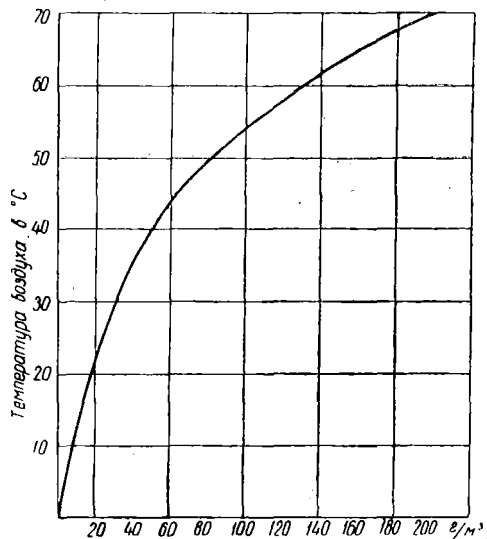


С. Ю. КЕЛЛЕР

К МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ДЛЯ СУШКИ БЛОКОВ И ПАПОВ

Как показала практика, наиболее рациональным способом сушки блоков и папок является сушка сухим воздухом. Но этим методом не всегда достигают нужных результатов. В том случае, когда температура воздуха низкая, например, -20°C , 1 м^3 воздуха может поглотить максимум около 1 г влаги. Такое же положение возможно и в том случае, когда, например, воздух при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ будет иметь степень насыщения около 94% , что наблюдается в дождливую погоду. Если же воздух, имеющий температуру $+20^{\circ}\text{C}$ и степень насыщения $\varphi = 94\%$, нагреть, например, до 60°C , то этим количеством воздуха поглощается более 100 г влаги. Количество предельно возможного поглощения влаги сухим воздухом в зависимости от температуры воздуха видно из графика, представленного на рис.



Предельно возможное поглощение влаги воздухом при данной температуре воздуха.

Следовательно, для того, чтобы влага воздуха не влияла на процесс сушки папок и блоков, в сушильном устройстве необходимо предусмотреть приспособление для подогрева воздуха.

Как показывает практика, наиболее простым способом подогрева воздуха является способ смешения продуктов горения топлива с воздухом, а также способ нагрева воздуха электроприборами.

Ниже приводится методика расчета количества воздуха и топлива или электроэнергии, необходимых для приготовления теплоносителя для сушки папок и блоков.

Исходными данными для расчета приготовления теплоносителя как смеси продуктов горения топлива с воздухом служат следующие параметры:

- 1) t_1 — температура наружного воздуха (в $^{\circ}\text{C}$);
- 2) φ_1 — степень насыщения наружного воздуха;

- 3) t_2 — температура подогретого теплоносителя или воздуха, входящего в сушильное устройство (в °С);
- 4) t_2^1 — температура теплоносителя, выходящего из сушильного устройства (в °С);
- 5) φ_2^1 — степень насыщения теплоносителя после выхода из сушильного устройства.

Учитывая количество папок или блоков n , которые должны быть высушены за один час, и вес влаги a (в кг), которая должна быть удалена из единицы изделия, можно определить количество воздуха, необходимого в один час для поглощения влаги, по следующей формуле:

$$V_0 = \frac{an}{\gamma_2 - \gamma_1} \cdot \text{м}^3/\text{час}, \quad (1)$$

где γ_2 — абсолютная влажность теплоносителя после его выхода из сушильного устройства (в кг/м³);

γ_1 — то же, при входе в сушильное устройство (в кг/м³).

Количество топлива B , которое нужно сжечь в час для подогрева теплоносителя, можно определить, исходя из теплового баланса сушильного устройства, по формуле:

$$BQ_p^H = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (2)$$

где Q_1 — количество тепла, которое теплоноситель уносит при выходе из сушильного устройства и которое определяется по формуле

$$Q_1 = V_0 (t_2^1 - t_1) C'_p \text{ ккал/час}. \quad (3)$$

Здесь C'_p — объемная теплоемкость теплоносителя;

Q_2 — количество тепла, отданное теплоносителем на испарение влаги в сушильном устройстве, которое определится по формуле

$$Q_2 = anr \text{ ккал/час}, \quad (4)$$

где r — скрытая теплота парообразования при t_2^1 (точнее — при парциальном давлении v_2^1);

Q_3 — количество тепла, израсходованного в сушильном устройстве для подогрева влаги, содержащейся в изделиях, которое можно определить из выражения

$$Q_3 = an (t_2^1 - t_1) \text{ ккал/час}. \quad (5)$$

В этой формуле t_2^1 — температура насыщения при γ_2^1 ;

Q_4 — количество тепла, израсходованного на нагрев изделий в сушильном устройстве, определяемое по формуле

$$Q_4 = nGC(t_2^1 - t_1), \quad (6)$$

где G — вес изделия папки или блока (в кг);

C — теплоемкость изделия;

Q_5 — количество тепла, потерянного в подогревательном устройстве. Этот показатель можно найти по формуле

$$Q_5 = \eta_2 B Q_p^H. \quad (7)$$

Здесь η_2 — коэффициент, учитывающий потери тепла;

$Q_6 - \eta_2 B Q_p^H$ — потери в сушильном устройстве.

Следовательно, тепловой баланс сушильной установки выразится уравнением

$$BQ_p^H = V_0 C'_{p'} (t_2^1 - t_1) + anr + an(t_2^1 - t_1) + nGC(t_2^1 - t_1) + \eta_1 BQ_p^H + \eta_2 BQ_p^H. \quad (8)$$

В уравнении (8) имеется четыре неизвестных B , Q_p^H , V_0 , η_1 . Здесь Q_p^H — теплотворная способность топлива, определяемая по формуле Менделеева

$$Q_p^H = 81 C_p + 246 H_p - 26 (Q_p - S_p) - 6 W_p. \quad (9)$$

Коэффициент, учитывающий потери тепла в сушильном устройстве η_1 , можно принять в среднем равным 10%, т. е. $\eta_1 = 0,10$.

Для определения третьего неизвестного — объема теплоносителя V_0 $\text{м}^3/\text{час}$ необходимо написать еще одно уравнение, представляющее собой тепловой баланс устройства, приготавливающего теплоноситель

$$BQ_p^H = V_0 C'_{p(1)} (t_2 - t_1) + \eta_2 BQ_p^H, \quad (10)$$

где η_2 — коэффициент, который учитывает потери тепла устройством, подготавливающим теплоноситель, равный $0,5 \eta_1$.

Уравнение (10) дает возможность исключить третье неизвестное из уравнения (8) и, таким образом, привести уравнение (8) к одному неизвестному (количеству топлива).

Количество теплоносителя для сушки найдем из уравнения

$$V_0 = \frac{BQ_p^H (1 - \eta_2)}{C'_{p(1)} (t_2 - t_1)}. \quad (11)$$

Уравнения (8) и (11) дают возможность написать уравнение теплового баланса, приведенное к одному неизвестному. Приняв $C'_{p'} = C'_{p(1)}$, получим

$$BQ_p^H \left[1 - \eta_1 - \eta_2 - (1 - \eta_2) \frac{t_2^1 - t_1}{t_2 - t_1} \right] = anr + an(t_2^1 - t_1) + nGC(t_2^1 - t_1) \quad (12)$$

По уравнению (12) определяем часовой расход топлива на приготовление теплоносителя

$$B = \frac{anr + an(t_2^1 - t_1) + nGC(t_2^1 - t_1)}{\left[1 - \eta_1 - \eta_2 - (1 - \eta_2) \frac{t_2^1 - t_1}{t_2 - t_1} \right] Q_p^H}. \quad (13)$$

В том случае, когда теплоноситель готовится электронагревом, с помощью уравнения (13) найдем количество тепла Q , которое нужно получить от электронагревателя для приготовления теплоносителя по уравнению

$$Q = \frac{anr + an(t_2^1 - t_1) + nGC(t_2^1 - t_1)}{1 - \eta_1 - \eta_2 - (1 - \eta_2) \frac{t_2^1 - t_1}{t_2 - t_1}}. \quad (14)$$

Если принять средние значения температур $t_1 = 15^\circ\text{C}$; $t_2 = 40^\circ\text{C}$, $t_2 = 80^\circ\text{C}$ и $\eta_1 = 0,10$; $\eta_2 = 0,05$ и подставить в уравнение (14), получим выражение для определения среднего расхода топлива или тепловой энергии для подготовки теплоносителя

$$B = 2 \frac{n [ar + (a + 1C) 25]}{Q_p''} \quad (15)$$

Расход тепла для приготовления теплоносителя определится из формулы

$$Q = 2 n [ar + (a + GC) 25]. \quad (16)$$

Фактическую абсолютную влажность теплоносителя после выхода из сушильного устройства найдем по формуле

$$\gamma_2 = \frac{an}{V_0} + \gamma_1. \quad (17)$$

Степень насыщения теплоносителя после сушки будет равна

$$\varphi_2 = \frac{\gamma_2}{\gamma_{2n}^1}, \quad (18)$$

где $\gamma_{2n}^1 = 0,05115 \text{ кг/м}^3$ (для $t_2 = 40^\circ\text{C}$).

Тепловой баланс сушильного устройства в процентах выразится формулой

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 = 100, \quad (19)$$

где

$$q_n = \frac{Q_n}{BQ_p''} \cdot 100. \quad (20)$$

Причем Q_n и q_n соответственно имеют значения:

q_1 — процент тепла, унесенного теплоносителем от нагрева;

q_2 — процент тепла, затраченного на испарение влаги;

q_3 — процент тепла, израсходованного для подогрева влаги изделия;

q_4 — процент тепла, затраченного на нагрев изделия;

q_5 — потери в подогревательном устройстве;

q_6 — процент тепла, потерянного в окружающую среду в сушильном устройстве.

Как показывают расчеты, воздуха расходуется только около 25% в том случае, когда он только поглощает влагу и не отдает своего тепла на нагревание изделия.

ПРИМЕР РАСЧЕТА РАСХОДА ТОПЛИВА И КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ДЛЯ СУШКИ ПАПОК

Приняты следующие исходные данные:

1. Количество коленкорových папок № 7, подлежащих сушке в сушильном устройстве, $n = 8000$ штук в час.

2. Вес влаги в одной папке $a = 8$ г.
3. Вес одной высушенной папки $G = 75$ г.
4. Начальная температура теплоносителя, входящего в сушильное устройство, $t_2 = 80^\circ\text{C}$.
5. Температура теплоносителя, выходящего из сушильного устройства, $t_2 = 40^\circ\text{C}$.
6. Степень насыщения теплоносителя при этой температуре $\varphi = 80\%$.
7. Начальная температура воздуха, поступающего в топку, $t_1 = 15^\circ\text{C}$.
8. Степень насыщения воздуха при этой температуре $\varphi_1 = 50\%$.
9. Теплоемкость материала папки равна $0,65$ ккал/кг град.
10. Потери тепла в сушильном устройстве в среднем равны $\eta_2 = 10\%$ от общего количества.
11. Потери в устройстве, подготовляющем теплоноситель, $\eta_1 = 0,5$.
12. Элементарный состав рабочей массы топлива (каменного угля)

$C_p = 73\%$	$O_p = 5\%$
$H_p = 6\%$	$W_p = 5\%$
$S_p = 4\%$	$A_p = 5\%$
$N_b = 2\%$	

Итого 100%

Решение

Определим количество воздуха и продуктов сгорания при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,2$.

1. $V_0 \text{ возд.} = 0,089 C + 0,266 H + 0,033 (S - O) = 0,089 \cdot 73 + 0,266 \cdot 6 + 0,033 (4 - 5) = 8,06 \text{ нм}^3/\text{кг топл.}$
- а) $V''_0 \text{ возд.} = V''_0 \text{ возд.} \cdot \alpha = 8,06 \cdot 1,2 = 9,672 \text{ нм}^3/\text{кг топл.}$
2. $V_{0\text{H}_2\text{O}} = 0,112 \cdot 6 + 0,0124 \cdot 5 + 0,001 \cdot 8,06 \cdot 1,2 \cdot 10 = 0,831 \text{ нм}^3/\text{кг топл.}$
3. $V_{0\text{N}_2} = 0,79 \cdot 8,06 \cdot 1,2 + 0,008 \cdot 2 = 7,657 \text{ нм}^3/\text{кг топл.}$
4. $V_{0\text{CO}_2} = 0,01866 (C + 0,368 S) = 0,01866 (73 + 0,368 \cdot 4) = 1,389 \text{ нм}^3/\text{кг топл.}$
5. а) $V_{0''\text{O}_2} = 0,21 \cdot V_0 \text{ возд.} (\alpha_2 - 1) = 0,21 \cdot 8,06 (1,2 - 1) = 0,338 \text{ нм}^3/\text{кг топл.}$

Количество воздуха и продуктов сгорания топлива

Формулы	α 1,2	Размерность
$V_0 \text{ возд.} = 0,089 C + 0,266 H + 0,033 (S - O)$	9,672	нм ³ /кг топл.
$V_{0\text{H}_2\text{O}} = 0,112 H + 0,124 W + 0,001 V \text{ возд.} \cdot \alpha$	0,831	" "
$V_{0\text{N}_2} = 0,79 V_0 \text{ возд.} \cdot \alpha + 0,008 N$	7,657	" "
$V_{0\text{CO}_2} = 0,01866 (C + 0,368 S)$	1,389	" "
$V_{0\text{O}_2} = 0,21, V_0 \text{ возд.} (\alpha_2 - 1)$	0,338	" "
$V_{0\text{с.м.}} = \sum_2^5 V_0$	10,215	" "

Определим γ_2 :

$$\gamma_2 = \varphi_2 \cdot \gamma_{2н}$$

γ_2 определяем по таблицам Вукаловича для температуры насыщенного пара при $t_2^1 = 40^\circ\text{C}$

$$\gamma_2 = 0,05115.$$

$$\gamma_2 = \varphi_2 \cdot \gamma_{2н} = 0,8 \cdot 0,05115 = 0,04092.$$

Количество теплоносителя, необходимое для поглощения влаги папок при сушке чистым воздухом, находим по следующей формуле:

$$V = \frac{an}{\gamma_2 - \gamma_1} = \frac{0,008 \cdot 8000}{0,04092 - 0,00641} = 1617,5381 \text{ м}^3$$

при температуре $t_2^1 = 40^\circ\text{C}$,

где V_0 — общее количество теплоносителя при температуре t_2^1 ;

γ_2 — абсолютная влажность теплоносителя после выхода из сушильного устройства при температуре t_2^1 ;

γ_1 — абсолютная влажность теплоносителя при входе в сушильное устройство при температуре t_1 .

Формулы для определения γ_1 и γ_2 :

$\gamma_1 = \varphi_1 \cdot \gamma_{1н}$; определяем $\gamma_{1н}$ по температуре t_1 , из таблиц Вукаловича для насыщенного пара.

$$\gamma_{1н} = 0,01282.$$

$$\gamma_1 = \varphi_1 \cdot \gamma_{1н} = 0,5 \cdot 0,01282 = 0,00641.$$

Q_p^H (теплотворная способность топлива) определяется по формуле Менделеева

$$Q_p^H = 81C + 246H + 26(S - O) - 6W = 81 \cdot 73 + 246 \cdot 6 + \\ + 26(4 - 5) - 6 \cdot 5 = 7333 \text{ ккал/кг.}$$

$$Q_1 = V_0(t_2^1 - t_1) C_p^1.$$

Здесь Q_1 — тепло, идущее на нагрев теплоносителя от температуры t_1 до t_2^1 ;

$C_p^1 = 0,3084 \text{ ккал/м}^3$ (по формулам ВТИ) — объемная теплоемкость теплоносителя при температуре t_2^1 .

$$Q_1 = V_0(t_2^1 - t_1); C_p = 4750 \cdot 25 \cdot 0,308 = 36400 \text{ ккал};$$

$$Q_2 = anr,$$

где Q_2 — количество тепла, израсходованное в 1 час на испарение влаги из папок;

$r = 574,7 \text{ ккал/кг}$ — скрытая теплота парообразования, определяемая с помощью таблиц Вукаловича по температуре $t_2^1 = 40^\circ\text{C}$.

$$Q_2 = 0,008 \cdot 8000 \cdot 574,7 = 36800 \text{ ккал.}$$

$$Q_3 = an(t_2^1 - t_1),$$

где Q_3 — тепло, идущее на нагрев влаги в папках за 1 час, a и n известны.

$$Q_3 = 0,008 \text{ кг} \cdot 8000(40 - 15) = 1600 \text{ ккал.}$$

$$Q_4 = GnC(t_2^1 - t_1) - \text{тепло, израсходованное на нагрев папок до температуры } t_2^1,$$

где $J = 0,075 \text{ кг}$ — вес одной высушенной папки;

$C =$ теплоемкость папок $0,65 \text{ ккал/кг. град.}$

$$Q_4 = JnC(t_2^1 - t_1) = 0,075 \cdot 8000 \cdot 0,65 \cdot 25 = 9750 \text{ ккал.}$$

$Q_5 = \eta_1 BQ_p^u$ — потери тепла в сушильной установке.

B — количество топлива, необходимое для приготовления теплоносителя, (в кг).

$$B = \frac{8000 [0,008 \cdot 574,7 + (0,008 + 0,075 \cdot 0,65) 25]}{7333} \cdot 2 = 13,6 \text{ кг/час.}$$

Определим количество добавочного воздуха, необходимого для снижения температуры продуктов сгорания:

$$V_0 = BV_{см} + V_{возд.},$$

где $V_{см} = 10,215 \text{ нм}^3$ — объем смеси продуктов сгорания,

$$V_0 - BV_{см} = V_{возд.}$$

$$V_{возд.} = 4750 - 10,215 \cdot 13,6 \text{ нм}^3 \text{ час};$$

$$V_0 = \frac{BQ_p^u(1 - \eta_2)}{C_p^1(t_2 - t_1)} = \frac{13,6 \cdot 7333(1 - 0,05)}{0,308(80 - 15)} = 4750 \text{ нм}^3/\text{час.}$$

Поверочный расчет

Определим фактическую степень насыщения теплоносителя

$$V_0 = \frac{an}{\gamma'_2 - \gamma},$$

откуда определяем

$$\gamma'_2 = \frac{an + V_0 \cdot \gamma_1}{V_0} = \frac{0,008 \cdot 800 + 4750 \cdot 0,00641}{4750} = 0,01941 \text{ кг/м}^3.$$

$$\gamma_1^1 = \varphi \cdot \gamma_2;$$

$$\varphi_1^1 = \frac{\gamma_1^1}{\gamma_2} = \frac{0,01941}{0,05115} = 0,380.$$

СОСТАВЛЕНИЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА СУШИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА В ПРОЦЕНТАХ

Тепловой баланс сушильного устройства (в %) выразится следующей формулой:

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6,$$

$$\text{где } q_n = \frac{Q_n}{BQ_p^u} \cdot 100;$$

$$q_1 = \frac{Q_1}{B_p^u} \cdot 100 = \frac{36400}{99728} \cdot 100 = 36,5;$$

$$q_2 = \frac{Q_2}{BQ_p^H} \cdot 100 = \frac{36800}{99728} \cdot 100 = 36,9;$$

$$q_3 = \frac{Q_3}{BQ_p^H} \cdot 100 = \frac{1600}{99728} \cdot 100 = 1,75;$$

$$q_4 = \frac{Q_4}{BQ_p^H} \cdot 100 = \frac{9750}{99728} \cdot 100 = 9,85;$$

$$q_5 = \frac{\eta' BQ_p^H}{BQ_p^H} \cdot 100 = 0,05 \cdot 100 = 5;$$

$$q_6 = \frac{\eta BQ_p^H}{BQ_p^H} \cdot 100 = \eta \cdot 100 = 0,1 \cdot 100 = 10.$$

Проверим составные части теплового баланса.

$$36,5 + 36,9 + 1,75 + 9,85 + 5 + 10 = 100.$$

Из анализа теплового баланса следует, что коэффициент полезного действия сушильного устройства сушки папок и блоков, определяемый рассматриваемым методом, в среднем равен 36,5%; 36,9% затраченного тепла уносится с теплоносителем; I — 15% теряется в топке и в окружающую среду, a — 9,85% уносится с высушенными материалами.