

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
(ННГАСУ)

Кафедра «Теплогазоснабжение»

Методические указания

Расчёт режима сушки керамических изделий продуктами сгорания природного газа

По дисциплине

«Энергосбережение в теплоэнергетике и технологиях»

г. Нижний Новгород

2014

УДК 620.9

Методические указания для студентов обучающихся по направлениям 140100.62 «Теплоэнергетика и теплотехника» и 270800.62 «Строительство» .

В методических указаниях «Расчёт режима сушки керамических изделий продуктами сгорания природного газа» приведен пример расчета сушилки для сушки керамических кирпичей. Методические указания рекомендуются студентам обучающимся по направлениям 140100.62 «Теплоэнергетика и теплотехника» профиль Промышленная теплоэнергетика и 270800.62 «Строительство» . профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Библиография; назв. 3.рис. .табл. 2

Составили Пузиков Н.Т.

Болдин С.В.

## Введение

В области внедрения энергосберегающих технологий имеются крупные резервы. Эффективность использования теплоты в промышленных установках можно значительно повысить, причем капиталовложений для этого требуется существенно меньше в сравнении с потреблением эквивалентного количества топлива.

Использование теплоты продуктов сгорания природного газа настолько разнообразно, что его необходимо рассматривать а прямой связи с технологическим процессом конкретного промышленного производства. В частных случаях вторичное тепло может быть использовано непосредственно для других видов технологического оборудования, например, подача продуктов сгорания высокотемпературных печей к среднетемпературным нагревательным печам или использование тепла продуктов сгорания непосредственно в сушильных установках.

Теоретические основы сушки изделий подробно рассмотрены в [1-3], в данных методических указаниях приведен пример расчета сушки огнеупорных изделий

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Исходные данные.....	4
2. Расчет продолжительности сушки.....	7
3. Расчет конструктивных размеров тоннеля.....	8
4. Расчет горения природного газа.....	9
5. Расчет тепловых потерь в сушилке.....	11
6. Расчет топки.....	16
7. Данные для подбора вентиляторов.....	16
8. Список использованной литературы.....	17

## 1. Исходные данные

1. Теплоноситель – дымовые газы (разбавленные воздухом продукты сгорания природного газа)
2. Топливо – природный газ.(выбирается из табл 1)
3. Температура теплоносителя – 120° С.
4. Производительность сушильной установки –тыс. шт./сут.(выбирается из табл 2)
5. Место эксплуатации сушильной установки – г Нижний Новгород.
6. Температура кирпича-сырца перед помещением в сушилку – 35°С.
7. Размер кирпича – 250x120x65 мм.
8. Влажность кирпича  $\omega_n = 22,7\%$ ;  $\omega_k = 2,4\%$ ;  $\omega_{кр} = 15\%$ ;
9. Количество вагонеток в сушильной установке –.(выбирается из табл 2)
10. Объемная масса кирпича - .(выбирается из табл 2) 1700 кг/м<sup>3</sup>

### Состав природного газа

Таблица 1

Состав газа,% по объему							
№ варианта	Метан	Этан	Пропан	Бутан	Пентан	СО <sub>2</sub>	Азот N <sub>2</sub>
1	95,1	2,3	0,7	0,4	0,8	0,2	0,5
2	86,9	6,0	1,6	1,0	0,5	1,2	2,8
3	98,7	0,33	0,12	0,04	0,01	0,1	0,7
4	85,0	4,9	1,6	0,75	0,55	0,6	1,3
5	80,8	8,8	3,9	1,8	0,4	0,8	3,5
6	98,3	0,45	0,25	0,3	0,1	0,1	0,5
7	93,3	4,0	0,6	0,4	0,3	0,1	1,3
8	89,4	6,0	2,0	0,8	0,4	1,0	0,5
9	97,64	0,1	0,01	0,1	0,1	0,3	1,15
10	82,7	6,0	3,0	1,0	0,2	0,1	8,0
11	86,4	1,0	2,3	0,8	0,2	2,5	0,8
12	80,9	1,0	2,9	0,8	4,5	3,3	0,6
13	83,6	8,4	2,6	0,6	0,2	4,4	0,2
14	94,7	2,0	0,3	0,2	0,1	1,5	1,2
15	92,6	3,4	2,2	1,4	0,3	-	0,1
16	93,0	2,8	1,8	0,8	0,1	1,3	0,2
17	94,6	2,4	1,0	0,6	0,1	0,2	1,1
18	90,5	3,8	1,2	0,3	0,1	3,5	0,5
19	78,0	16,0	1,7	0,8	0,4	2,5	0,6
20	86,7	3,5	3,0	2,2	2,0	2,0	0,6
21	77,1	8,0	4,1	2,0	1,5	1,2	0,1
22	69,1	11,3	3,3	1,7	8,6	3,3	2,7

23	98,5	0,2	0,4	0,2	0,1	0,4	0,2
24	88,1	1,5	6,6	0,2	0,06	3,5	0,04
25	90,5	3,8	1,2	0,3	0,1	3,5	0,5
26	98,5	0,6	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1
27	92,8	3,9	1,1	0,4	0,1	1,6	0,1
28	91,4	4,1	1,9	0,6	-	0,2	0,7
29	93,8	3,6	0,7	0,2	0,4	0,8	0,6
30	94,2	2,5	0,4	0,2	0,1	2,6	-
31	95,1	2,3	0,7	0,4	0,8	0,2	0,5
32	86,9	6,0	1,6	1,0	0,5	1,2	2,8
33	98,7	0,33	0,12	0,12	0,04	0,01	0,1
34	85,0	4,9	1,6	0,15	0,55	0,6	1,3
35	80,8	8,8	3,9	1,8	0,4	0,8	3,5
36	98,3	0,45	0,25	0,3	0,1	0,1	0,5

Таблица 2

Вариант	Производительность сушилки ,тыс.шт/сутки	Объемная масса $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Кол-во вагонеток шт
1	70	1700	15
2	50	1650	16
3	60	1600	14
4	40	1650	18
5	30	1170	13
6	20	1450	17
7	13	1600	14
8	25	1640	15
9	23	1700	21
10	36	1650	14
11	32	1430	18
12	43	1630	15

## 2. Расчет продолжительности сушки

Сушилка предназначена для сушки кирпича-сырца. Теплоносителем является горячий воздух с  $t_n=120^\circ\text{C}$ . В сушилке применяется рециркуляция воздуха в зале усадки материала.

Влажность сырца на сухой вес начальная  $W_n=22,7\%$ , конечная  $W_k=2,4\%$ , усадка материала прекращается при  $W_{кр}=15\%$ . Размер кирпича  $250\times 120\times 65$  мм.

Вес одной штуки одного абсолютно сухого кирпича – м кг. Кирпич-сырец поступает в сушильную камеру, прогретую до  $\theta_k=35^\circ\text{C}$ .

Средняя допустимая скорость сушилки в период усадки, устанавливается экспериментально  $g_m^1 = 0,28 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} * \text{ч}$ . Средняя скорость сушилки во второй период  $g_m^2 = 0,38 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} * \text{ч}$ . Скорость сушильного аппарата применять в первом периоде 3 м/с, во втором – 1,5 м/с.

Продолжительность сушки кирпича в периоде усадки материала, час:

$$\tau_1 = \frac{G(W_n - W_{кр})}{100 * S * g_m^1}$$

где, G – вес абсолютно сухого кирпича, кг;

$W_n$  – начальная влажность, %;

$W_{кр}$  – влажность, соответствующая концу усадки, %;

$g_m^1$  – допустимая скорость сушки,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} * \text{ч}$

S – Общая поверхность кирпича,  $\text{м}^2$ ;

$$S = (0,253*0,123)*2+(0,123*0,068)*2+(0,253+0,068)*2=0,113 \text{ м}^2$$

$$G = \rho * V = 1700*0,25*0,12*0,065=3,31 \text{ кг}$$

$$\tau_1 = \frac{3,15 * (22,7 - 15)}{0,113 * 0,28 * 100} = 7,4 \text{ ч}$$

Продолжительность сушки после усадки материала до конечной влажности:

$$\tau = \frac{G_2(W_{кр}-W_k)}{f * g_m^2 * 100}, \text{ ч}$$

Где  $W_{кр}$  и  $W_k$  – влажность кирпича при входе во вторую зону и конечная влажность кирпича, %;

f – площадь кирпича во втором периоде,  $\text{м}^2$ ;

$$f = 0,1081 \text{ м}^2$$

$$G_2 = 1450 * 0,0019 = 2,755 \text{ кг}$$

$$\tau_2 = \frac{2,755 * (15 - 2,4)}{0,1081 * 0,38 * 100} = 8,46 \text{ ч}$$

Суммарная продолжительность сушки:  $\tau = \tau_1 + \tau_2 = 15,86 \text{ ч}$

### 3. Расчет конструктивных размеров тоннеля

Объем штабелей:

$$E = \frac{n * \tau}{24}, \text{ шт}$$

где  $n$  - суточная производительность,  $\frac{\text{шт}}{\text{сутки}}$ .

Число вагонеток:

$$n = \frac{E}{324}, \text{ шт}$$
$$E = \frac{45000 * 15,86}{24} = 29737,5 \text{ шт}$$
$$n = \frac{29737,5}{324} = 91,78 \text{ шт} \cong 92 \text{ шт}$$

Размер вагонетки:

$l = 2200 \text{ мм}; b = 950 \text{ мм}; h = 1550 \text{ мм}.$

Количество вагонеток в тоннеле – 15 шт.

Емкость одного тоннеля:

$c = 324 * N$ , шт кирпичей

$c = 324 * 15 = 4860$  шт

где 324 – емкость одной вагонетки.

Количество тоннелей:

$$N_T = E/c, \text{ шт.}$$

$$N_T = 29737,5/4860 = 6,2 \approx \text{принимаем } N_T = 7.$$

Длина тоннеля  $L = n * 2,2 + 1 = 15 * 2,2 + 1 = 34 \text{ м}$

Часовая производительность тоннелей:  $P_\tau = \frac{c}{\tau} = \frac{4860}{15,86} = 306,4 \frac{\text{шт}}{\text{ч}}$

Весовая производительность:  $G_{\text{сух}} = P_\tau * G = 306 * 2,755 = 843,03 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$

Количество влаги, испаряемой в тоннеле в течении часа:

в первом периоде:  $W_1 = \frac{G_{\text{сух}}(W_H - W_{\text{кр}})}{100} = 843,03 * \frac{22,7 - 15}{100} = 64,9 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$

во втором периоде:  $W_2 = \frac{G_{\text{сух}}(W_{\text{кр}} - W_K)}{100} = 843,03 * \frac{15 - 2,4}{100} = 106,2 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$

Общее количество испаряемой влаги:  $W_{\text{общ}} = 64,9 + 106,2 = 171,1 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$

Определяем длину первой зоны тоннеля, где подается рециркуляционный воздух. Количество испаряемой влаги в каждой доле принимаем пропорционально длине тоннеля.

Длина тоннеля в первой зоне:  $L_1 = L \frac{W_1}{W_1 + W_2} = 34 * \frac{64,9}{171,1} = 12,89 \text{ м}.$

Сушка производится дымовыми газами, разбавленными воздухом. В точке сжимается природный газ.

#### 4. Расчет горения природного газа.

Теплота сгорания природного газа:

$$Q_H = 358,2 * CH_4 + 632,5 * C_2H_6 + 912,5 * C_3H_8 + 1186 * C_4H_{10} + 1460 * C_5H_{12}, \text{кДж/м}^3$$

$$Q_H = 358,2 * 77,1 + 632,5 * 8,0 + 912,5 * 4,1 + 1186 * 2,0 + 1460 * 1,5 = 40980,47 \text{ кДж/м}^3$$

Теоретически необходимый для горения расход сухого воздуха при влагосодержании d:

$$\alpha_0 = 0,0476 * (2CH_4 + 3,5C_2H_6 + 5C_3H_8 + 6,5C_4H_{10} + 8C_5H_{12}), \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

$$\alpha_0 = 0,0476 * (2 * 77,1 + 3,5 * 8,0 + 5 * 4,1 + 6,5 * 2,0 + 8 * 1,5) = 10,83 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

Количество и состав продуктов сгорания при  $\alpha=1$ :

$$V_{CO_2} = 0,01(CO_2 + CU_4 + 2C_2H_6 + 3C_3H_8 + 4C_4H_{10} + 5C_5H_{12}) \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

$$V_{CO_2} = 0,01(7,2 + 77,1 + 2 * 8 + 3 * 4,1 + 4 * 2 + 5 * 1,5) = 1,281 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

$$V_{H_2O} = 0,01(2CU_2 + 2C_3H_6 + 4C_3H_8 + 5C_4H_{10} + 6C_5H_{12} + 0,16 * d * \alpha_0) \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

d – влагосодержание, d = 8-10 г/кг. с.в – влагосодержание атмосферного воздуха

$$V_{H_2O} = 0,01(2 * 77,1 + 3 * 8 + 4 * 4,1 + 5,2 + 6 * 1,5 + 0,16 * 9 * 10,83) = 2,292 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

$$V_{N_2} = 0,79\alpha_0 + 0,01W_2 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

$$V_{N_2} = 0,79 * 10,83 + 0,01 * 0,1 = 8,561 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

Теплосодержание продуктов сгорания

$$h_{\text{общ}} = \frac{Q_H + C_B * t_B * L_0 + C_r * t_r}{V_0}$$

Где  $C_B$  - теплоемкость воздуха,  $C_B = 1,3 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 * \text{°C}}$

$$C_r = 1,5 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 * \text{°C}}$$

$t_B, t_r$  – температура воздуха и природного газа

$t_B, t_r \approx 20\text{°C}$

$$h_{\text{общ}} = \frac{40980,47 + 1,3 * 20 * 10,83 + 1,5 * 20}{12,134} = 3403 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 * \text{°C}}$$

Определим коэффициент избытка после подмешивания к воздуху горячих продуктов сгорания до температуры смеси  $t_{\text{н}}=120^{\circ}\text{C}$

$$h_{\text{общ}} n_t + \frac{C_B * t_B * X}{V_0} = h_{\text{дым}}^{120} + \frac{X}{V_0} h_B^{120}$$

$$h_{\text{дым}}^{120} = 180 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

$$h_B^{120} = 156 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

$$n_t = 0,9$$

$$3403 * 0,9 + \frac{1,3 * 20 * X}{12,134} = 180 + \frac{X}{12,134} * 150$$

$$X = 268,9 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

Состав разбавленных продуктов сгорания с  $\alpha$ !

$$L_{\alpha}' = L_0 + X = 10,83 + 268,9 = 279,73 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

$$\alpha' = \frac{L_{\alpha}'}{L_0} = \frac{279,73}{10,83} = 25,83$$

$$V_{\text{O}_2}' = 0,21(\alpha' - 1)\alpha_0 = 56,47 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}}' = V_{\text{H}_2\text{O}} + 0,0016 * \alpha(\alpha' - 1)\alpha_0 = 6,164 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

$$V_{\text{N}_2}' = 8,561 + 0,79(25,83-1)*10,83 = 220,99 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

$$V_0' = V_{\text{O}_2}' + V_{\text{H}_2\text{O}}' + V_{\text{CO}_2} + V_{\text{N}_2}' = 284,99 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

*Влагосодержания продуктов сгорания:*

$$d_{\text{н}} = \frac{804 V_{\text{H}_2\text{O}}'}{1,977 * V_{\text{CO}_2} + 1,251 * V_{\text{N}_2}' + 1,429 * V_{\text{O}_2}'} \text{ г/кг. с.в}$$

$$\alpha_{\text{н}} = \frac{804 * 6,164}{1,977 * 1,281 + 1,251 * 220,99 + 1,429 * 56,47} = 13,79 \text{ г/(кг* с.в)}$$

По найденным значениям параметров токсичных газов  $Z_{\text{н}}$  и  $d_{\text{н}}$  находим положение точки В для последующего расчета сушки по  $\text{h-d}$ -диаграмме.

## 5. Расчет тепловых потерь в сушилке

Тепловые потери складываются из следующих величин:

а) Расход тепла на нагрев изделия:

$$q_m = \frac{G_{вл} * C_m * (\theta_2 - \theta_1) \text{ кДж}}{W_{об} \text{ кг}}$$

где  $C_m$  – теплоемкость материала для сушки

$$G_{вл} = G_{сух} \left(1 + \frac{W_k}{100}\right) \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{вл} = 843,03 \left(1 + \frac{2,4}{100}\right) = 863,26 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$\theta_2 - \theta_1$  температура материала соответственно на входе и на выходе из тоннеля

б)

$$\theta_2 = 90 \text{ }^\circ\text{C} \quad \theta_1 = 35 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$q_m = \frac{863,26 * 0,92 * (90 - 35) \text{ кДж}}{171,1 \text{ кг}}$$

Расход тепла на нагрев транспортных устройств

$$q_{тр} = \frac{G'_в * C_b * (\theta''_в - \theta'_п) + G'_р * C_p * (\theta''_р - \theta'_п) \text{ кДж}}{W_{об} \text{ ч}}$$

$$G'_в = \frac{G_b \text{ кг}}{\tau_b \text{ ч}} \quad G'_в = \frac{180}{1,06} = 169,8 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G'_р = \frac{G_p \text{ кг}}{\tau_b \text{ ч}} \quad G'_р = \frac{35}{1,06} = 33,02 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$\tau_b = \frac{\tau}{n} = \frac{15,86}{15} = 1,06 \text{ ч}$$

$G_p=35$  кг- вес деревянных рамок;

$G_b=180$ кг – вес металлических частей вагонетки;

$C_b= 0,12$  ккал/кг\*К – теплоемкость вагонетки,

$C_p= 0,43$  ккал/кг\*К – теплоемкость рамок,

$Q_b'' = 115^\circ\text{C}$  ,  $Q_b' = 15^\circ\text{C}$  – теплоемкость вагонеток на входе и выходе в сушилку

$Q_p'' = 90^\circ\text{C}$   $Q_p' = 15^\circ\text{C}$  – температура рамок на входе и на выходе в сушилку

$$q_{тр} = \frac{169,8 * 0,502 * (115 - 15) + 33,02 * 1,800 * (90 - 15)}{171,1}$$

в) теплопотери через ограждения сушилки:

$$g_o = \frac{\sum Q_o}{W_{об}}$$

$$\sum Q_o = Q_{cb} + Q_{ст} + Q_{пол} + Q_{вх} + Q_{вых}$$

$Q = k \cdot \Delta t \cdot F$ , Дж- количество передаваемой теплоты

Толщина наружной стены тоннеля 380мм ( $\lambda_{кк} = 0,6$  ккал/м<sup>2</sup> \* ч \* К)

Свод тоннеля выполнен из бетонной трубы толщиной 100мм ( $\lambda_{бет} = 0,79$   $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{К}}$ ) и засыпан керамзитовым гравием:  $\square = 120$ мм ( $\lambda_{гр} = 0,2$  ккал/ м<sup>2</sup>\*ч\*К)

Двери сушилок из сосновых досок  $\square = 50$  мм ( $\lambda_{гр} = 0,14$  ккал/ м<sup>2</sup>\*ч\*К)

Через пол теряется 10 Вт на 1 м<sup>2</sup> площади

Температура снаружи сушилки 20 °С

Температура вначале тоннеля 120 °С

Температура в конце тоннеля 45 °С

Средняя температура по длине тоннеля:

$$t = (120 + 45) / 2 = 82,5 \text{ °С}$$

Коэффициент теплопередачи при определении потери тепла в окружающую среду через потолок, стены, пол двери, определяют по формуле:

$$g_{гр} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{l}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}, \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{град},$$

$\alpha_2$  – коэффициент теплопередачи от наружной поверхности в окружающую среду

$$K_{ст} = \frac{1}{\frac{1}{12,58} + \frac{0,38}{0,6} + \frac{1}{8,79}} = 1,21 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{К}} = 1,407 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$K_{св} = \frac{1}{\frac{1}{12,58} + \frac{0,1}{0,79} + \frac{0,12}{0,2} + \frac{1}{9,74}} = 1,1 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{К}} = 1,279 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$K_{дв} = \frac{1}{\frac{1}{12,58} + \frac{0,05}{0,79} + \frac{0,12}{0,14} + \frac{1}{8,79}} = 1,82 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{К}} = 2,117 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$\alpha_1 = 4,82 + 3,45 \cdot \omega = 4,82 + 3,45 \cdot 2,25 = 12,58 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{К}$$

$$\alpha_2' = 8,79 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{К} \text{ – от боковой поверхности}$$

$$\alpha_2 = 8,74 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{К} \text{ – от свода сушилки}$$

$$h = 1,7 \text{ м} \quad b = 1,2 \text{ м}$$

$$\Delta t = \frac{120 + 45}{2} - 20 = 62,5 \text{ °С}$$

$$Q_{CT} = 1,407 * 62,5(1,7 * 34) = 5082,78 \text{ Вт}$$

$$Q_{CT} = 1,279 * 62,5(1,2 * 34) = 3261,45 \text{ Вт}$$

$$Q_{пол} = 10 * (1,2 * 34) = 408 \text{ Вт}$$

$$Q_{дв1} = 2,117 * 100 * (1,7 * 1,2) = 431,9 \text{ Вт}$$

$$Q_{дв2} = 2,117 * 25 * (1,7 * 1,2) = 108,0 \text{ Вт}$$

$$\Sigma Q_o = 9292,13 \text{ Вт}$$

$$g_o = \frac{\Sigma Q_o}{W_{об}} = \frac{9292,13}{171,1} = 54,3 \frac{\text{Вт}}{\text{кг} * \text{с}} = 195,509 \text{ кДж/кг}$$

## Построение процесса сушки на h– d – диаграмме

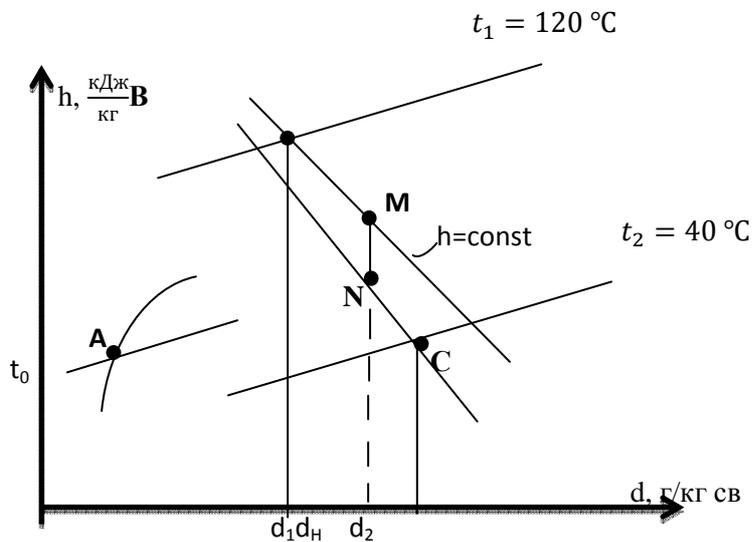


Рис.1 h– d– диаграмма процесса сушки

Внутренний баланс тепла на 1 кг испарённой влаги;

$$\Delta = q_{\text{вл}} - 1,1(q_{\text{м}} + q_{\text{тр}} + q_0), \text{ кДж/кг}$$

Физическое тепло влаги, вводимое в сушилку при температуре  $\theta_1 = 35^\circ$  :

$$q_{\text{вл}} = c_w \cdot \theta_1, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Где  $c_w = 4,19 \text{ кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$

$$MN = \frac{\Delta(d_{\text{м}} - d_1)}{1000}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Расход воздуха на 1 кг испаренной влаги во всей сушилке равен:

$$l = \frac{1000}{d_2 - d_1}, \frac{\text{кг}}{\text{кг влаги}}$$

$$\alpha = l \cdot w_{\text{общ}}, \text{ кг/ч}$$

$$Q = L \cdot (H_{\text{в}} - H_{\text{а}}), \text{ кДж/кг}$$

$$B = \frac{Q}{Q_{\text{н}} \cdot r_{\text{г}}}, \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$q_{\text{вл}} = 4,19 \cdot 35 = 146,65 \text{ кДж/кг}$$

$$\Delta = 146,65 - 1,1 \cdot (255,29 + 75,87 + 195,509) = -432,67 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$MN = \frac{-432,67(30 - 13,79)}{1000} = -7,013 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$H_B = 158 \frac{\text{кДж}}{\text{кг СВ}} = H_M$$

$$H_N = 158 - 7,013 = 151 \frac{\text{кДж}}{\text{кг СВ}}$$

$$l = \frac{1000}{38 - 13,79} = 41,31 \frac{\text{кг}}{\text{кг ВЛ}}$$

$$\alpha = 41,31 \cdot 171,1 = 7068,14 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$Q = 7068,14(158 - (-20)) = 1187447 \text{ кДж/ч}$$

$$B = \frac{1187447}{40980,47 \cdot 0,9} = 32,19 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Общий расход воздуха:

$$L = l \cdot W_{\text{общ}} = 41,31 \cdot 171,1 = 7068,14 \text{ кг/ч}$$

Количество сушильного агента во 2<sup>й</sup> зоне:

$$l_2 = \frac{L}{W_2} = \frac{7068,14}{106,2} = 66,55 \frac{\text{кг}}{\text{кг влаги}}$$

Влагосодержание теплоносителя в конце 1<sup>й</sup> зоны:

$$d'_1 = \frac{1000}{l_2} + d_1 = \frac{1000}{66,55} + 13,79 = 28,81 \frac{\text{г}}{\text{кг СВ}}$$

$$d_{\text{см}} = d''_2 = \frac{d_2 \cdot n + d'_1}{n + 1}; \frac{\text{г}}{\text{кг} \cdot \text{СВ}}$$

где  $n$  – кратность циркуляции

$$d_{\text{см}} = \frac{38 \cdot 2 + 28,81}{2 + 1} = 34,93 \text{ г/кг} \cdot \text{СВ}$$

Сушильный агент в 1<sup>й</sup> зоне:

$$l_1 = \frac{1000}{d_1 - d''_2} = \frac{1000}{38 - 31,93} = 164,74 \frac{\text{кг}}{\text{кг влаги}}$$

$$L_1 = w_1 \cdot l_1 = 64,9 \cdot 164,74 = 10691,62 \text{ кг/ч}$$

## 6. Расчет топки

Объем топки:

$$V_T = \frac{B \cdot Q_H}{q_V}, \text{ м}^3$$

$$V_T = \frac{32,19 \cdot 40980,17}{250} = 1,46 \text{ м}^3$$

$q_V = 250 \text{ кВт/м}^3$  -теплонапряжение топки

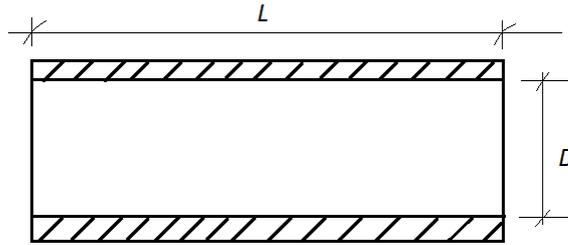


Рис. 2 Схема топки

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_T}{\pi(L/D)}}, \text{ м} - \text{диаметр топки}$$

Где  $L/D = 1,5$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 1,46}{3,14 \cdot 1,5}} = 1,07 \text{ м}$$

## 7. Данные для подбора вентиляторов

$$\rho_{см} = \frac{353 - 0,0013 \cdot \rho_{вл}}{T}, \text{ кг/м}^3$$

где  $\rho_{вл}$  – парциальное давление воздушных паров, Па.

$$V = \frac{1}{\rho_{см}}, \text{ м}^3/\text{кг} - \text{удельный объем теплоносителя}$$

$$V_1 = L \cdot v_1, \text{ м}^3/\text{ч } v_1, \text{ при } t_1 = 120^\circ\text{C}, \varphi_1 \approx 1,0\%$$

$$L_p = L_1 - L, \text{ кг/ч} - \text{ рециркуляционный расход воздуха}$$

$$V_2 = L \cdot v_2, \text{ м}^3/\text{ч } v_2, \text{ при } t_2^1 = 40^\circ\text{C}, \varphi_1 \approx 1,0\% \varphi_2 \approx 52\%$$

$$V_p = L_p \cdot v_3, \text{ м}^3/\text{ч } v_3, \text{ при } t_4^2 = 65^\circ\text{C}, \varphi_2^4 = 15\%$$

40°C

60% - 0,947 м<sup>3</sup>/кг

50% - 0,940 м<sup>3</sup>/кг

$v_2 = 0,941 \text{ м}^3/\text{кг}$

$P_{\text{вл}} = 28 \text{ мм.рт.ст (1,0\%)} = 3724 \text{ Па}$

$P_{\text{вл}} = 25 \text{ мм.рт.ст (15\%)} = 3325 \text{ Па}$

$$\rho_{\text{см}} = \frac{353 - 0,0013 * 3724}{120 + 273} = 0,89 \text{ кг/м}^3$$

$v_1 = \frac{1}{0,89} = 1,12 \text{ м}^3/\text{кг}$

$$\rho_{\text{см}} = \frac{353 - 0,0013 * 3325}{65 + 273} = 1,03 \text{ кг/м}^3$$

$v_1 = \frac{1}{1,03} = 0,97 \text{ м}^3/\text{кг}$

$V_1 = 7068,14 * 1,12 = 7916,31 \text{ м}^3/\text{ч}$

$V_2 = 7068,14 * 0,941 = 6651,1 \text{ м}^3/\text{ч}$

$V_p = L_p * v_3 = 3623,48 * 0,97 = 3514,77 \text{ м}^3/\text{ч}$

$L_p = 10691,62 - 7068,14 = 3623,48 \text{ кг/ч}$

## 8. Список использованных источников

1. Левченко П.В. Расчет печей и сушил силикатной промышленности-Альянс,2007
2. Лебедев П. Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки. Учебник для студентов технических вузов. Изд. 2-е, перераб. М., «Энергия», 1972.

Николай Тимофеевич Пузиков

Сергей Валентинович Болдин

## Расчёт режима сушки керамических изделий продуктами сгорания природного газа

Методические указания рекомендуются студентам обучающимся по направлениям 140100.62 «Теплоэнергетика и теплотехника» профиль Промышленная теплоэнергетика и 270800.62 «Строительство», профиль «Теплогасоснабжение и вентиляция».

Подписано к печати. Бумага газетная. Печать офсетная

Формат 60x90 1/16 Уч.-издат. лист 1,2 Усл.-печ. лист 1

Тираж 120 экз Заказ

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет,  
603600, Н.новгород, ул. Ильинская, 65

Полиграфический центр ННГАСУ Н.Новгород, ул, Ильинская 65