

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПАРОВЫХ РОЛИКОВЫХ СУШИЛОК СУР-4

The article dwells upon the main equipment of Belarusian enterprises and gives recommendations on its modernizing in order to make process of drying more efficient and less energy consuming.

Введение. Основным оборудованием для сушки лушеного шпона на белорусских предприятиях являются роликовые сушилки с поперечной циркуляцией сушильного агента СУР-4 (18 шт.), газовые СРГ-25М (4 шт.). В ЗАО «Пинскдрев» используется современная сушильная камера ВАВСОСК.

Первый выпуск сушилок СУР-4 был осуществлен в 1950 г. В то время они соответствовали лучшим образцам по производительности и качеству сушки шпона. В настоящее время они морально устарели, имеют низкую производительность, высокую энергоёмкость процесса и подлежат постепенной замене или модернизации. В [1] приведены предложения по повышению производительности сушилок путем замены теплоносителя пара на высококипящий теплоноситель, что дает возможность повысить температуру агента сушки до 160–180°C и вместе с этим повысить их производительность.

Основная часть. В сушилке между этажами находятся громоздкие, с низким коэффициентом теплопередачи ребристые калориферы общей поверхностью нагрева 2600 м². Очистка их и устранение заломов затруднены, кроме того, они создают большое сопротивление движению воздуха, которое может быть определено по формуле

$$\Delta h = 0,1 \cdot n \cdot v^2 \cdot c = 113 \text{ Па},$$

где n – число рядов поперечных ребристых труб по потоку воздуха (равно количеству труб двух калориферов), шт.; v – средняя скорость воздуха, м/с; c – переводной коэффициент, $c = 9,8 \text{ Н/м}^2$.

При скорости воздуха 4 м/с $\Delta h = 458 \text{ Па}$, а при скорости 5 м/с $\Delta h = 1372 \text{ Па}$. Отсюда следует, что при существующих калориферах увеличение скорости воздуха нецелесообразно, т. к. с сопротивлением калорифера связана мощность двигателя вентилятора, с увеличением которой возрастает энергоёмкость процесса сушки.

В сушилке СУР-4 установлены вентиляторы устаревших моделей, имеющие низкий КПД ($\eta = 0,35$), производительность 8000 м³/ч. Они обеспечивают скорость воздуха между этажами 1,7–2,0 м/с. Например, продолжительность сушки шпона толщиной 1,5 мм в сушилке СУР-4 [2] при скорости воздуха 1,7–2,0 м/с составляет 9 мин, а при скорости 5 м/с – 6 мин.

Целью работы является повышение производительности сушилок за счет их модернизации.

Замена ребристых калориферов на биметаллические и размещение их и вентиляторов в верхней части сушилки позволяют увеличить скорость агента сушки между этажами до 4,5 м/с и коэффициент теплопередачи более чем в 2 раза, уменьшить поверхность нагрева калориферов, снизить энергоёмкость процесса сушки и повысить производительность сушилки.

За основу теплового расчета принимаем скорость воздуха 4,5 м/с (196 920 м³/ч), начальную влажность шпона березового 70%, производительность сушилки 2,8 м³/ч [2].

Количество влаги, испаряемой из 1 м³ шпона,

$$M_1 = \rho_0 \cdot \frac{W_n - W_k}{100 + k_y \cdot W_k} = 392 \text{ кг/м}^3,$$

где W_n, W_k – начальная и конечная влажность шпона, %; ρ_0 – плотность шпона в абсолютно сухом состоянии, кг/м³; k_y – коэффициент объемной усушки.

Количество влаги, испаряемой за 1 ч,

$$M = M_1 \cdot \Pi = 1098 \text{ кг/ч},$$

где Π – производительность сушилки, м³/ч.

Количество подаваемого воздуха

$$q = \frac{V}{V_1} = 117916 \text{ кг/ч},$$

где объем воздуха, м³/ч; V_1 – приведенный удельный объем, м³/кг.

Изменение влагосодержания

$$\Delta t = \frac{M \cdot 1000}{q_b} = 9,3 \text{ г/кг}.$$

Влагосодержание

$$d_2 = 200 + 9,3 = 209,3 \text{ г/кг}.$$

Количество свежего воздуха, подаваемого в сушилку:

$$q = \frac{M \cdot 1000}{d_2 - d_0} = 5482 \text{ кг/ч}.$$

Потери тепла с отработанным воздухом

$$q_{\text{отр}} = \frac{q_{\text{св.в}} \cdot c_2 \cdot (t_2 - t_0)}{M} = 832 \text{ кДж/кг},$$

где c_2 – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°C).

Расход тепла на испарение влаги

$$q_0 = 2500 + 1,85 \cdot 140 = 2759 \text{ кДж/кг}.$$

Потери через ограждения

$$q_{\text{пот}} = \frac{Q_{\text{огр}}}{M} = 128 \text{ кДж/кг.}$$

Потери тепла с высушенным материалом

$$q_m = 4,19 \cdot \frac{(c_0 + 0,01 \cdot W_k) \cdot (t_2^m - t_0^m) \cdot (100 + k_y \cdot W_k)}{(1 + 0,01 \cdot W_k) \cdot (W_n - W_k)} = 332 \text{ кДж/кг,}$$

где c_0 – теплоемкость абсолютно сухой древесины, кДж/(кг · °С); t_2^m – температура материала на выходе из сушилки, °С; t_0^m – температура материала на входе в сушилку, °С.

Общий расход тепла на 1 кг испаренной влаги

$$q = q_0 + q_m + q_{\text{пот}} + q_{\text{отр}} = 4051 \text{ кДж/кг.}$$

Масса влаги, испаренной в сушилке за 1 с,

$$m_c = \frac{M}{3600} = 0,305 \text{ кг/с.}$$

Общий расход теплоты в единицу времени, т. е. суммарная тепловая мощность:

$$Q = q \cdot m_c = 1235 \text{ кВт.}$$

Такая мощность может быть обеспечена калориферами КП4-11-СК (биметаллическими) [3]. Требуемая поверхность нагрева калорифера

$$F = \frac{Q \cdot 1000}{k \cdot (t_r - t_c)} = 671 \text{ м}^2,$$

где k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°С) [3], для массовой скорости $\omega_r = 4,3$ $k = 46$; t_r – температура теплоносителя, °С.

В каждой секции устанавливаем калорифер КП4-11-СК, поверхность нагрева которого составляет 90,5 м², а общая поверхность нагрева ($F_{\text{пов}} = 8 \cdot 90,5 = 724 \text{ м}^2$) – больше требуемой.

Потери напора для калорифера КП4-11-СК

$$\Delta P = B \cdot (\omega_r)^m = 86 \text{ Па,}$$

где B , m – коэффициенты; ω_r – массовая скорость воздуха при прохождении через калорифер, кг/(м²·с).

Скорость воздуха между этажами сушилки 4,5 м/с должны обеспечить 8 вентиляторов (в каждой секции – один вентилятор). Производительность одного вентилятора 6,8 м³/с.

Мощность вентилятора

$$N_b = \frac{H_b \cdot V_b \cdot 10^{-3}}{\eta_b},$$

где H_b – полный напор вентилятора, Па;

$$H_b = \sum \Delta h_{\text{тр}} + \sum \Delta h,$$

где $\sum \Delta h_{\text{тр}}$ – сумма сопротивлений на трение на всех прямых участках, Па; $\sum \Delta h$ – сумма местных сопротивлений на участках, Па.

По результатам расчета сумма потерь напора составляет 194 Па. По давлению при нормальных условиях $H_{\text{хар}} = 291$ Па и производительности вентилятора выбираем вентилятор универсальный У12 № 10. Частота вращения вентилятора – 1100 мин⁻¹, мощность – 2,5 кВт.

Выводы. 1. Основным оборудованием для сушки шпона на предприятиях являются роликовые сушилки СУР-4, которые морально устарели.

2. Производительность сушилки при толщине березового шпона 1,5 мм составляет 1,7 м³/ч, скорость движения воздуха между этажами – 1,7 м/с.

3. Громоздкие калориферы и вентиляторы малой производительности не позволяют увеличить производительность сушилки.

4. Результаты теплового расчета показывают, что замена ребристых калориферов на биметаллические КП4-11-СК, вентиляторов – на осевые У12 № 10 позволит увеличить скорость воздуха между этажами до 4,5 м/с и производительность сушилки – до 2,8 м³/ч шпона, снизить энергоемкость процесса сушки.

Литература

1. Донченко, Л. Ф. Пути повышения производительности паровых роликовых сушилок / Л. Ф. Донченко, Г. С. Вахранев // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – Минск: БГТУ, 2006. – Вып. XIV. – С. 230–232.
2. Стерлин, Д. М. Сушка в производстве фанеры и древесностружечных плит / Д. М. Стерлин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесная пром-сть, 1977. – 384 с.
3. Малишевский, Н. М. Проектирование паровых лесосушильных камер: учеб. пособие / Н. М. Малишевский. – М.: МГУЛ, 1993. – 48 с.