

УДК 677.057.135.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СУШКИ ТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРИАЛА В ПАКОВКАХ

Н.В.КИСЕЛЕВ

(Костромской государственный технологический университет)

Одним из важнейших направлений повышения конкурентоспособности продукции в условиях постоянного роста стоимости энергоресурсов является разработка новых энергосберегающих и ресурсосберегающих технологических процессов и оборудования для их осуществления. В текстильной промышленности наиболее энергоемким является отделочное производство, включающее, в частности, жидкостную обработку (крашение, беление) и сушку текстильных материалов в паковках. Значительная доля ассортимента льняной и хлопчатобумажной пряжи для пестроткачества, а также швейные нитки подвергаются данным технологическим

операциям. Для конвективной сушки паковок в настоящее время используются аппараты серии СКД и их зарубежные аналоги, теплоносителем в которых является воздух под давлением, циркулирующий через влажный материал. Эффективность процесса сушки и качество высушенного материала зависит при этом от параметров самого текстильного материала, параметров технологического процесса, параметров оборудования, параметров и вида используемой оснастки, такой как тип носителя материала и конструкция направляющего стержня.

Несмотря на то, что влияние большинства указанных факторов неоднократно

исследовалось экспериментально, можно утверждать, что сложный и неоднозначный характер их влияния на эффективность процесса сушки, многообразие и взаимодействие делают практически невозможным прогнозирование основных показателей процесса сушки (продолжительность, расход пара, воды и пр.) при конкретных значениях рассмотренных параметров. В то же время такое прогнозирование или оценочный расчет позволили бы выявить резервы повышения производительности и снижения энергоемкости данного технологического процесса как на этапе конструирования или модернизации оборудования, так и на этапе его эксплуатации.

Разработанная ранее модель процесса сушки столба паковок [1] при интегрировании нестационарного уравнения для влажности паковки реализует алгоритм послойных вычислений с использованием схемы предиктор-корректор, обеспечивающий второй порядок точности по времени. При этом на каждом шаге по времени выполняется численное интегрирование системы дифференциальных уравнений [1], описывающих движение рабочей среды по внутренним полостям столба паковок с граничными условиями, определяемыми геометрией стержня. Однако, для определения важнейшего параметра процесса, скорости сушки была использована эмпирическая зависимость, процессы в теплообменнике и охладителе сушильного аппарата, гидравлическое сопротивление циркуляционного контура не учитывались. В связи с этим разработана уточненная модель, в которой скорость сушки определяется с учетом термодинамических процессов во влажном воздухе.

Пусть c – объемный расход воздуха на единицу высоты паковки, $\text{дм}^3/(\text{с}\cdot\text{дм})$; d_1 – влагосодержание воздуха на входе в паковку, $\text{кг}/\text{кг с.в.}$; t – температура воздуха; d_2 – влагосодержание воздуха на выходе из паковки, $\text{кг}/\text{кг с.в.}$; φ – относительная влажность воздуха; p – абсолютное давление воздуха; p_n – давление насыщенного водяного пара; ρ – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{дм}^3$.

Для начала расчета задаемся начальной температурой паковки, температурой и относительной влажностью воздуха после охладителя, тогда его влагосодержание на входе в паковку

$$d_1 = 0,622 \varphi p_n / 100 / (p - \varphi p_n / 100). \quad (1)$$

Температура воздуха после нагрева t_1 определяется на основании расчета теплообменника, выполняемого по обычной методике с использованием критериальных уравнений для расчета коэффициентов теплоотдачи.

Влагосодержание воздуха при нагревании не изменяется, поэтому энтальпия воздуха на входе в паковку:

$$e_1 = 1,009 t_1 + (2500 + 1,96 t_1) d_1.$$

Задаваясь фиксированной относительной влажностью на выходе из паковки (в начальный период сушки), определяем температуру воздуха на выходе из паковки t_2 итерационным методом, добиваясь, чтобы энтальпия его уменьшалась на величину, соответствующую потерям на нагрев паковки. В заключительный период сушки происходит выход сухого слоя на поверхность паковки, и горячий воздух, проходящий через эти участки, не насыщается влагой. Это обстоятельство учитывается пропорциональным снижением прироста относительной влажности воздуха при прохождении через паковки влажностью менее 16%. Влагосодержание воздуха на выходе из паковки d_2 определяется по формуле (1) для соответствующих значений φ и p_n при температуре t_2 .

Тогда скорость сушки, определяемая как масса влаги, испаряемой за единицу времени с единицы высоты паковки, определяется разностью влагосодержаний воздуха до и после прохода через паковку:

$$D_w = (d_2 - d_1)(1 - d_1) c \rho.$$

Воздушные потоки от различных паковок имеют неодинаковые параметры, поэтому для смешанного потока температура и влажность воздуха на входе в охладитель

находится по соответствующим зависимостям [2]. Расчет охладителя аналогичен расчету теплообменника, из расчета определяется температура и относительная влажность выходящего воздуха. В процессе охлаждения (при температуре выше точки росы) влагосодержание не меняется, и относительная влажность может быть выражена из формулы (1). Если она превышает 100% (произошло выпадение влаги), значение усекается до 100%. Цикл расчета процесса сушки повторяется до высыхания всех паковок до заданного значения влажности. Полное гидравлическое сопротивление циркуляционной системы аппарата СКД-6 (по данным испытаний [3]) и текущее сопротивление влажного материала учитываются при определении положения рабочей точки на характеристике воздухоудувки.

Данная модель реализована в программе DRYING1 на языке Delphi 7.

Входными параметрами для расчета являются:

- высота паковки, ее масса и конечная влажность, количество паковок в столбе;
- начальная влажность каждой паковки;
- коэффициенты многочлена 4 степени, задающего зависимость сопротивления каждой паковки от ее влажности (определяются экспериментально);
- тип стержня носителя материала (с однополостным или двухполостным движением среды) и его характеристики (площади сечения полостей, коэффициенты их гидравлического сопротивления; расположение, площади сечения и коэффициенты сопротивления отверстий, подводящих поток из внутренней полости);
- параметры стыка патронов, опреде-

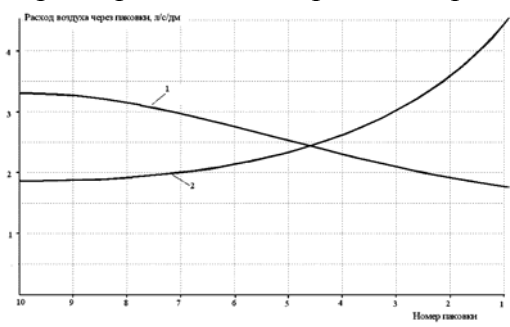


Рис. 1

ляющие величину утечки рабочих сред;

- плотность воздуха с учетом избыточного давления в сушилке;
- начальное направление циркуляции и период ее изменения;
- коэффициенты многочлена 3 степени, задающего напорную характеристику воздухоудувки;
- параметры охладителя и нагревателя (количество, диаметр и длина трубок, шаг установки трубок в пучке);
- давление насыщенного пара в теплообменнике, температура и расход охлаждающей воды;
- шаг интегрирования по времени и координате и другие параметры управления вычислительным процессом (относительные погрешности, лимит итераций и др.);
- номер паковки, для которой выводятся графики зависимости параметров процесса сушки от времени.

Результатами расчета являются:

- семейство графиков распределения влажности по высоте столба паковок в процессе сушки;
- область кривых сушки столба паковок в целом;
- график изменения расхода воздуха через столб паковок в процессе сушки;
- график изменения сопротивления столба паковок в процессе сушки;
- график изменения максимальной температуры паковок в процессе сушки;
- график изменения скорости сушки выбранной паковки в процессе сушки;
- графики изменения температуры воздуха после охладителя и после нагревателя в процессе сушки;
- графики распределения расхода воздуха через паковки по высоте столба.

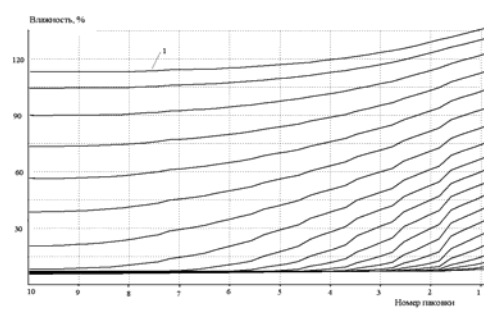


Рис 2

Рассмотрим результаты моделирования процесса сушки льняной пряжи 56×2 текс на серийном стержне носителе материала аппарата АКДС-601. Очевидно, что при прочих равных условиях минимальное время сушки получается при одновременном высыхании всех паковок столба. При моделировании процесса сушки на отдельно взятом стержне на ее равномерность оказывают влияние два фактора: неравномерность распределения расхода воздуха через паковки столба и начальная неравномерность распределения влажности. Распределение расхода воздуха при прямой (кривая 1) и обратной (кривая 2) циркуляции для сухих паковок при расходе 38 л/с представлены на рис.1, а распределение влажности перед сушкой – на рис.2, кривая 1.

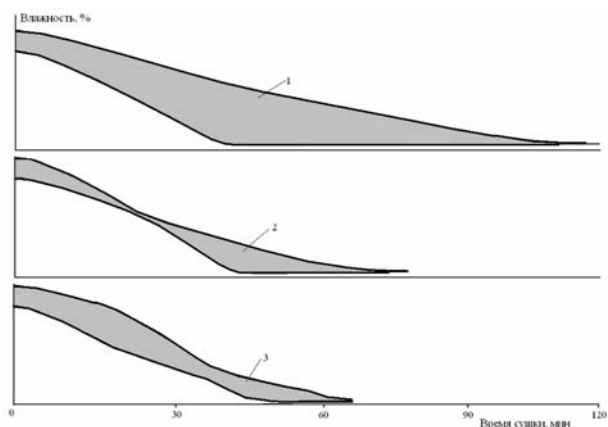


Рис. 3

Видно, что при прямой циркуляции оба фактора совместно усиливают неравномерность сушки, так как повышенный расход сушильного агента через верхние паковки, имеющие наименьшую начальную влажность, вызывает известный эффект неустойчивости в системе объект сушки – сушильный агент в связи с чем начальные различия в скорости сушки в процессе ее хода еще больше усиливаются. Это хорошо видно на рис. 3 (поз.1), где приведена область кривых сушки столба, ограниченная огибающими кривых сушки всех его паковок.

Если производить сушку при обратной циркуляции, действие указанных факторов частично взаимно компенсируется, благодаря чему неравномерность влажности на первом этапе уменьшается, сокращая время сушки столба в целом (рис.3, поз.2).

При двусторонней циркуляции, используемой для снижения вредного воздействия высокой температуры на физико-механические свойства пряжи, преимущество в скорости сушки поочередно получают то верхние, то нижние паковки, и неравномерность влажности изменяется не монотонно (рис.3, поз.3).

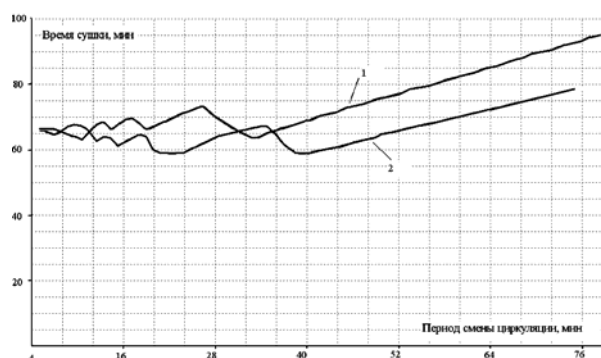


Рис. 4

Влияние периодичности изменения направления циркуляции на время сушки представлено на рис.4. Кривая 1 соответствует начальному направлению циркуляции от центра к периферии паковок (прямая циркуляция), кривая 2 – обратному направлению. При частой смене циркуляции неустойчивость не успевает развиваться, и неравномерность по влажности в процессе сушки остается практически постоянной, при этом первоначальное направление циркуляции не влияет на время сушки.

Расчеты показывают, что при заданном начальном распределении влажности можно выбрать такое значение периода изменения ее направления, при котором паковки столба высыхают почти одновременно, обеспечивая минимальное время сушки. В условиях вычислительного эксперимента при периоде 21...23 мин время сушки составило 58 мин, что лишь на 1,7 мин превышает расчетное время сушки при полном отсутствии неравномерности.

ВЫВОДЫ

1. Уточнена и реализована в виде программы для персонального компьютера математическая модель, пригодная для прогнозирования и оптимизации процесса сушки столба паковок в аппаратах типа СКД.

2. Показана возможность сокращения времени сушки за счет выбора оптимального периода изменения направления циркуляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Киселев Н.В.* Оптимизация процессов фильтрации рабочих сред через столб паковок в аппаратах с неполным заполнением жидкостью: Дис...канд. техн. наук. - Кострома: КТИ, 1986.

2. Техническая термодинамика / Под ред. В.И.Крутова. – М.: Высшая школа, 1981. С.172.

3. Исследование факторов, интенсифицирующих процесс сушки, с целью создания аппарата СКД-62. – Отчет КТИ ГРН№01870021056. – Кострома: КТИ, 1987. С.64.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин и проектирования текстильных машин. Поступила 21.06.2006.
