

2. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов. — М.: Энергоатомиздат, 1982.-207 с.
3. Нейман Л.Р., Демирчан К.С. Теоретические основы электротехники, Ч.2 — Л.:198.-331 с.

### SUMMARY

In this work have analyzed the nature of interaction between UV emission and various textiles on the experimental device. We have explored the dependence of UV emission absorption level on different characteristics of textiles.

УДК 677.072.786

## ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ТЕПЛООБМЕН ПРИ ПНЕВМОТЕРМОТЕКСТУРИРОВАНИИ ХИМИЧЕСКИХ НИТЕЙ

А.И. Ольшанский, В.И. Ольшанский,  
А.А. Кузнецов

Известно, что процесс получения пневмотекстированных химических комбинированных нитей в камерах ПТУ с использованием воздушных тепловых потоков происходит совместно с термостабилизацией [1]. Процесс термостабилизации нитей обеспечивает высокое качество обработки: безусадочность, устойчивость к деформациям, повышенную сорбционную способность, несминаемость, прочность. Длительность процесса тепловой обработки нитей зависит от вида применяемого теплоносителя и его температуры, при этом природа волокна на длительность термообработки существенно не влияет. Технологическая схема процесса пневмотермотекстирования нитей представлена на рис. 1.

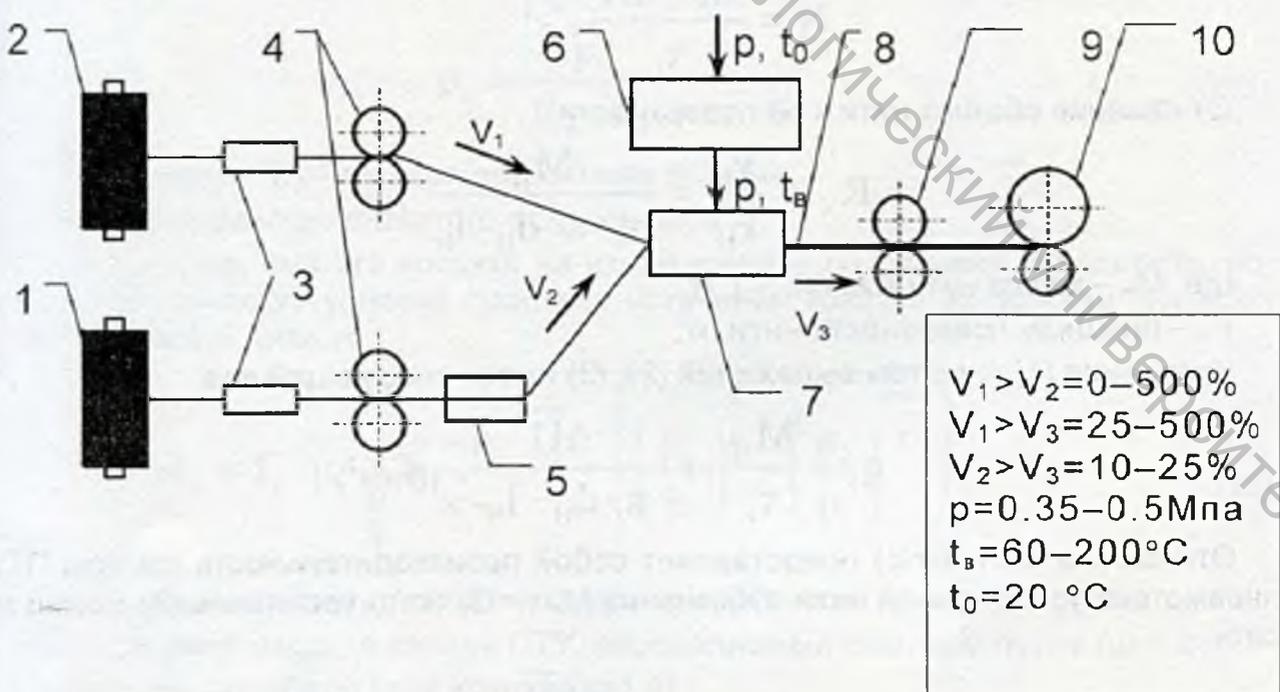


Рисунок 1 - Технологическая схема процесса пневмотермотекстирования химических нитей

Способ осуществляется следующим образом. Стержневая 1 и нагонная 2 нити подаются питающей парой 4 через нитенатяжители 3 в аэродинамическое устройство 7 со скоростями соответственно  $V_1$  и  $V_2$ . Предварительно стержневой компонент подвергается увлажнению в устройстве 5. Формирование структуры ПТТН осуществляется в аэродинамическом устройстве (АУ) 7, воздушным тепловым потоком. Термодинамические режимы процесса пневмотекстурирования обеспечиваются блоком тепловой подготовки воздуха (БТПВ) 6. Из АУ сформированная нить 8 отводится выпускной парой 9 и наматывается на выходную паковку 10 массой до 2 кг.

Так как в камере ПТУ предварительно увлажненная нить взаимодействует с нагретым сжатым воздухом с температурой  $t_b=120-150$  °С и давлением  $p=0,35-0,55$  МПа, то процесс термостабилизации представляет собой сложный процесс тепло-массообмена, сопровождающийся физико-механическими изменениями свойств нити. В этих условиях процесс пневмотекстурирования увлажненных нитей можно рассматривать как процесс высокоскоростной сушки тонких капиллярнопористых материалов. Как показала практика сушки тонких тканых изделий, нитей процесс обезвоживания происходит в период постоянной скорости сушки вплоть до равновесного влагосодержания.

Плотность теплового потока для периода постоянной скорости сушки (термообработки) определяется следующим соотношением:

$$q_l = r \cdot \rho_0 \cdot R_v \cdot N, \text{ (Вт/м}^2\text{)} \quad (1)$$

где  $r$  – удельная теплота парообразования (Дж/кг);

$\rho_0$  – плотность сухого тела (кг/м<sup>3</sup>);

$R_v$  – отношение объема тела (нити) к поверхности, м;

$N$  – скорость сушки в периоде постоянной скорости ( $N = d\bar{U}/d\tau = \text{const}$ )

Скорость сушки в первом периоде определяется по начальному  $\bar{U}_0$  и конечному  $\bar{U}_k$  или равновесному  $\bar{U}_p$  влагосодержанию нити за время термообработки в камере ПТУ:

$$N = \frac{\bar{U}_0 - \bar{U}_k}{\tau_1}, \text{ с}^{-1} \quad (2)$$

Отношение объема нити к её поверхности

$$R_v = \frac{V_H}{F_H} = \frac{M_H}{\rho_0 \cdot \pi \cdot d_H \cdot l_H} \text{ (м)}, \quad (3)$$

где  $M_H$  – масса нити ( $M_H=V_H \cdot \rho_0$ ), кг;

$F_H$  – площадь поверхности нити, м<sup>2</sup>;

Уравнение (1) с учётом выражений (2), (3) имеет следующий вид:

$$q_l = \frac{M_H}{\tau_1} \cdot r \cdot \frac{\Delta \bar{U}}{\pi \cdot d_H \cdot l_H}, \text{ (Вт/м}^2\text{)}. \quad (4)$$

Отношение  $M_H/\tau_1$  (кг/с) представляет собой производительность камеры ПТУ по пневмотекстурированной нити. Обозначив  $M_H/\tau_1=G_H$  (кг/с) уравнение (4) можно записать:

$$q_l = G_H \cdot r \cdot \frac{\Delta \bar{U}}{\pi \cdot d_H \cdot l_H}, \text{ (Вт/м}^2\text{)}. \quad (5)$$

Мощность теплового потока, подводимая в блоке тепловой подготовки воздуха (БТПВ) (рис.2), определяется:

$$Q = M_B \cdot C_B \cdot (t_B - t_0), \text{ Вт} \quad (6)$$

где  $M_B, C_B$  – массовый расход и теплоёмкость воздуха;

$t_B, t_0$  – начальная и конечная температура нагреваемого воздуха.

Уравнение теплового баланса для камеры ПТУ можно записать

$$Q = q_I \cdot F_k = M_B \cdot C_B \cdot (t_B - t_0), \text{ Вт} \quad (7)$$

где  $F_k = \pi d^2/4$  – площадь поперечного сечения транспортирующего канала ПТУ.

Решая уравнения (5) и (7) получим

$$G_H = \frac{4 \cdot M_B \cdot C_B \cdot \Delta t}{d_k^2} \cdot \frac{d_H \cdot l_k}{r \cdot \Delta U}, \quad (8)$$

где  $l_H = l_k$  – длина нити, м.

Уравнение (8) можно представить в следующем виде:

$$G_H = \frac{4 \cdot f_k \cdot W_k \cdot \rho_B \cdot C_B \cdot \Delta t}{r \cdot \Delta U} \cdot \frac{d_H}{d_k^2} \cdot l_k, \quad (9)$$

где  $M_B = f_k \cdot W_k \cdot \rho_B$  – массовый расход воздуха;

$W_k$  – скорость воздуха в канале ПТУ, м/с;

$\rho_B$  – плотность сжатого воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Таким образом, массовая производительность камеры ПТУ по обрабатываемой нити зависит только от геометрических характеристик пневмотекстурирующего устройства, расхода сжатого воздуха и теплофизических параметров теплоносителя.

Скорость воздушного потока в камере ПТУ и плотность воздуха рекомендуется определять согласно следующих соотношений:

$$W_k = \frac{4 \cdot M_B}{\rho_B \cdot \pi \cdot d_k^2}, \quad (10)$$

$$\rho_B = \frac{p_1}{R_B \cdot T_B}, \quad (11)$$

где  $R_B = 287$  (Дж/кг·°К) – газовая постоянная воздуха;

$p_1$  – начальное давление сжатого воздуха, МПа.

Массовый расход сжатого воздуха на входе камеры ПТУ можно определить, исходя из адиабатических условий процесса истечения воздуха из полости высокого давления в полость низкого:

$$M_B = f_k \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot \frac{p_1}{\nu_1} \cdot \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]}, \quad (12)$$

где  $\nu_1$  – удельный объем сжатого воздуха при давлении  $p_2$  (м<sup>3</sup>/кг);

$\mu$  – коэффициент расхода канала ПТУ, определяемый опытным путем ( $\mu \approx 0,2 \div$ );

$\kappa$  – показатель адиабаты (для воздуха  $\kappa = 1,4$ ).

В полости низкого давления камеры ПТУ при адиабатном истечении устанавливается такое давление  $p_2$ , что отношение давлений  $p_2/p_1$  становится равным критическому отношению равному

$$\beta_{кр} \approx 0,528 \left( \beta_{кр} = \left( \frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} \right).$$

Поэтому формулу (12) более удобно представить в виде:

$$M_B = \mu \cdot f_{\kappa} \cdot \frac{p_1}{\sqrt{T_B}} \cdot \sqrt{\frac{2\kappa}{R \cdot (\kappa - 1)}} \cdot \sqrt{\beta_{кр}^{\frac{2}{\kappa}} - \beta_{кр}^{\frac{\kappa + 1}{\kappa}}} \quad (13)$$

Для создания заданных температурных режимов сжатого воздуха используется блок тепловой подготовки воздуха (БТПВ). Структурная схема БТПВ представлена на рис.2.

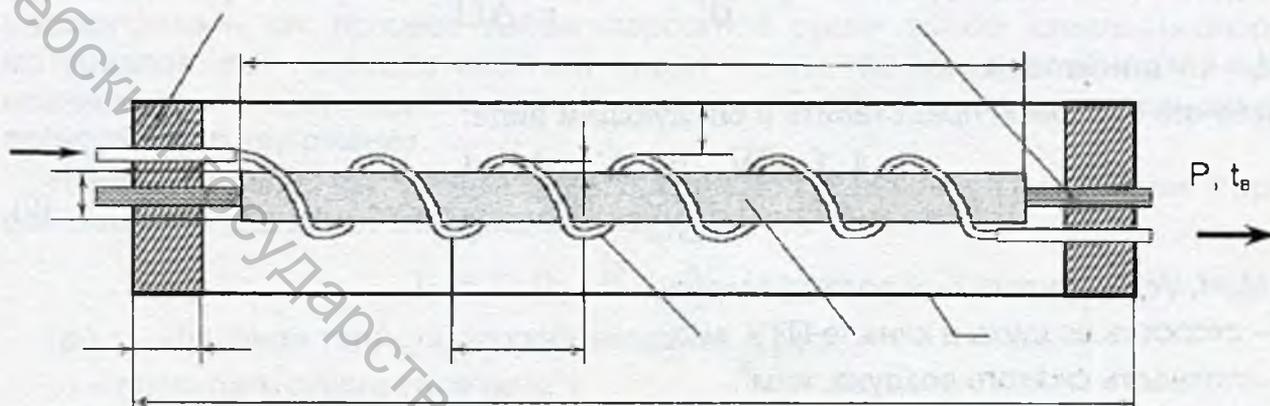


Рисунок 2 - Структурная схема блока тепловой подготовки воздуха

В качестве теплового излучателя 3 используется кварцевая лампа типа КР 220 мощностью 1 кВт. Корпус блока 5 выполнен в виде цилиндрической поверхности (длина  $L=250$  мм, диаметр  $D=50$  мм) из керамического термостойкого материала. Торцевые поверхности 1 корпуса изготовлены из термостойкого пористого материала (шамот). Сжатый воздух, проходя по спиралеобразной пневмолинии, изготовленной из материала с высоким коэффициентом теплопроводности (медь), нагревается до заданной температуры. Регулировка температурного режима осуществляется за счет изменения напряжения, подводимого к контактам 4 излучателя 3. Тепловая изоляция БТПВ выполнена из материала с низким коэффициентом теплопроводности и считается идеальной. Как следует из рис.2, процесс теплообмена между тепловым излучателем 3 и сжатым воздухом в пневмолинии 2 происходит по схеме теплопередачи. От излучателя 3 перенос тепла к поверхности пневмолинии осуществляется излучением, через корпус трубки теплопроводностью, от поверхности трубки к сжатому воздуху конвективным теплообменом.

Тепловой поток, подводимый к нагреваемому сжатому воздуху в стационарных условиях, определяется по уравнению теплопередачи:

$$Q = K \cdot F_{пл} \cdot (t_{изл} - t_B), \quad (14)$$

где  $K$  – коэффициент теплопроводности, Вт/м<sup>2</sup>·град;

$F_{пл}$  – площадь поверхности нагрева пневмолинии, м<sup>2</sup>;

$t_{изл}$  – температура поверхности излучателя;

$t_B$  – температура поверхности излучателя;

Поверхность нагрева пневмолинии:

$$F_{пл} = \pi \cdot d_{пл} \cdot L_{пл}, \quad (15)$$

где  $d_{пл}$ ,  $L_{пл}$  – диаметр и общая длина спиралеобразной пневмолинии.

В соответствии со схемой БТПВ (рис.2) длина пневмолинии

$$L_{пл} = n \cdot [2 \cdot \pi (r_{изл} + x) + h], \quad (16)$$

где  $r_{изл}$  – радиус излучателя, м;  $x$  – зазор между излучателем и поверхностью пневмолинии;  $h$  – шаг спиралеобразной пневмолинии;  $n$  – количество витков.

Коэффициент теплопередачи определяется по соотношению:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{изл}} + \frac{\delta_{пл}}{\lambda_{пл}} + \frac{1}{\alpha_{в}}}, \quad (17)$$

Термическим сопротивлением  $\delta_{пл}/\lambda_{пл}$  можно пренебречь, так как толщина стенки пневмолинии  $\delta_{пл}=0,5$  мм, а коэффициент теплопроводности меди  $\lambda_{пл}=380$  Вт/м<sup>2</sup>·град. Тогда формула (17) примет следующий вид:

$$K = \frac{\alpha_{изл} \cdot \alpha_{в}}{\alpha_{изл} + \alpha_{в}} \quad (18)$$

Из уравнения (18) следует, что значение коэффициента теплопередачи  $K$  всегда меньше меньшего из значений  $\alpha$ .

Для определения порядка величин значений коэффициентов теплоотдачи в камере БТПВ использовалась известная методика расчёта теплообмена излучением и конвекцией [2].

Коэффициент теплообмена в замкнутом пространстве определяется по уравнению:

$$\alpha_{изл} = \varepsilon_{пр} \cdot C_0 \cdot \frac{\left[ \frac{T_{изл}}{100} \right]^4 - \left[ \frac{T_{в}}{100} \right]^4}{T_{изл} - T_{в}}, \quad (19)$$

где  $C_0$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>).

Приведенная степень черноты для теплообмена излучением в замкнутом пространстве определяется:

$$\varepsilon_{пр} = \frac{1}{\varepsilon_1 + \frac{F_1}{F_2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}, \quad (20)$$

где  $\varepsilon_1=0,9$  – степень черноты кварцевого излучателя;

$\varepsilon_2=0,85$  – степень черноты окисленной меди;

$F_1, F_2$  – меньшая и большая поверхность БТПВ (рис.2).

Для расчёта конвективного теплообмена в пневмолинии БТПВ при турбулентном режиме движения применяется формула:

$$Nu_{ж,d} = 0,018 \cdot Re_{ж,d}^{0,8}, \quad (21)$$

где  $Nu, Re$  – теплообменные критерии Нуссельта и Рейнольдса.

При решении уравнения (21) за определяющий линейный размер принимается диаметр пневмолинии, за определяющую температуру – температуру нагретого воздуха.

Анализ решений уравнений (19) и (21) показал, что порядок значений коэффициентов теплообмена излучением  $\alpha_{изл}$  и конвекцией  $\alpha_{в}$  в пневмолинии одинаков. Во всём интервале изменения температуры сжатого воздуха от 60°C до 150°C, скоро-

сти воздуха в пневмолинии  $W \approx 25-75$  м/с, температуры поверхности излучателя от  $500^\circ\text{C}$  до  $650^\circ\text{C}$  коэффициенты теплообмена принимали значения:  $\alpha_{\text{изл}} \approx 50-90$  Вт/(м<sup>2</sup>·град),  $\alpha_{\text{в}} \approx 90-150$  Вт/(м<sup>2</sup>·град).

Интенсивность теплообмена при прохождении нити через ПТУ для периода постоянной скорости сушки с одновременным процессом термостабилизации рассчитывается по уравнению Ньютона–Рихмана:

$$q_1 = \alpha_{\text{в}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{п}}) = \text{Nu} \cdot \frac{\lambda_{\text{в}}}{l_{\text{к}}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{п}}), \quad (22)$$

где  $\lambda_{\text{в}}$  – коэффициент теплопроводности воздуха при  $t_{\text{в}} = 120^\circ\text{C}$ ;

$l_{\text{к}} = l_{\text{н}}$  – длина нити вдоль потока воздуха.

Теплообменный критерий Нуссельта определяется по уравнению (21), где за определяющий размер принимается длина транспортирующего канала ПТУ (длина обрабатываемой нити). Коэффициент теплоотдачи от сжатого воздуха к поверхности нити в процессе термостабилизации определяется как

$$\alpha_{\text{в}} = \text{Nu} \cdot \frac{\lambda_{\text{в}}}{l_{\text{к}}}. \quad (23)$$

Температура поверхности нити  $t_{\text{п}}$ , равная температуре мокрого термометра  $t_{\text{м}}$ , определяется по закону конвективного теплообмена:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{м}} = t_{\text{в}} - \frac{q_1}{\alpha_{\text{в}}}. \quad (24)$$

При расчётах теплообмена в БТПВ и камере ПТУ необходимо иметь в виду, что значения коэффициентов теплообмена всегда будут иметь различные значения, так как в первом случае имеет место теплопередача, а во втором теплообмен, осложнённый массообменом.

Приведенная методика расчёта производительности ПТУ в условиях влажно-тепловой обработки позволяет определить основные режимы процесса пневмотекстурирования химических нитей с учётом их свойств и осуществить проектирование блока тепловой подготовки воздуха. Методика может быть использована при проектировании процесса пневмотекстурирования химических нитей различного сырьевого состава.

#### Список использованных источников

1. Кузнецов А.А., Ольшанский В.И., Коган А.Г. Совершенствование технологии пневмотекстурирования химических нитей. // Текстильная промышленность. – 2002. – №5, с.13–18.
2. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи., М., «Энергия». – 1977, 344 с., С.38–45.

#### SUMMARY

On the basis of the analysis of processes warmly and a mass transfer at pneumothermotexturing were design procedure of productivity of the given technological process in requirements of the damp - thermal handling designed, permitting to spot the basic modes of process pneumothermotexturing chemical hairlines in view of their properties and to realize designing the block of thermal preparation of air. The procedure may be used at designing process pneumothermotexturing chemical hairlines of a various raw composition.