





$I_0$  – энтальпия свежего воздуха, кДж/кг;

$i_{cr} = c_{cr}t_{cr}$  – энтальпия сухих газов, кДж/кг;

$c_{cr} = 1,05$  кДж/(кг·К) – теплоемкость сухих газов;

$t_{cr} = 300$  °С – температура сухих газов;

$x_0$  – влагосодержание свежего воздуха, кг/кг сухого воздуха, при температуре  $t_0 = 18$  °С и относительной влажности  $\varphi_0 = 72$  %;

$i_{п} = r_0 + c_{п}t_{п}$  – энтальпия водяных паров, кДж/кг;

$r_0$  – теплота испарения воды при температуре 0 °С, равная 2500 кДж/кг;

$c_{п} = 1,97$  кДж/(кг·К) – средняя теплоемкость водяных паров;

$t_{п}$  – температура водяных паров,  $t_{п} = t_{cr} = t_1 = 300$  °С.

Из этих двух уравнений

$$\alpha = \frac{Q\eta + c_{tr}t_{tr} - i_{cr} \left(1 - \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n\right) - i_{п} \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n}{L_0 (i_{cr} + i_{п} x_0 - I_0)}$$

Пересчитаем содержание компонентов топлива, при сгорании которых образуется вода, из объемных долей в массовые:

$$CH_4 = \frac{0,920 \times 16 \times 273}{22,4 \times 0,652 \times (273 + 20)} = 0,9390$$

$$C_2H_6 = \frac{0,005 \times 30 \times 273}{22,4 \times 0,652 \times (273 + 20)} = 0,0096$$

$$H_2 = \frac{0,050 \times 2 \times 273}{22,4 \times 0,652 \times (273 + 20)} = 0,0064$$

Количество влаги, выделяющейся при сгорании 1 кг топлива, равно

$$\sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n = \frac{9 \times 4}{12 \times 1 + 4} \times 0,939 + \frac{9 \times 6}{12 \times 2 + 6} \times 0,0096 + \frac{9 \times 4}{12 \times 0 + 2} \times 0,0064 = 2,19 \text{ кг/кг}$$

Коэффициент избытка воздуха

$$\alpha = \frac{51945 \times 0,95 + 1,34 \times 20 - 1,05 \times 300 \times (1 - 2,19) - (2500 + 1,97 \times 300) \times 2,19}{17,68 \times [1,05 \times 300 + (2500 + 1,97 \times 300) \times 0,0092 - 41,9]} = 8,06$$

Общая удельная масса сухих газов, получаемая при сжигании 1 кг топлива и разбавлении топочных газов воздухом до температуры смеси 300 °С, равна:

$$c_{cr} = 1 + \alpha L_0 - \sum \frac{9n}{12m+n} C_m H_n$$

							5

$q_{\text{доп}}$  – удельный дополнительный подвод тепла в сушилку, при работе по нормальному сушильному варианту  $q_{\text{доп}} = 0$  кДж/кг;

$q_{\text{м}}$  – удельный расход тепла в сушильном барабане с высушиваемым материалом

$$q_{\text{м}} := \frac{G_{\text{м}}}{W} \cdot c_{\text{м}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}})$$

$t_{\text{к}}$  – температура высушенного материала на выходе из сушилки; при испарении поверхностной влаги принимается приблизительно равной температуре мокрого термометра при соответствующих параметрах сушильного агента. принимая процесс сушки адиабатическим, находим по I – x диаграмме [2, рис. X.2] по начальным параметрам сушильного агента ( $I_1 = 392$  кДж/кг,  $x_1 = 0.0248$  кг/кг)

$$t_{\text{к}} := 57 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$q_{\text{м}} = \frac{7,000}{1,505} \times 1.16 (57 - 15) = 226.6 \text{ кДж/кг}$$

$q_{\text{п}}$  – удельные потери тепла в окружающую среду. Принимаем 1% от тепла, затрачиваемого на испарение 1 кг влаги при 20 °С.

$$q_{\text{п}} := 0.01 \cdot r_{\text{вл}}$$

$r_{\text{вл}}$  – теплота испарения воды при 20 °С,  $r_{\text{вл}} = 583 \times 4190 = 2443$  кДж/кг [3, прил. XII]

$$q_{\text{п}} = 0,01 \times 2443 = 24,42 \text{ кДж/кг}$$

Тогда уравнение внутреннего теплового баланса

$$\Delta = 4,186 \times 15 + 0 - (0 + 226.6 + 24.42) = -188 \text{ кДж/кг влаги}$$

Уравнение рабочей линии сушки

$$\Delta = \frac{I - I_1}{x - x_1}$$

Откуда

$$I = I_1 + \Delta (x - x_1) = 392 - 188 \times (x - 0.0248)$$

Для построения рабочей линии на диаграмме необходимо знать как минимум две точки. Одна – параметры сушильного агента на входе в сушилку. Для определения координат второй точки зададимся произвольным значением  $x$  и определим значение  $I$ . Пусть  $x = 0,15$  кг влаги / кг сухого воздуха. Тогда

		N				7

$$\beta_v = 1.6 \times 10^{-2} \frac{(\omega \rho_{cp})^{0,9} n^{0,7} \beta^{0,54} P_0}{c_{cp} \rho_{cp} (P_0 - p_{cp})}$$

где  $\omega$  – рабочая скорость сушильного агента в барабане для частиц диаметром 1÷4 и плотности 1480 кг/м<sup>3</sup> принимаем согласно [2, табл. X.1]  $\omega = 5$  м/с;

$n$  – частота вращения барабана, принимаем  $n = 6$  об/мин

$\beta$  – степень заполнения барабана материалом, для подъемно-лопастных пере-валочных устройств  $\beta = 14$  % [2, рис. X.3];

$c_{cp}$  – средняя теплоемкость сушильного агента,  $c_{cp} = 1$  кДж/(кг × К) [2, стр. 165];

$\rho_{cp}$  – средняя плотность сушильного агента, практически соответствует плотности воздуха при этой температуре

$$\rho_{cp} := \frac{M_{св}}{v_0} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_{cp}}$$

где  $M_{св}$  – мольная масса сухого воздуха,  $M_{св} = 29$  кг/кмоль [2, стр. 166];

$v_0$  – мольный объем газа при нормальных условиях,  $v_0 = 22,4$  м<sup>3</sup>/кмоль;

$T_0$  – температура 0 °С, выраженная в кельвинах,  $T_0 = 273$  К.

$t_{cp}$  – средняя температура сушильного агента в барабане

$$t_{cp} = \frac{t_n + t_k}{2} = \frac{300 + 100}{2} = 200 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\rho_{cp} = \frac{29}{22,4} \frac{273}{273 + 200} = 0,7472 \text{ кг/м}^3$$

Среднее парциальное давление водяных паров в сушильном барабане

$$p_{cp} := \frac{p_1 + p_2}{2}$$

$$p_1 := \frac{\frac{x_1}{M_B} \cdot P_0}{\frac{1}{M_{св}} + \frac{x_1}{M_B}}$$

$$p_2 := \frac{\frac{x_2}{M_B} \cdot P_0}{\frac{1}{M_{св}} + \frac{x_2}{M_B}}$$

где  $M_B$  – мольная масса влаги, для паров воды  $M_B = 18$  кг/кмоль;

$P_0$  – давление в сушильном барабане,  $P_0 = P_{атм} = 101325$  Па.

		N				9

$$\Delta P_{cp} := \frac{\Delta P_{\delta} - \Delta P_M}{\ln\left(\frac{\Delta P_{\delta}}{\Delta P_M}\right)} = \frac{15095 - 2895}{\ln(15096/2895)} = 7388 \text{ Па}$$

Средняя движущая сила массопередачи

$$\Delta x_{cp} := \frac{\Delta P_{cp} \cdot M_B}{P_0 \cdot v_0 \cdot \frac{T_0 + t_{cp}}{T_0}} = \frac{7388 \times 18}{101325 \times 22.4 \times \frac{273 + 200}{273}} = 0,03382 \text{ кг/м}^3$$

Итого коэффициент массоотдачи

$$\beta_v = 1.6 \times 10^{-2} \frac{(6 \times 0,7472)^{0,9} \times 6^{0,7} \times 14^{0,54} \times 101325}{1 \times 0,7472 \times (101325 - 10439)} = 1,1394 \text{ 1/с}$$

$$K_v = \beta_v = 1,1394 \text{ 1/с}$$

Объем сушильного пространства

$$V_c = \frac{1,505}{1,1394 \times 0,03382} = 39.06 \text{ м}^3$$

Объем сушильного пространства, необходимый для прогрева влажного материала

$$V_{II} := \frac{Q_{II}}{K \cdot \Delta t_{cp}}$$

где  $Q_{II}$  – расход тепла на прогрев материала до температуры  $t_{M1}$

$$Q_{II} := G_M \cdot c_M \cdot (t_{M1} - t_H) = 7 \times 1,16 \times (57 - 15) = 341 \text{ кДж/с}$$

$K$  – объемный коэффициент теплоотдачи [2, ф-ла X.23]

$$K = 16 (\omega \rho_{cp})^{0,9} n^{0,7} \beta^{0,54} = (6 \times 0,7472)^{0,9} \times 6^{0,7} \times 14^{0,54} = 764 \text{ Вт / (м}^3 \times \text{К)}$$

Температура, до которой охладится сушильный агент, определяется из теплового баланса

$$Q_{II} = L_{сг} \cdot (1 + x_1) \cdot c_r \cdot (t_1 - t_x)$$

Откуда

$$t_x := t_1 - \frac{Q_{II}}{L_{сг} \cdot c_r \cdot (1 + x_1)} = 300 - \frac{341}{15,02 \times 1,05 \times (1 + 0,0248)} = 279 \text{ }^\circ\text{C}$$

Средняя разность температур

		N			11



$\Delta p_{\text{вс}}$  и  $\Delta p_{\text{н}}$  – потери давления во всасывающей и нагнетательной линиях, Па;

$\omega$  – скорость воздуха на выходе из сети, м/сек;

$p_{\text{ст.н.}}$  и  $p_{\text{ст.вс.}}$  – статические давления непосредственно нагнетания и всаса, Па;

$\omega_{\text{н}}$  и  $\omega_{\text{вс}}$  – скорости воздуха в нагнет. и всасывающем трубопроводах, м/сек;

$\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Принимаем одинаковые скорости для нагнетающего и всасывающего трубопроводов (могут быть достигнуты подбором диаметров трубопроводов). Тогда

$$\omega_{\text{н}} = \omega_{\text{вс}}$$

Соответственно

$$\Delta p = p_{\text{ст.н.}} - p_{\text{ст.вс.}}$$

Принимаем

$$p_{\text{ст.н.}} = 0,005 \text{ МПа}$$

Поскольку забор воздуха ведется из атмосферы, то

$$p_{\text{ст.вс.}} = 0 \text{ МПа}$$

Тогда

$$\Delta p = 0,05 - 0 = 0,005 \text{ МПа} = 5000 \text{ Па}$$

Мощность, расходуемая вентилятором, определяется по формуле [6, ф-ла 2.11]

$$N = \frac{G \Delta p}{1000 \eta}$$

где  $G = L / \rho$  – производительность вентилятора, м<sup>3</sup>/с;

$\rho$  – плотность воздуха,  $\rho = 1.293 \text{ кг/м}^3$  [4, табл. IV];

$\eta$  – общий КПД вентиляторной установки, принимаем  $\eta = 0,8$

Итого

$$G = 13,0 / 1,293 = 10,1 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$N = \frac{10,1 \times 5000}{1000 \times 0,8} = 63,2 \text{ кВт}$$

Из справочных источников выбираем вентилятор В-Ц14-46-8К-02 производительностью  $G = 11,95 \text{ м}^3/\text{с}$  [2, табл. I.8].

						15
		N				



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Розанов Т. И. Промышленные схемы сушки сыпучих материалов, М.: Химия, 1976. – 240 с.
2. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / под ред. Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1983. – 272 с.
3. Плановский А. Н., Рамм В. М., Соломон З. К. Процессы и аппараты химической технологии, М.: Химия, 1967. – 848 с.
4. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии, М.: «Химия», 1970. – 624 с.

		N				17