

УДК 66.047.77

ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ СУШИЛОК С ОХЛАДИТЕЛЬНЫМИ КАМЕРАМИ

И.П. КОРНЮХИН, Л.И. ЖМАКИН, И.В. КОЗЫРЕВ

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

В некоторых типах сушилок имеется охладительная камера, где материал, ткань после окончания сушки обдуваются воздухом из помещения. Ее назначение – понизить температуру материала до температу-

ры, близкой (в идеале – равной) температуре в помещении. При этом желательно, чтобы и влагосодержание материала было равно кондиционному – равновесному влагосодержанию, определяемому температу-

рой и влажностью в помещении. Это позволило бы непосредственно использовать высушенный материал либо в последующем звене технологической цепочки, либо в виде готового товара. Но, насколько известно, процессы в охладительной камере не исследовались ни экспериментально, ни теоретически.

Для моделирования тепломассообменных процессов в охладительной камере использован предложенный в [1] и модифицированный в [2], [3] метод расчета процесса сушки тонкого материала, в основу которого положено решение системы дифференциальных уравнений тепломассообмена, замыкаемой при помощи уравнения межфазного сорбционного равновесия [3], [4]. Понятие "тонкий материал" предполагает постоянство по толщине материала его температуры и влагосодержания.

Упомянутая система, включающая дифференциальные уравнения энергии и массообмена, имеет вид

$$M_f c_f \left(1 + W \frac{c_\ell}{c_f} \right) \frac{dt}{dt} = (\alpha_c + \alpha_r)(t_a - t) F + r M_f \frac{dW}{dt}, \quad (1)$$

$$M_f \frac{dW}{dt} = \mu_v \beta \frac{\chi_a - \chi}{1 - \chi} F, \quad (2)$$

где M , c , W , F , r , t , α , β , μ , χ , τ – соответственно масса, удельная массовая теплоемкость, влагосодержание, площадь поверхности, удельная теплота фазового перехода, включающая энергию связи влаги с материалом, температура, коэффициент теплоотдачи, коэффициент массоотдачи, молярная масса, молярная доля пара, время. Индексы f , ℓ , c , r , a – сухой материал, влага, конвективный, радиационный, набегающий поток воздуха.

Система уравнений (1) и (2) не замкнута, поскольку содержит три неизвестные функции времени: температуру, влагосодержание материала и молярную долю пара χ на поверхности. Замыкается эта система следующим образом. Молярная доля пара χ на поверхности материала рассчитывается по давлению насыщенного пара

p_s при температуре материала t , барометрическому давлению p и равновесной относительной влажности ϕ как $\chi = \phi p_s(t)/p$.

Для определения величины ϕ используются рекомендации [3], [4]: в гигроскопической области при $0 < \phi < 0,07$ используется аналог уравнения изотермы Ленгмюра:

$$\phi = aW/(b-W), \quad (3)$$

при $\phi > 0,07$ – уравнение:

$$\ln \phi = \frac{\zeta}{\rho T^2} - \left(\frac{v}{W} - \frac{\rho \gamma}{W^2} \right) \exp\left(\frac{\alpha}{T}\right), \quad (4)$$

а при влагосодержании, превышающем максимальное гигроскопическое влагосодержание при десорбции, то есть в области капиллярно связанной влаги $\phi = 1$. Константы α , ζ , v , γ уравнения (4) для широкого круга текстильных материалов приведены в работах [3] и [4]. Там же приводятся зависимости, связывающие константы a и b уравнения (3) с перечисленными константами α , ζ , v , γ .

Коэффициент массоотдачи рассчитывается при помощи тепломассообменной аналогии согласно рекомендациям [5], а поправка на конечную скорость массообмена – на основе пленочной теории [5].

Система уравнений (1), (2) была преобразована с целью введения безразмерного аргумента:

$$X = \frac{\tilde{\alpha} \tau}{2c_f m_f} = \frac{\tilde{\alpha} x}{2c_f m_f w},$$

где $\tilde{\alpha}$, m_f , w , x – коэффициент теплоотдачи при бесконечно малой скорости массообмена, масса единицы площади поверхности материала, скорость движения материала, координата.

Скорость приращения влагосодержания определена как $R_w = dW/dX$.

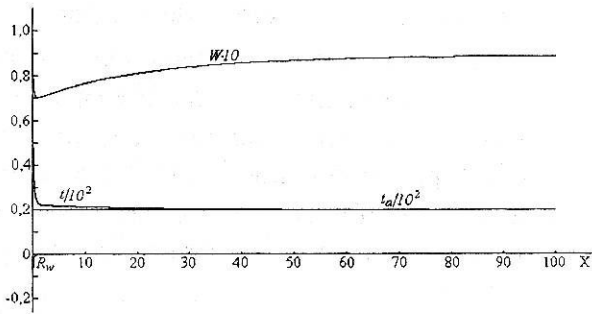


Рис. 1

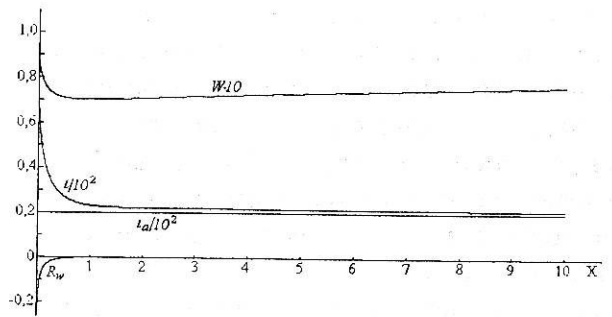


Рис. 2

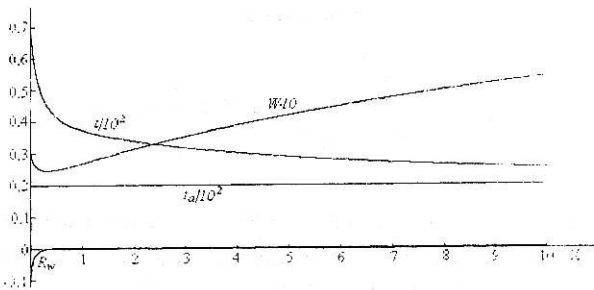


Рис. 3

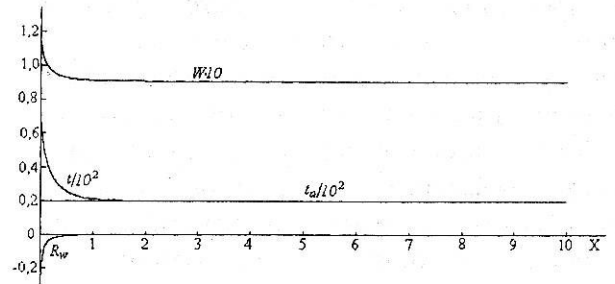


Рис. 4

Результаты расчета этих процессов для тонких материалов представлены на графиках рис. 1...4. На всех четырех графиках температура воздуха t_a , подаваемого в охладительную камеру, принята равной температуре окружающей среды. Она составляет 20°C и остается неизменной на протяжении процесса.

На каждом из четырех графиков показаны кривые изменения влагосодержания W , температуры ткани t , температуры воздуха t_a и величины R_w , причем отрицательные значения R_w определяют уменьшение влагосодержания, а положительные – увеличение его.

На графике рис. 1 представлен процесс, для которого начальное влагосодержание ткани (на входе в охладительную камеру) W_0 совпадает с кондиционным W_k при параметрах воздуха в помещении и в охладительной камере ($W_0 = W_k$). После резкого уменьшения влагосодержания идет медленный процесс установления сорбционного равновесия.

График на рис. 1 описывает процесс практически до установления равновесного состояния, в котором снова достигается

прежнее значение W_k , а на рис. 2 – только его начальную стадию.

На ранней стадии процесса происходит интенсивное испарение влаги, сопровождающееся понижением температуры материала. После этого по мере остывания материала наблюдается достаточно медленный процесс повышения его влагосодержания. Если выходящий из сушилки материал пересушен (его влагосодержание ниже кондиционного), эти закономерности выражены еще ярче (рис. 3) и процесс достижения кондиционного влагосодержания протекает еще медленнее.

Наоборот, в том случае, когда влагосодержание на выходе из сушилки немного превышает кондиционное (рис. 4), процесс достижения кондиционного влагосодержания W_k протекает значительно быстрее и заканчивается приблизительно при $X \sim 1$. Этот вариант имеет еще и то достоинство, что благодаря более высокому влагосодержанию на выходе уменьшается масса влаги, удаляемой из материала в сушилке, и тем самым достигается экономия тепла. Кроме того, в этом случае может быть увеличена скорость проводки материала, что даст такой же эффект.

Проведенный анализ позволяет дать следующие практические рекомендации: в сушилках с охладительной камерой значение влагосодержания на выходе из сушилки и входе в охладительную камеру W_0 должно несколько превышать кондиционное W_k . Это приводит, с одной стороны, к уменьшению продолжительности всей технологической цепочки обработки материала, а с другой – к экономии тепла. Оптимальное значение влагосодержания на выходе из сушилки может быть найдено при помощи представленного метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Корнюхин И.П.* Тепломассообмен в пористых телах: Дис...док. техн. наук. – М.: ЭНИН им. Кржижановского, 1991.

2. *Корнюхин И.П., Жмакин Л.И.* Расчет процесса сушки тонкого капиллярно-пористого коллоидного материала // Изв. Российск. АН. Сер. Энергетика. – 1997, № 4.

3. *Корнюхин И.П., Жмакин Л.И.* Тепломассообмен в пористых телах. – М.: ОЭЭП РАН, Информэлектро, 2000.

4. *Корнюхин И.П., Жмакин Л.И., Козырева Л.И.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000, № 6.

5. *Берд Р., Стюарт В., Лайтфут Е.* Явления переноса. – М.: Химия, 1974.

Рекомендована кафедрой промышленной теплоэнергетики. Поступила 30.05.05.