

Я. С. Мухтаров, Р. Ш. Суфиянов, В. А. Лашков,
А. Г. Замалиев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СУШКИ В СПИРАЛЬНОЙ СУШИЛКЕ

Ключевые слова: спиральная сушилка, расход теплоносителя, производительность сушилки, экономико-математический анализ.

Проведена оценка влияния расхода теплоносителя и производительности спиральной сушилки на стоимость процесса сушки.

Keywords: spiral dryer, water flow capacity dryers, economic and mathematical analysis.

The influence of the coolant flow rate and performance on the cost spiral dryer drying process.

Для отделения жидкой фазы от высоко-влажных дисперсных материалов широко применяются сушильные аппараты различных конструкций, отличающиеся принципом действия. Высокая эффективность тепло- и массообмена может быть достигнута если через высушиваемый материал пропускается нагретый сухой воздух и дисперсный материал при этом находится во взвешенном состоянии в виде газозвеси [1].

Широко распространены в химической и смежных с ней отраслях промышленности спиральные сушилки [2, 3, 4]. Известны сушилки со сдвоенным ходом, с обратной закруткой канала, бифилярные, с перепускными каналами и т.д., однако основной любой конструкции является закрученная в улитку пневматическая труба с соответствующими

обезвоживанию необходимо расписать целевую функцию [5].

Расчет аппаратного оформления процесса проведем на основе экономико-математического анализа [6]. Помимо представления критерия эффективности в развернутом виде для интересующего нас случая, исследуем влияние режимных параметров процесса на критерий оптимальности. В качестве режимных параметров выберем расход теплоносителя через сушилку, температуру его на входе в аппарат и производительность сушилки, как наиболее важные с позиций наибольшего влияния на критерий эффективности.

За основу целевой функции примем формулу для расчета экономического критерия приведенных затрат

$$R = C + E_n \frac{K}{B} \rightarrow \min. \quad (1)$$

Запишем уравнение в следующем виде

$$R = \frac{1000}{GT_{эф}} 0,256k_{ап} + z_{тс}, \quad (2)$$

где $z_{тс}$ – текущие затраты на сушку, руб/кг; $k_{ап}$ – капитальные затраты на создание аппарата, руб/год; G – производительность, кг/ч; $T_{эф}$ – эффективный годовой фонд рабочего времени, час·год⁻¹.

Примем, что $z_{тс}$ будут равняться затратам электроэнергии на нагрев теплоносителя в электрическом калорифере z_1 , на подачу воздуха z_2 (прочие затраты здесь будут примерно равными при изменении варьируемых режимных параметров)

$$z_{тс} = z_1 + z_2, \quad (3)$$

$$z_1 = \frac{L_r G_r (t_{вх} - t_0)}{1000 G_{сек}} a_1, \quad (4)$$

$$z_2 = \frac{\Delta P L_r}{1000 G_{сек} \rho_T} a_1, \quad (5)$$

здесь ΔP – гидравлическое сопротивление аппарата, Н/м²; a_1 – стоимость 1кВт/час электроэнергии,

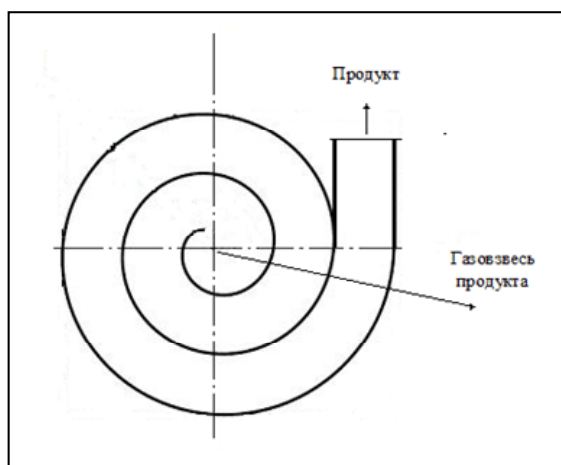


Рис. 1 - Схема спиральной сушилки

устройствами загрузки и выгрузки и дутья (рис.1).

Вследствие такой распространенности, гидродинамика потока газозвеси и процессы теплообмена в спиральных сушилках хорошо изучены и подробно описаны. В дальнейшем используем методику расчета, приведенную в работе [4].

Сушка относится к энергоемким процессам для эффективного использования энергии необходимо процесс осуществлять в оптимальных условиях. Для оптимального расчета систем аппаратов

руб/кДж.

В окончательном виде, готовом к проведению анализа, критерий эффективности имеет вид:

$$R = \frac{L_r a_1}{G} \left[c_r (t_{\text{вх}} - t_0) + \frac{\Delta P}{\rho_r} \right] + \frac{2,56 \cdot 10^{-5}}{GT_{\text{эф}}} k_{\text{ан}}, \quad (6)$$

Исследования проводятся путем поочередного варьирования параметрами L_r и $t_{\text{вх}}$, при этом неварьируемый параметр принимается за константу. За константу примем и прочие компоненты рассчитываемых характеристик процесса, если они не зависят от варьированного параметра. Приведенные соотношения, как и ниже следующие, определены на основе методики расчета процесса сушки в спиральной сушилке.

Зависимость критерия эффективности от расхода теплоносителя представляется выражением:

$$R = E_2 L_r + F_2 (f_2 L_r^{2,16} + e_2 L_r^3) B_2, \quad (7)$$

$$\text{где } f_2 = \frac{d_2}{b_2}; \quad B_2 = \frac{1000}{GT_{\text{эф}}};$$

$$F_2 = \frac{a_2}{1000 G \rho_{\text{м.сн}}}; \quad E_2 = \frac{a_1 c_r (t_0 - t_{\text{вх}})}{1000 G};$$

$$e_2 = \zeta_{\text{ц}} \rho_{\text{к}} \frac{1}{2} \left(\frac{1 + x_{\text{к}}}{900 \rho_{\text{к}} \pi D_y^2} \right)^2;$$

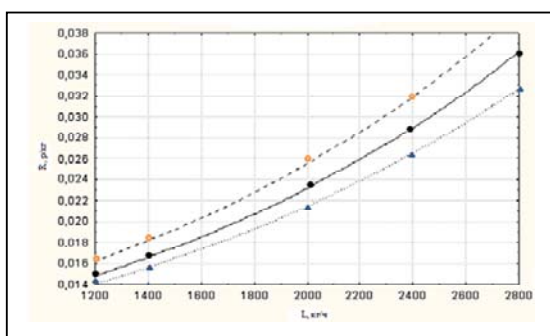


Рис. 2 - Графики зависимости критерия эффективности от расхода теплоносителя при различных $t_{\text{вх}}$:

--- - 150 °C; — - 175 °C; ... - 200 °C

$$d_2 = \frac{l(G_{\text{Мо}} + G_{\text{Мкк}})(1 - \bar{x}_{\text{сн}})^2}{2(1 + \bar{x}_{\text{сн}})\bar{R}_{\text{сн}}\bar{\rho}_{\text{сн}}(3600F_{\text{сн}})^2}.$$

На критерий эффективности оказывает

влияние расход теплоносителя L . На рис. 2 представлены графики зависимости $R = f(L)$, рассчитанные для различных температур теплоносителя на входе $t_{\text{вх}}$.

Значительный интерес представляет собой исследование зависимости критерия эффективности от производительности сушилки, что позволяет прогнозировать взаимосвязь между производительностью сушилки и ее экономичностью.

На рис. 3 представлены зависимости $R = f(G)$ при различных расходах.

Таким образом, получены зависимости критерия оптимальности от расхода теплоносителя и производительности спиральной сушилки.

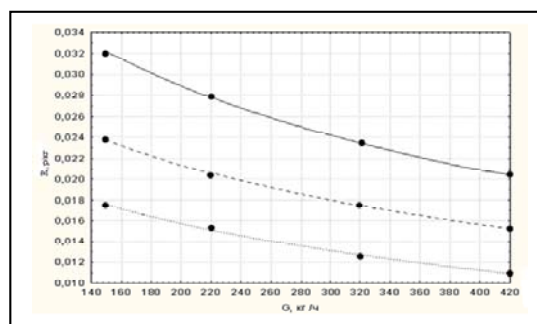


Рис. 3 - Графики зависимости $R = f(G)$: — - $L=2300$ кг/ч; - - - $L=1900$ кг/ч; ... - $L=1900$ кг/ч

Из представленных данных можно сделать вывод, что повышение расхода теплоносителя приводит к увеличению стоимости процесса сушки, а с ростом производительности установки стоимость процесса снижается. Полученные зависимости могут быть использованы при расчете оптимальных параметров процесса сушки в спиральных сушилках.

Литература

1. R.S. Sufiyarov, I.S. Maikov, *Chemical and Petroleum Engineering*, **46**, 9, 504-507 (2011).
2. Б.С. Сажин, *Основы техники сушки*. Химия, Москва, 1984. 320 с.
3. П.Г. Романков, Н.Б. Рашковская, *Сушка во взвешенном состоянии*. Химия, Ленинград, 1979. 272 с.
4. В.В. Муштаев, В.М. Ульянов, *Сушка дисперсных материалов*. Химия, Москва, 1982. 347 с.
5. Я.С. Мухтаров, Р.Ш. Суфиянов, *Вестн. Казан. технол. ун-та*, **17**, 6, 233-234 (2014).
6. Я.С. Мухтаров, Р.Ш. Суфиянов, В.А. Лашков, *Вестн. Казан. технол. ун-та*, **17**, 3, 242-244 (2014).