

К АНАЛИЗУ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СУШКИ ЛУБОВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.М. КАРАВАЙКОВ, В.П. БОРЗОВ

(Костромской государственной технологической университет,
Костромская государственная сельскохозяйственная академия)

Одним из важнейших экономических показателей процесса сушки лубоволокнистых материалов, на наш взгляд, является коэффициент использования тепловой энергии, определяющий энергетическую составляющую в структуре себестоимости сырья для текстильной промышленности.

Как правило, в научной литературе с целью повышения КПД сушилки предлагается увеличить интенсивность процесса сушки при сохранении качественных характеристик материала. При этом расчету энергоэффективности процесса с учетом всех видов затраченной энергии (тепловой, электрической, электромагнитной, механической) не уделяется необходимого внимания. Предполагается (априори), что сокращение времени сушки автоматически повышает КПД установки. Полагаем, что такой подход не точно отражает закономерности процесса тепломассообмена при сушке лубоволокнистых материалов, оставляя без внимания инерционную составляющую процесса потери энергии в окружающую среду, вследствие несовершенства теплоизоляции.

Непрерывное изменение во времени удельного теплового потока $q(\tau)$ в этих работах обычно не принималось в расчет по следующим причинам: из-за отсутствия возможности регулировать удельный тепловой поток $q(\tau)$ ввиду несовершенства нагревательных элементов; значение $q(\tau)$ принимается, как правило, эмпирически без достаточного теоретического обоснования; ограниченное использование современной вычислительной техники в расчетных модулях процессов сушки, причем

математические модели не полно отражают реальные закономерности процесса.

Рассмотрим процесс сушки типичного капиллярно-пористого коллоидного тела – льняной тресты.

В основу расчета и оценки эффективности использования энергии при тепломассообмене положено уравнение кинетики сушки А.В. Лыкова [1], из которого определяется удельный тепловой поток $q(\tau)$, Вт/м²:

$$q(\tau) = R_v \rho_0 r \frac{du}{d\tau} (1 + R_b), \quad (1)$$

где R_v – отношение объема абсолютно сухого тела к поверхности влажного тела, м; ρ_0 – плотность абсолютно сухого тела, кг/м³; r – удельная теплота испарения, Дж/кг; $\frac{du}{d\tau}$ – скорость сушки, кг/(кг·с); R_b – критерий Ребиндера:

$$R_b = \frac{c}{r} \left(\frac{dt}{du} \right), \quad (2)$$

где c – удельная теплоемкость влажного тела, Дж/(кг·К); $\left(\frac{dt}{du} \right)$ – среднеинтегральный температурный коэффициент сушки, К·кг/кг.

Критерий Ребиндера – величина безразмерная, отражающая соотношение теплоты, использованной на нагрев влажного материала при его сушке, к количеству теплоты, затраченной на испарение влаги за малый промежуток времени.

Идеальным процессом сушки является такой, при котором теплота расходуется только на испарение влаги, то есть на обеспечение энергией фазового перехода. Этот процесс можно описать уравнением (1), в котором критерий Ребиндера равен нулю.

Такой режим сушки будет иметь место, если к моменту начала процесса материал приведен в равновесное состояние с окружающей средой, что возможно реализовать лишь на весьма короткий промежуток времени. При этом потенциал влагопереноса равен нулю $\left(\frac{d\theta}{dt}\right) = 0$, а влажность материала обусловлена только наличием в нем жидкой фазы.

В принятых условиях удельный тепловой поток, расходуемый на испарение влаги, $q_{\text{исп}}(\tau)$, Вт/м², определяется уравнением

$$q_{\text{исп}}(\tau) = R_v \rho_o r \frac{du}{d\tau}. \quad (3)$$

Тогда коэффициент полезного использования тепловой энергии, подведенной к материалу, определяется соотношением

$$\eta_q = \frac{q_{\text{исп}}(\tau)}{q(\tau)} = \frac{R_v \rho_o r \frac{du}{d\tau}}{R_v \rho_o r \frac{du}{d\tau} (1 + R_b)} = 1 / (1 + R_b). \quad (4)$$

По результатам экспериментальных исследований, приведенным в [2], установлено, что этот коэффициент при температуре в сушильной камере от 75 до 100 °С приближается к 1, если пренебречь второстепенными каналами потерь энергии.

Отсюда следует, что теоретически наиболее экономичным является изотермический процесс, при котором не происходит изменения температуры материала, а подводимая теплота целиком расходуется на фазовое превращение влаги.

Реализовать такой процесс в сушильной камере возможно за счет предварительного подогрева материала до температуры среды теплотой, утилизируемой в основном технологическом процессе. При

этом температура сушильного агента (влажного воздуха) в камере будет снижаться изоэнтальпийно ($h = \text{const}$). При таком режиме сушки повышение КПД сушилки возможно за счет утилизации тепловой энергии отработавшего сушильного агента.

Если использовать теплоту отработавшего сушильного агента в качестве подводящей с целью подогрева материала (тресты) перед сушкой до стабильной температуры, то теплота в процессе сушки целиком будет расходоваться, как отмечалось ранее, на испарение влаги и ее вынос. При этом все второстепенные теплопотери (наружное охлаждение конвекцией и радиацией) необходимо компенсировать за счет снижения энтальпии сушильного агента, поскольку предварительный подогрев материала не может быть длительным.

Коэффициент использования тепловой энергии η_q при сушке исследуемого материала определяется по формуле

$$\eta_q = \frac{q_{\text{исп}}}{q_{\text{исп}} + \sum_1^n q_i}, \quad (5)$$

где q_i – удельные тепловые потери по отдельным каналам, Вт.

Отсюда очевидно, что уменьшение тепловых потерь при внешнем тепловлагопереносе позволяет повысить коэффициент использования тепловой энергии η_q при сушке. В реальных условиях сушки льняной тресты $q_i > 0$, поэтому $\eta_q < 1$.

При поисках путей повышения КПД сушильных установок следует основное внимание уделять мерам защиты установки от тепловых потерь и сокращению времени сушки. Учитывая вышеизложенное, отметим, что предварительный подогрев массы тресты за счет утилизированной теплоты отработавшего сушильного агента повышает скорость сушки и компенсирует часть внешних теплопотерь.

Энергоэффективность процесса сушки в реальной сушилке должна оцениваться с учетом всех видов затраченной энергии (тепловой, электрической, электромагнит-

ной, механической). Реальные затраты всех видов энергии Q_p , Дж, на сушку льняной тресты определяются опытным путем.

Сопоставление реальных затрат всех видов энергии с максимальной величиной теплоты испарения позволяет определить максимальный потенциал энергосбережения сушильной установки:

$$\Pi = 1 - \frac{\Gamma_{\max}}{q_p},$$

где Π – максимальный относительный потенциал энергосбережения; Γ_{\max} – максимальная теплота испарения, кДж/кг; q_p – удельная энергоемкость реального процесса сушки, кДж/кг.

ВЫВОДЫ

1. Экономичный изотермический процесс в сушильной камере возможно организовать за счет предварительного подогрева материала до температуры среды теп-

лотой, утилизируемой в основном технологическом процессе.

2. Сравнение реальных затрат всех видов энергии на сушку льняной тресты с максимальной величиной теплоты испарения влаги позволяет определить максимальный потенциал энергосбережения сушильной установки и оценить совершенство реального процесса сушки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лыков А.В.* Теория сушки. – М.: Энергия, 1968.

2. *Кузьмин В.А., Овсянников Д.Л.* Влияние некоторых режимных параметров на тепловой коэффициент полезного действия в процессе сушки капиллярно-пористого коллоидного материала / Мат. регион. научн.-техн. конф.: Наука ПРОТЭК-99. – Вят. ГТУ 1999, т.3. С.90...91.

Рекомендована кафедрой технологии производства льняного волокна КГТУ. Поступила 31.05.07.