ - 92 %

C₂H₆ - 0,5 %

H₂ - 5 %

N₂ - 1,5 %

CO - 1 %

2. Теоретический расход воздуха, необходимый для сгорания 1 м³ газа:

$$L^0 = 138 \cdot \left[0,0179 \cdot CO + 0,248 \cdot H_2 + \sum \left(\frac{(m + n/4) \cdot C_m H_n}{12 \cdot m + n} \right) \right]$$

$$L^0 = 138 \cdot \left[0,0179 \cdot 0,01 + 0,248 \cdot 0,05 + \left[\frac{(1+1) \cdot 0,92}{12+4} + \frac{(2+6/4) \cdot 0,05}{12 \cdot 2 + 6} \right] \right] = 17,63 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

3. Количество теплоты, выделяемой при сгорании 1 м³ газа:

$$Q_c = \mathcal{E}_T^{CH_4} \cdot CH_4 + \mathcal{E}_T^{C_2H_6} \cdot C_2H_6 + \mathcal{E}_T^{H_2} \cdot H_2 + \mathcal{E}_T^{CO} \cdot CO$$

где \mathcal{E} - тепловой эффект реакции горения.

Газ	Реакция горения	Тепловой эффект реакции, кДж/м ³
CH ₄	CH ₄ +2O ₂ = CO ₂ +2H ₂ O	35741
C ₂ H ₆	C ₂ H ₆ +3,5O ₂ = 2CO ₂ +H ₂ O	63797
H ₂	2H ₂ +O ₂ = 2H ₂ O	10810
CO	CO+0,5O ₂ = CO ₂	12680

Тогда

$$Q_c = 35741 \cdot 0,92 + 63797 \cdot 0,005 + 10810 \cdot 0,05 + 12680 \cdot 0,01 = 33868 \text{ кДж/м}^3$$

4. Плотность топлива (изобарная)

$$r_T = \frac{\sum (C_m H_n \cdot M_i)}{J_0} \cdot \frac{t_0}{t_0 + \Delta t_T}$$

где J_0 - объем идеального газа при нормальных условиях, $J_0 = 22,4 \text{ м}^3/\text{кмоль}$

M_i - молярная масса компонента газа, кг/моль

t_0 - температура газа при нормальных условиях, $t_0 = 0 \text{ °C} = 273 \text{ K}$

t_T - температура природного газа, идущего на горение, $t_T = 20 \text{ °C} = 20+273 = 293 \text{ K}$

Молярные массы газов:

$$m^{CH_4} = 12 + 4 = 16 \text{ кг} / \text{моль}$$

$$m^{C_2H_6} = 12 \cdot 2 + 6 = 30 \text{ кг} / \text{моль}$$

$$m^{H_2} = 1 \cdot 2 = 2 \text{ кг} / \text{моль}$$

$$m^{CO} = 12 + 16 = 28 \text{ кг} / \text{моль}$$

$$m^{N_2} = 14 \cdot 2 = 28 \text{ кг} / \text{моль}$$

Тогда плотность газа составит:

$$r_T = \frac{0,92 \cdot 16 + 0,005 \cdot 30 + 2 \cdot 0,05 + 0,01 \cdot 28 + 28 \cdot 0,015}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 20} = 0,652 \text{ кг} / \text{м}^3$$

5. Количество теплоты, выделяемое при сгорании 1 кг топлива:

$$Q_{кг} = \frac{Q_c}{r_T} = \frac{33868}{0,652} = 51945 \text{ кДж} / \text{кг}$$

6. Определение коэффициента избытка воздуха:

$$a = \frac{Q_m \cdot h + C_T t_T - h_{сг} (1 - \sum \frac{q_n}{12m+n} \cdot C_m H_n) - h_n}{L_0 \cdot (h_{сг} + h_n \cdot x_0 - H_0)}$$

6.1. Пересчет компонентов топлива, при сжигании которых образуется вода из объемных долей в массовые:

$$CH_4 = \frac{0,92 \cdot 16 \cdot 273}{22,4 \cdot 0,652 \cdot (273 + 20)} = 0,94$$

$$C_2H_6 = \frac{0,005 \cdot 30 \cdot 273}{22,4 \cdot 0,652 \cdot (273 + 20)} = 0,00957$$

$$H_2 = \frac{0,05 \cdot 2 \cdot 273}{22,4 \cdot 0,652 \cdot (273 + 20)} = 0,00638$$

$$\sum \frac{9n}{12m+n} \cdot C_m H_n = \frac{9 \cdot 4}{12+4} \cdot 0,94 + \frac{9 \cdot 2}{12 \cdot 2+6} \cdot 0,00957 + \frac{9 \cdot 2}{2} \cdot 0,00638 = 2,18 \text{ кг} / \text{кг}$$

Энтальпия сухих газов:

$$h_{сг} = C_{сг} \cdot t_{сг}$$

где $C_{сг}$ - массовая теплоемкость сухих продуктов сгорания при температуре дымовых газов $t_{сг} = t_1 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$

$$C_{сг} = 1,024 \text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$$

Тогда $h_{сг} = 1,024 \cdot 300 = 307,2 \text{ кДж/кг}$

Энтальпия водяных паров:

$$h_n = r_0 + C_B \cdot t_B$$

где r_0 - скрытая теплота парообразования,

$$r_0 = 2500 \text{ кДж/кг}$$

C_B - массовая теплоемкость водяных паров при $t_{сг} = 300 \text{ }^\circ\text{C}$

$$C_B = 1,926 \text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$$

Тогда $h_n = 2500 + 1,926 \cdot 300 = 3078 \text{ кДж/кг}$

По h - d диаграмме при $t_0 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ (принято за отсутствием данных) и относительной влажности воздуха $\varphi = 75 \%$

$$H_0 = 10,4 \text{ ккал/кг} = 43,576 \text{ кДж/кг}$$

$$x_0 = 0,01 \text{ кг/кг}$$

$$\text{Тогда } \alpha = \frac{51945 \cdot 0,95 + 1,34 \cdot 20 - 307,2 \cdot (1 - 2,18) - 3078 \cdot 2,18}{17,63 \cdot (307,2 + 3078 \cdot 0,01 - 43,576)} = 8,29$$

7. Масса сухих газов, образующихся при сжигании 1 кг топлива и разбавлении топочных газов воздухом:

$$G_{сг} = 1 + a \cdot L_0 - \sum \frac{0,09n}{12m+n} \cdot C_m H_n$$

$$G_{сг} = 1 + 8,29 \cdot 17,63 - 2,18 = 144,97 \text{ кг/кг}$$

8. Масса водяных паров, образующихся при сжигании 1 кг топлива:

$$G_n = \sum \frac{9n}{12m+n} \cdot C_m H_n + a \cdot L_0 \cdot x_0$$

$$G_n = 2,18 + 8,29 \cdot 17,63 \cdot 0,01 = 3,6 \text{ кг/кг}$$

9. Влагосодержание сушильного агента на входе в сушилку:

$$x_1 = G_n / G_{сг} = 3,6 / 144,97 = 0,025 \text{ кг/кг}$$

10. Энтальпия топочных газов на входе в сушилку:

$$H_1 = \frac{(Q \cdot h_T + C_T \cdot t_T + a \cdot L_0 \cdot H_0)}{G_{сг}}$$

$$H_1 = (51945 \cdot 0,95 + 1,34 \cdot 20 + 8,29 \cdot 17,63 \cdot 43,576) / 144,97 = 384,52 \text{ кДж/кг} = 91,77 \text{ ккал/кг}$$

11. Расход влаги, удаляемой из материала:

$$W = G_K \cdot \frac{W_H - W_K}{100 - W_H}$$

$$W = 3,5 \cdot ((12 - 0,5)/(100 - 12)) = 0,4574 \text{ кг/с}$$

По h-d диаграмме определим температуру мокрого термометра (по энтальпии H_1 до пересечения с $\phi = 100\%$).

$$t_m = 57,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Тогда $q_M = \frac{G_K \cdot C_M \cdot (t_2 - t_1)}{W}$ где $t_m = t_2 = 57,5 \text{ }^\circ\text{C}$

$$q_M = 3,5 \cdot 0,795 \cdot (57,5 - 18) / 0,4574 = 240,29 \text{ кДж/кг}$$

Запишем уравнение внутреннего теплового баланса сушилки:

$$\Delta = C \cdot t_1 + q_{\text{доп}} - (q_T + q_M + q_{\text{пот}})$$

При отсутствии дополнительного подогрева $q_{\text{доп}} = 0$ и подвод теплоты в сушилку транспортными средствами $q_T = 0$, уравнение примет вид:

$$\Delta = C \cdot t_1 - (q_M + q_{\text{пот}}) = C \cdot t_1 - G_K \cdot C_M (t_2 - t_1) - q_{\text{пот}}$$

$$\Delta = 4,19 \cdot 18 - 240,29 - 1,34 \cdot 20 = -191,67 \text{ кДж/кг}$$

где C - теплоемкость влаги в материале при температуре высушиваемого материала $t_1 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$.

t_2 - температура высушиваемого материала на выходе из сушилки. Равна температуре мокрого термометра при соответствующих параметрах сушильного агента:

$$t_m = t_2 = 57,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$q_{\text{пот}}$ - удельные потери тепла в о.с.

Для теоретической сушилки, в которой сушка протекает по адиабате, уравнение внутреннего теплового баланса сушилки будет:

$$\Delta = \frac{H_2 - H_1}{x_2 - x_1} = 0$$

если $\Delta < 0$, то $H_1 > H_2$

если $\Delta > 0$, то $H_1 < H_2$

Для построения процесса сушки на диаграмме h-d необходимо использовать уравнение рабочей линии сушки:

$$\Delta = \frac{H - H_1}{x - x_1}$$

$$H = H_1 + \Delta \cdot (x - x_1)$$

Для определения H задаемся произвольным значением x и по уравнению определяем H . Через 2 точки на диаграмме h-d с координатами x_1, H_1 и x, H проводим линию сушки до пересечения с изотермой t_2 .

Задаемся $x = 0,12 \text{ кг/кг}$

$$H = 384,52 - 191,67 \cdot (0,12 - 0,025) = 366,31 \text{ кДж/кг} = 87,42 \text{ ккал/кг}$$

В точке пересечения линии сушки с изотермой $t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ находим параметры сушильного агента на выходе из сушки:

$$x_2 = 0,1 \text{ кг/кг}$$

$$H_2 = 88,34 \text{ ккал/кг} = 370,14 \text{ кДж/кг}$$

Массовый расход сухого газа:

$$L_{сг} = W / (x_2 - x_1) = 0,4574 / (0,1 - 0,025) = 6,099 \text{ кг/с}$$

Массовый расход сухого воздуха:

$$L = W / (x_2 - x_0) = 0,4574 / (0,1 - 0,01) = 5,08 \text{ кг/с}$$

Расход теплоты на сушку:

$$Q_c = L_{сг} \cdot (H_1 - H_0) = 6,099 \cdot (384,52 - 43,576) = 2079,4 \text{ кДж/с}$$

Расход топлива на сушку:

$$B = Q_c / Q = 2079,4 / 33868 = 0,0614 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$\text{или } B = 2079,4 / 51945 = 0,04 \text{ кг/с}$$

Определение основных размеров барабана:

1) средняя плотность сушильного агента:

$$r_{ср} = \frac{m}{J_0} \cdot \left(\frac{273}{273 + \frac{t_1 + t_2}{2}} \right)$$

$$\rho_{ср} = (29 / 22,4) \cdot (273 / (273 + ((300 + 100) / 2))) = 0,747 \text{ кг/м}^3$$

Скорость сушильного агента:

$$\omega = 2 - 5 \text{ м/с};$$

$$\omega_{ср} = 0,6 - 1,8 \text{ кг/м}^2\text{с}$$

Предварительно зададимся ω :

$$\omega = 2 \text{ м/с} \quad \rightarrow \quad \omega_{ср} = 2 \cdot 0,747 = 1,494 \text{ кг/м}^2\text{с}$$

$$\omega = 3 \text{ м/с} \quad \rightarrow \quad \omega_{ср} = 3 \cdot 0,747 = 2,241 \text{ кг/м}^2\text{с}$$

Примем $\omega_{ср} = 1,494 \text{ кг/м}^2\text{с}$

Парциальное давление водяных паров в сушильном барабане на входе:

$$P_1 = \frac{x_1}{m_B} \cdot \frac{P_0}{\frac{1}{m_{св}} + \frac{x_1}{m_B}}$$

$$P_1 = (0,025 / 18) \cdot (100000 / ((1 / 29) + (0,025 / 18))) = 3871,8 \text{ Па}$$

Парциальное давление водяных паров в сушильном барабане на выходе:

$$P_2 = \frac{x_2}{m_B} \cdot \frac{P_0}{\frac{1}{m_{св}} + \frac{x_2}{m_B}}$$

$$P_2 = (0,1 / 18) \cdot (100000 / ((1 / 29) + (0,1 / 18))) = 13875,6 \text{ Па}$$

Среднее парциальное давление водяных паров в сушильном барабане:

$$P = (P_1 + P_2) / 2 = (3871,8 + 13875,6) / 2 = 8873,7 \text{ Па}$$

Средняя движущая сила:

$$\Delta P_6 = P_1^* - P_1$$

где P_1^* - парциальное давление водяных паров при $t_{м1}$.

$$t_{м1} = t_m + 1 = 57,5 + 1 = 58,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_1^* = 18696 \text{ Па}$$

$$\Delta P_6 = 18696 - 3871,8 = 14824,2 \text{ Па}$$

$$\Delta P_M = P_2^* - P_2$$

$$P_2^* = 17880 \text{ Па} \quad \text{при } t_M = 57,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta P_M = 17880 - 13875,6 = 4004,4 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{CP} = \frac{\Delta P_B - \Delta P_M}{\ln \frac{\Delta P_B}{\Delta P_M}}$$

$$\Delta P_{CP} = (14824,2 - 4004,4) / \ln (14824,2 / 4004,4) = 8266,5 \text{ Па}$$

Коэффициент массоотдачи:

$$b_V = 0,0162 \cdot (w \cdot r_{CP})^{0,9} \cdot n^{0,7} \cdot b^{0,54} \cdot \frac{P_0}{r_{CP} \cdot (P_0 - P)}$$

$$\beta_V = 0,0162 \cdot (1,494^{0,9} \cdot 5^{0,7} \cdot 12^{0,54} \cdot 100000) / (0,747 \cdot (100000 - 8873,7)) = 0,403 \text{ 1/с}$$

Объем сушильного барабана, необходимый для проведения процесса испарения влаги:

$$V_C = \frac{W}{b_V \cdot \Delta x_{CP}}$$

$$\Delta x_{CP} = \frac{\Delta P_{CP} \cdot m_B}{10^2 \cdot J_0 \cdot (273 + t_{CP}) / 273}$$

$$\Delta x_{CP} = (8266,5 \cdot 18 \cdot 273 \cdot 0,001) / (100 \cdot 22,4 \cdot (273 + (300 + 100)/2)) = 0,0383 \text{ кг/м}^3$$

$$\text{Тогда } V_C = 0,4574 / (0,403 \cdot 0,0383) = 29,63 \text{ м}^3$$

Объем сушильного барабана, необходимого для прогрева сушимого материала до t мокрого термометра:

$$V_n = \frac{Q_n}{K_J^* \cdot \Delta t_{CP}}$$

$$Q_n = G_K \cdot C_M \cdot (t_{M1} - t_1) + W_B \cdot C_B \cdot (t_M - t_1)$$

$$Q_n = 3,5 \cdot 0,795 \cdot (58,5 - 18) + 0,4574 \cdot 1,926 \cdot (57,5 - 18) = 147,49 \text{ кВт}$$

$$Q_n = L_{CF} \cdot (1 + x_1) \cdot C_F \cdot (t_1^r - t_x) \rightarrow$$

$$t_x = t_1^r - \frac{Q_n}{L_{CF} \cdot (1 + x_1) \cdot C_F}$$

$$t_x = 300 - (147,49 / (6,099 \cdot (1 + 0,025) \cdot 1,05)) = 277,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{CP} = \frac{(t_1^r - t_1) + (t_x - t_{M1})}{2}$$

$$\Delta t_{CP} = ((300 - 18) + (277,5 - 58,5)) / 2 = 250,5 \text{ C}$$

$$K_J^* = 16 \cdot (w \cdot r_{CP})^{0,9} \cdot n^{0,7} \cdot b^{0,54}$$

$$K_J^* = 16 \cdot 1,494^{0,9} \cdot 5^{0,7} \cdot 12^{0,54} = 271,06 \text{ 1/с}$$

$$\text{Тогда } V_n = (147,49 \cdot 1000) / (271,06 \cdot 250,5) = 2,17 \text{ м}^3$$

Тогда общий объем барабана:

$$V = V_C + V_n = 29,63 + 2,17 = 31,8 \text{ м}^3$$

Принимаем барабанную сушилку 7119 с диаметром барабана 1,8 м

$$\text{Тогда } L_b = (V \cdot 4) / (\pi \cdot d^2) = (31,8 \cdot 4) / (3,14 \cdot 1,8^2) = 12,5 \text{ м}$$

Расчет сушилки с псевдооживленным слоем

Исходные данные

Производительность сушилки - 0,35 кг/с

Начальная влажность песка (ω_H) - 12 %

Конечная влажность песка (ω_K) - 0,5 %

$$t_{cm} = t_1 = 110 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\varphi = 75 \%$$

Решение

1. Расход воздуха, скорость газов и диаметр сушилки.

Расход влаги.

$$W = G_K \cdot \frac{w_H - w_K}{100 - w_H}$$

$$W = 0,35 \cdot ((12 - 0,5)/(100 - 12)) = 0,04574 \text{ кг/с}$$

Температура сушильного агента t_2 после сушилки принимаем из условия $t_2 = 60 - 65 \text{ }^\circ\text{C}$.

Примем $t_2 = 63 \text{ }^\circ\text{C}$

Температура материала в псевдооживленном слое:

$$V = t_2 - 2 = 63 - 2 = 61 \text{ }^\circ\text{C}$$

Внутренний тепловой баланс сушилки:

$$\Delta = C \cdot Q_1 + q_{доп} - (q_T + q_M + q_{пот})$$

$$q_M = G_K \cdot C_M \cdot (V_2 - V_1) / W = 0,35 \cdot 0,795 \cdot (61 - 18) / 0,04574 = 261,58 \text{ кДж/кг}$$

$$\Delta = 4,19 \cdot 18 - 261,58 - 22,6 = -208,76 \text{ кДж/кг}$$

Определим по h-d диаграмме энтальпию воздуха при $t_0 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ и $\varphi = 75 \%$

$$H_0 = 10,4 \text{ ккал/кг} = 43,576 \text{ кДж/кг}$$

$$x_0 = 0,01 \text{ кг/кг}$$

$$t_1 = 110 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Тогда } H_1 = 33 \text{ ккал/кг} = 138,3 \text{ кДж/кг}$$

Рабочая линия сушки:

$$H = H_1 + \Delta \cdot (x - x_1) = 138,3 - 208,76 \cdot (0,036 - 0,01) = 132,87 \text{ кДж/кг} = 31,71 \text{ ккал/кг}$$

где $x = 0,036 \text{ кг/кг}$ - предварительно заданная величина

$$x_2 = 0,027 \text{ кг/кг}$$

$$H_2 = 32,16 \text{ ккал/кг} = 134,75 \text{ кДж/кг}$$

Расход воздуха на сушку:

$$L = W / (x_2 - x_0) = 0,04574 / (0,027 - 0,01) = 2,69 \text{ кг/с}$$

Средняя температура воздуха в сушилке, среднее влагосодержание:

$$t_{cp} = (t_1 + t_2) / 2 = (110 + 63) / 2 = 86,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$x_{cp} = (x_1 + x_2) / 2 = (0,01 + 0,027) / 2 = 0,0185 \text{ кг/кг}$$

Средняя плотность сухого воздуха и водяных паров:

$$r_{CB} = \frac{m_{CB}}{J_0} \cdot \frac{273}{273 + t_{cp}}$$

$$\rho_{св} = (29/22,4) \cdot (273/(273+86,5)) = 0,983 \text{ кг/м}^3$$

$$r_{вп} = \frac{m_B}{J_0} \cdot \frac{273}{273+t_{ср}}$$

$$\rho_{вп} = (18/22,4) \cdot (273/(273+86,5)) = 0,61 \text{ кг/м}^3$$

Средняя объемная производительность по воздуху:

$$V = \frac{L}{r_{св}} + x_{ср} \cdot \frac{L}{r_{вп}}$$

$$V = 2,69 / 0,983 + 0,0185 \cdot 2,69 / 0,61 = 2,82 \text{ м}^3/\text{с}$$

Эквивалентный диаметр частиц сушеного материала:

$$d_{\text{э}} = 1 / ((0,25 / 0,00175) + (0,75 / 0,00125)) = 0,00135 \text{ м}$$

По температуре $t_{ср} = 86,5 \text{ }^\circ\text{C}$, определяем вязкость и плотность сушеного агента:

T, °C	Плотность ρ , кг/м ³	Вязкость μ , Па·с
100	0,946	0,0000219
200	0,898	0,0000229

$$\text{Тогда } \rho_{ср} = 0,946 - (0,946 - 0,898)/100 \cdot (86,5 - 100) = 0,952 \text{ кг/м}^3$$

$$\mu_{ср} = 0,0000219 + (0,0000229 - 0,0000219)/100 \cdot (86,5 - 100) = 0,00002177 \text{ кг/м}^3$$

Число Архимеда:

$$Ar = \frac{d_{\text{э}}^3 \cdot r_{ср} \cdot g \cdot r_n}{m_{ср}^2}$$

$$Ar = 0,001^3 \cdot 0,952 \cdot 9,81 \cdot 1500 / 0,00002177^2 = 29558,362$$

Число Рейнольда:

$$Re = \frac{Ar}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{Ar}}$$

$$Re = 29558,362 / 1400 + 5,22 \cdot \sqrt{29558,362} = 12,866$$

Расчетная скорость начала псевдооживления:

$$W_{пс} = \frac{Re \cdot m_{ср}}{r_{ср} \cdot d_{\text{э}}}$$

$$W_{пс} = 12,866 \cdot 0,00002177 / (0,952 \cdot 0,001) = 0,294 \text{ м/с}$$

$$w_{св} = \frac{m_{ср}}{r_{ср} \cdot d_{\text{э}}} \cdot \frac{Ar}{18 + 0,575 \cdot \sqrt{Ar}}$$

$$\omega_{св} = 0,00002177 / (0,952 \cdot 0,001) \cdot 29558,362 / (18 + 0,575 \cdot \sqrt{29558,362}) = 5,78 \text{ м/с}$$

Тогда предельное число псевдооживления:

$$K_{пр} = \omega_{св} / W_{пс} = 5,78 / 0,294 = 19,7$$

Так как $K_{пр} < 40$, то рабочее число псевдооживления K_w может быть задано в диапазоне 1,5 - 3.

Принимаем $K_w = 2,5$

Тогда рабочая скорость псевдооживления:

$$\omega = Kw \cdot W_{пс} = 2,5 \cdot 0,294 = 0,735 \text{ м/с}$$

По уравнению расхода определяем диаметр сушилки:

$$d = \sqrt{V / (0,785 \cdot \omega)} = \sqrt{2,82 / (0,785 \cdot 0,735)} = 2,211 \text{ м}$$

Принимаем $d = 2,2 \text{ м}$

Эквивалентный диаметр частиц $d_{\text{э}} = 0,00135 \text{ м}$.

Число Re:

$$Re = \frac{w \cdot r_{CP} \cdot d_{\text{э}}}{m_{CP}}$$

$$Re = 0,735 \cdot 0,952 \cdot 0,00135 / 0,00002177 = 43,39$$

Число Ar:

$$Ar = \frac{d_{\text{э}}^3 \cdot r_{CP} \cdot g \cdot r_{II}}{m_{CP}^2}$$

$$Ar = 0,00135^3 \cdot 0,952 \cdot 9,81 \cdot 1500 / 0,00002177^2 = 72724,7$$

Тогда порозность псевдооживленного слоя при рабочей скорости сушильного агента:

$$e = \left[(18 \cdot Re + 0,36 Re^2) / Ar \right]^{0,21}$$

$$\epsilon = \left[(18 \cdot 43,39 + 0,36 \cdot 43,39^2) / 72724,7 \right]^{0,21} = 0,44$$

Коэффициент диффузии водяных паров в воздухе:

$$D = D_{20} \cdot \left[(T_0 + t_{CP}) / T_0 \right]^{1,5}$$

где D_{20} - коэффициент диффузии водяных паров в воздухе при 20 С.

Определяем по таблице: $D_{20} = 0,0000219$

Тогда $D = 0,0000219 \cdot ((291 + 86,5) / 291)^{1,5} = 0,0000324$

Диффузионный критерий Прандтля:

$$Pr_y = \frac{m_{CP}}{r_{CP} \cdot D}$$

$$Pr_y = 0,00002177 / (0,952 \cdot 0,0000324) = 0,706$$

Диффузионный критерий Нуссельта:

$$Nu_y = 2 + 0,51 \cdot Re^{0,52} \cdot Pr_y^{0,33}$$

$$Nu_y = 2 + 0,51 \cdot 43,39^{0,52} \cdot 0,706^{0,33} = 5,229$$

Коэффициент массоотдачи:

$$\beta_y = D / d_{\text{э}} \cdot Nu_y = 0,0000324 / 0,00135 \cdot 5,229 = 0,125$$

Высоту псевдооживленного слоя найдем из выражения:

$$\frac{x^* - x_2}{x^* - x_0} = e^{-((b_y / w \cdot r_{CP}) \cdot 6 \cdot (1-e) \cdot h) / d_{\text{э}}}$$

где x^* - равновесное влагосодержание воздуха.

По h-d диаграмме найдем $x^* = 0,038 \text{ кг/кг}$

$$h = - \frac{w \cdot r_{CP} \cdot d_{\text{э}} \cdot \ln \frac{x^* - x_2}{x^* - x_0}}{6 \cdot b_y \cdot (1-e)}$$

$$h = - (0,735 \cdot 0,952 \cdot 0,00135 \cdot \ln((0,038 - 0,027) / (0,038 - 0,01))) / (6 \cdot 0,125 \cdot (1 - 0,44)) = 0,0021 \text{ кг/с} \cdot \text{м}$$

На основании опыта эксплуатации аппаратов с псевдооживленным слоем установлено, что высота псевдооживленного слоя $H_{сл} = 80d_0$, где d_0 - диаметр отверстий распределительной решетки. Диаметр d_0 выбирается из ряда по ГОСТ 6636-69.

Принимаем $d_0 = 2$ мм

Тогда $H = 80 \cdot 2 = 160$ мм = 0,16 м

Тогда число отверстий в распределительной решетке n :

$$n = \frac{4 \cdot H \cdot d \cdot F_c}{p \cdot d_0^2}$$

где d - диаметр аппарата, $d = 2,2$ м

F_c - доля живого сечения решетки, $F_c = 0,02 - 0,1$;

$F_c = 0,05$

$n = 4 \cdot 0,16 \cdot 2,2 \cdot 0,05 / (3,14 \cdot 0,002^2) = 5606$ шт.

Отверстия в распределительной решетке располагаем по углам равносторонних треугольников, а поперечный шаг t' и продольный шаг t'' будут найдены как:

$t' = 0,95 \cdot d_0 \cdot F_c^{-0,5} = 0,95 \cdot 0,002 \cdot 0,05^{-0,5} = 0,0085$ м = 8,5 мм

$t'' = 0,86 \cdot t' = 0,86 \cdot 0,0085 = 0,0073$ м = 7,3 мм

Высота сепарационного пространства сушилки:

$H_{сеп} = (4 \div 6) \cdot H_{сл} = 5 \cdot 0,16 = 0,8$ м

Общая высота:

$H_{общ} = H + H_{сеп} = 160 + 800 = 960$ мм = 0,96 м

Объем псевдооживленного слоя:

$V_{сл} = W / A$, где A - объемное напряжение сушилок, $A = 0,121$ кг/м³·с

Тогда $V_{сл} = 0,04574 / 0,121 = 0,378$ м³

Высота псевдооживленного слоя:

$$H = V_{сл} / (0,785 \cdot d^2) = 0,378 / (0,785 \cdot 2,2^2) = 0,099$$
 м

Расхождение с ранее полученным $H = 0,16$ м велико.

Принимаем $d_0 = H / 80 = 0,099 / 80 = 0,0012$ м = 1,2 мм

Тогда $H = 80 \cdot d_0 = 80 \cdot 1,2 = 96$ мм = 0,096 м

Количество отверстий в распределительной решетке:

$n = 4 \cdot 0,096 \cdot 2,2 \cdot 0,05 / (3,14 \cdot 0,0012^2) = 9342$ шт.

$t' = 0,95 \cdot d_0 \cdot F_c^{-0,5} = 0,95 \cdot 0,0012 \cdot 0,05^{-0,5} = 0,0051$ м = 5,1 мм

$t'' = 0,86 \cdot t' = 0,86 \cdot 0,0051 = 0,0044$ м = 4,4 мм

Высота сепарационного пространства сушилки:

$H_{сеп} = (4 \div 6) \cdot H_{сл} = 5 \cdot 0,096 = 0,48$ м = 480 мм

Общая высота:

$H_{общ} = H + H_{сеп} = 96 + 480 = 576$ мм = 0,576 м

Объем псевдооживленного слоя:

$V_{сл} = W / A$, где A - объемное напряжение сушилок, $A = 0,121$ кг/м³·с

Тогда $V_{сл} = 0,04574 / 0,121 = 0,378$ м³

Высота псевдооживленного слоя:

$$H = V_{сл} / (0,785 \cdot d^2) = 0,378 / (0,785 \cdot 2,2^2) = 0,099$$
 м

Расхождение с ранее полученным $H = 0,096$ м не велико.

Гидравлическое сопротивление сушилки:

$$\Delta P = \Delta P_{пс} + \Delta P_{р}$$

где $\Delta P_{р}$ - гидравлическое сопротивление решетки,

$\Delta P_{пс}$ - гидравлическое сопротивление псевдоожиженного слоя.

$$\Delta P_{пс} = r_{п} \cdot (1 - e) \cdot g \cdot H_{сл}$$

$$\Delta P_{пс} = 1500 \cdot (1 - 0,44) \cdot 9,81 \cdot 0,096 = 791,1 \text{ Па}$$

$$\Delta P_p = \xi \cdot \left(\frac{w}{F_c} \right)^2 \cdot \frac{r_{сг}}{2}$$

где ξ - коэффициент сопротивления решетки, $\xi = 1,5 - 1,75$. Примем $\xi = 1,7$

$$\text{Тогда } \Delta P_p = 1,7 \cdot (0,735 / 0,05)^2 \cdot 0,952 / 2 = 174,86 \text{ Па}$$

$$\Delta P = 791,1 + 174,86 = 965,96 \text{ Па}$$

Минимальное допустимое гидравлическое сопротивление решетки:

$$\Delta P_{MIN} = \Delta P_{пс} \cdot \frac{K_w^2 \cdot (e - e_0)}{(K_w^2 - 1) \cdot (1 - e_0)}$$

где e_0 - порозность неподвижного слоя, $e_0 = 0,4$

$$\Delta P_{min} = 791,1 \cdot 2,5^2 \cdot (0,44 - 0,4) / ((2,5^2 - 1) \cdot (1 - 0,4)) = 62,79 \text{ Па}$$

Так как $\Delta P_p = 174,86 > \Delta P_{min} = 62,79 \text{ Па}$, то расчет окончен.