

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СУШКИ ПРЯЖИ В МАШИНАХ СП-8-Л2

В.М.КАРАВАЙКОВ, И.С.СМИРНОВ

(Костромской государственной технологической университет)

Для получения льняной пряжи высоких номеров применяется мокрое прядение, процесс которого требует сушки прядильных паковок. Сушка паковок, в свою очередь, осуществляется при больших затратах тепловой и электрической энергии. В существующих сушильных установках типа СП-8-Л2 применяется разомкнутая схема движения сушильного агента – отработанный влажный горячий воздух после сушки выбрасывается в атмосферу.

Сушильная установка СП-8-Л2 коридорного типа, восьмисекционная с двумя параллельными сушильными коридорами, в которых размещаются 16 тележек, несущих на себе кассеты с пряжей (около 30 кассет на каждой тележке). Пряжа сушится

на прядильных патронах путем обдувки горячим воздухом с наружной и внутренней стороны намотки. Сушильный агент – воздух – нагревается в калориферах, в которых в качестве горячего теплоносителя используется влажный насыщенный пар.

Измерение теплоэнергетических параметров теплоносителей и сушильной установки осуществлялось с помощью современных измерительных приборов: расходомера Взлет-ПР, портативного ультразвукового расходомера-счетчика для воды и пара Днепр-7, инфракрасного термометра RAYST60, цифрового термометра ЕТІ-2001, термоанемометра КМ4007.

Параметры работы сушильной машины СП-8-Л2 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование оборудования	Давление пара, кг/см <sup>2</sup>	Температура пара, °С	Средний расход пара, м <sup>3</sup> /ч (кг/ч)	Длительность одного цикла, ч	Загрузка машины, кг пряжи
СП-8-Л2	3,8...4	144	65,95 (164,8)	5	100
Расход тепловой энергии (часовой)			0,082 Гкал/ч		
Энергоемкость процесса сушки			0,0041 Гкал/кг пряжи		

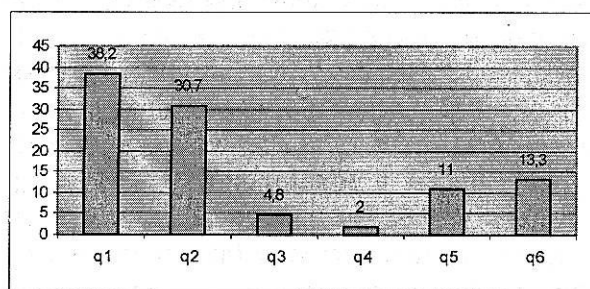


Рис. 1

По результатам энергетического обследования и теплотехнических расчетов [1] определены статьи расхода тепловой энергии (рис. 1) и составлен удельный тепло-

вой баланс (ккал/кг пряжи) сушильной машины СП-8-Л2 (табл.2):

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \quad (1)$$

где  $q_1$  – расход тепла на испарение влаги;  $q_2$  – потери тепла с отработанным воздухом;  $q_3$  – расход тепла на нагрев продукта (пряжи);  $q_4$  – расход тепла на нагрев транспортных устройств;  $q_5$  – потери тепла через ограждения машины в окружающую среду;  $q_6$  – потери тепла с отводимым конденсатом.

Приход тепла	Статьи расхода тепла					
	q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	q <sub>3</sub>	q <sub>4</sub>	q <sub>5</sub>	q <sub>6</sub>
q	1409,5	1132,8	177,12	73,8	405,98	490,77
3690	38,2%	30,7%	4,8%	2%	11%	13,3%
100%	100%					

Теплота, подводимая с воздухом, пряжей, транспортными средствами учитывается в статьях q<sub>1</sub>, q<sub>2</sub>, q<sub>3</sub>, q<sub>4</sub>.

Из теплового баланса сушильной машины видно, что значительные расходы тепловой энергии приходятся на испарение влаги и потери тепла с отработанным воздухом. Потери тепловой энергии через ограждения по результатам испытаний составляют 11%, что значительно отличается от допускаемых потерь 5%.

В ходе обследования было замечено, что температура на поверхности теплового ограждения лежит в допускаемых пределах до 40°C. Было установлено, что причиной этих потерь являются неплотности в ограждениях и нетеплоизолированные воздуховоды, которые приводят к значительным теплоизбыткам внутри цеха. В связи с этим в системе кондиционирования цеха приходится увеличивать расход приточного воздуха с более низкой температурой для стабилизации микроклимата внутри помещения, что приводит к дополнительным затратам энергии, особенно в летний период года.

Для повышения термического к.п.д. теплотехнической установки предложено вторичное использование тепла сбросного воздуха. Эта тепловая энергия может быть использована на различные производственно-технические нужды. Например: нагрев приточного воздуха системы общеобменной вентиляции, нагрев воздуха местных систем вентиляции, нагрев приточного воздуха сушилки СП-8-Л2.

С нашей точки зрения, целесообразно осуществлять нагрев приточного воздуха, поступающего в сушилку. В этом случае система утилизации тепла получается достаточно компактной. Меньше протяженность воздуховодов, их аэродинамическое сопротивление. Для более полного использования энергии отработанного воздуха

целесообразно нагревать им приточный воздух, забираемый с улицы, который в зимнее время будет иметь отрицательную температуру и глубоко охлаждать сбросной воздух.

На основании аэродинамического расчета различных вариантов схем системы утилизации, с учетом упрощения монтажа и эксплуатации оборудования выбрана оптимальная схема. Отработанный воздух из сушилки по воздуховоду подается в теплообменник (теплоутилизатор), из которого поступает в вытяжной вентилятор и далее по воздуховоду выбрасывается в атмосферу. Свежий воздух приточным вентилятором подается в теплообменник, нагревается и подается во всасывающие линии вентиляторов 7-й и 8-й зон сушилки. В качестве теплоутилизатора применен пластинчатый теплообменник.

Суммарное аэродинамическое сопротивление сбросного воздушного тракта с учетом сопротивления теплоутилизатора  $\Delta p_c = 1877,9 \text{ Па}$ , приточного воздушного тракта  $\Delta p_c = 837,5 \text{ Па}$  [2]. На основании этих расчетов выбраны вытяжной и приточный вентиляторы.

Применение разработанной системы утилизации тепла сбросного воздуха позволяет снизить энергоемкость процесса сушки пряжи в машинах СП-8-2Л более чем на 20%. Рекомендованы и другие энергосберегающие мероприятия: использование тепла отводимого конденсата, ликвидация неплотностей в ограждениях сушилки, тепловая изоляция воздуховодов. В результате этих мероприятий энергоемкость может быть снижена еще на 5...10%.

Снижение затрат тепловой энергии возможно и за счет интенсификации процесса сушки, то есть уменьшения времени сушки при неизменных расходах тепловой энергии. В настоящее время продолжи-

тельность сушки в сушильной машине СП-8-Л2 составляет примерно 5 ч.

Продолжительность сушки при конвективном способе определяется по формулам [3]:

для периода постоянной скорости

$$\tau_1 = \frac{1}{N}(u'_n - u'_{кр}), \quad (2)$$

для периода падающей скорости

$$\tau_2 = \frac{u'_{кр} - u'_p}{N} 2,3 \lg \frac{u'_{кр} - u'_p}{u'_к - u'_p}. \quad (3)$$

Общая продолжительность сушки

$$\tau_{общ} = \tau_1 + \tau_2. \quad (4)$$

Вследствие неравномерного омывания материала воздухом, наличия «мертвых зон» вводится поправочный коэффициент 1,5...2. Приближенное уравнение для определения продолжительности сушки (без учета равновесного влагосодержания) имеет вид [3]:

$$\tau_{общ} = \frac{u'_n - u'_{кр}}{N} + \frac{u'_{кр}}{N} 2,3 \lg \frac{u'_{кр}}{u'_к}, \quad (5)$$

где  $N$  – скорость сушки в первом периоде, выражаемая числом килограммов влаги (на 1 кг сухого вещества), испаряемой за 1с;  $u'_n, u'_{кр}, u'_к, u'_p$  – соответственно начальное, критическое, конечное и равновесное влагосодержание материала (считая на сухое вещество).

Скорость сушки может быть определена через коэффициент массоотдачи [3]. Поскольку количество испаренной влаги

$$W = \beta F \Delta \chi_{ср}, \quad (6)$$

то

$$N = \frac{W}{G_{сух}} = \frac{\beta F \Delta \chi_{ср}}{G_{сух}}, \quad (7)$$

где  $\beta$  – коэффициент массоотдачи в газовой фазе;  $F$  – площадь поверхности испарения;  $\Delta \chi_{ср}$  – среднелогарифмическая величина движущей силы;  $G_{сух}$  – производительность сушилки по абсолютно сухому материалу.

Коэффициент массоотдачи определяется из критериального уравнения [3]:

$$Nu'_r = A Re_r^n (Pr'_r)^{0,33} Gu^{0,135}, \quad (8)$$

где критерий Нуссельта  $Nu'_r = \frac{\beta \ell}{D}$ ; критерий Рейнольдса  $Re_r = \frac{w \ell}{\nu}$  и критерий

Прандтля  $Pr_r = \frac{\nu}{D}$  определяются для температуры газа [1].

Определяющим размером при вычислении критериев Нуссельта, Рейнольдса является длина  $\ell$  поверхности испарения в направлении движения сушильного агента.

Параметрический критерий Гухмана  $Gu = \frac{T_c - T_m}{T_c}$ , где  $T_c$  и  $T_m$  – температуры сухого и мокрого термометров.

Движущая сила процесса сушки может быть выражена как разность влагосодержаний воздуха насыщенного  $x_{нас}$  (в поверхностном слое) и ненасыщенного  $x$  (в ядре воздушного потока):

$$\Delta x = x_{нас} - x.$$

Среднелогарифмическая величина движущей силы

$$\Delta \chi_{ср} = \frac{\Delta x_{max} - \Delta x_{min}}{\ln \frac{\Delta x_{max}}{\Delta x_{min}}}.$$

Из уравнений (5)...(7) можно сделать вывод, что при увеличении площади поверхности активного теплообмена паковок с пряжей (за счет увеличения диаметра и высоты паковок) увеличивается скорость сушки, что приводит к уменьшению продолжительности сушки при тех же затратах тепловой энергии. Интенсификация

тепломассообмена в процессе сушки может быть получена и при уменьшении плотности намотки пряжи.

## ВЫВОДЫ

1. По результатам энергетического обследования и теплотехнических расчетов определены статьи расхода тепловой энергии и составлен тепловой баланс сушильной машины СП-8-Л2.

2. Определены мероприятия по повышению энергоэффективности процесса сушки, позволяющие снизить энергоемкость процесса более чем на 25%.

3. Определено направление интенсификации тепло- и массообмена в процессе

сушки прядильных паковок, что повышает энергоэффективность этого процесса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1975.

2. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1975.

3. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1976.

Рекомендована кафедрой прядения. Поступила 30.05.05.