

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТЯГИВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ТЕХНИКИ**

*Н.Е. ЛЮСОВА, А.Ф. КАПИТАНОВ, Л.А.МАРЮШИН, И. А. КУРОЧКИН*

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

Цель данного исследования заключалась в определении величины тепловой энергии [1], обусловленной перемещением волокон утоняемого продукта в различных сечениях поля вытягивания вытяжного прибора ленточной двухпольной машины ЛМШ-220-1Т.

Вытягивание ленты  $T = 24$  ктекс (шерсть меринос 64<sup>к</sup>, сорная, I длины) осуществлялось при следующих условиях: загрузка гребенного поля 144 г/м; вытяжка 5,0; разводка 305мм; "вредное" пространство 38 мм; гребни набраны плоскими иглами №21; число игл на 1 см 6; нагрузка в выпускной паре 3000 Н.

Для определения удельной тепловой энергии единицы длины каждого из волокон мычки использован экспериментально-расчетный метод.

Вначале экспериментально оценивали температуру трфрикционных контрпар,

взаимодействующих в процессе вытягивания, для чего применяли метод термографии – тепловидение, который позволяет проводить цветовую визуализацию объектов (деталей вытяжного прибора, мычки) с использованием инфракрасного излучения их поверхности.

Цвет объекта или его отдельной части разрешает оценить температуру в данном месте поверхности объекта. Использовалась тепловизионная система на базе инфракрасной камеры ThermaCam™ SC 3000, включающая ИК-камеру с 20° объективом, пульт дистанционного управления и программное обеспечение.

Обработка экспериментальных результатов изображений температурных полей осуществлялась для вытяжного прибора машины после ее 15-минутной работы с целью установления стабильного температурного режима (режим А); после

15-минутной работы с заправленным продуктом (режим В).

На экране портативной ЭВМ отражалось температурное поле: в режиме А – выпускного цилиндра, нижнего гребенного поля; в режиме В – волокнистого продукта (мычки), расположенной на выпускном цилиндре, во "вредном" пространстве и в иглах нижнего гребенного поля.

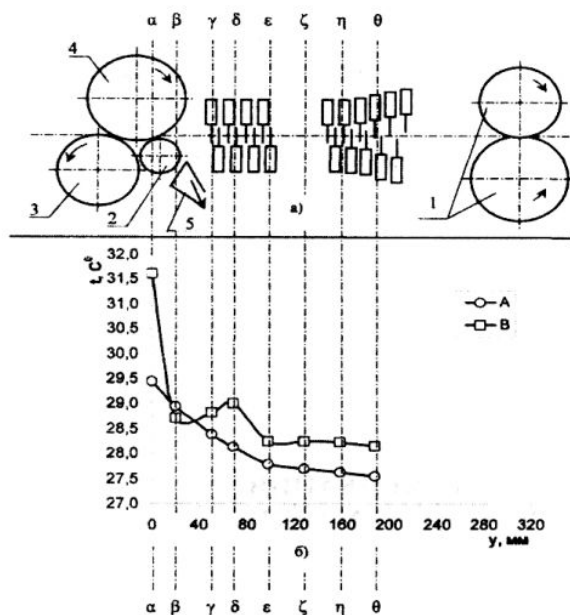


Рис. 1

Оцифрованные изображения температурных полей использовались для определения средних температур по сечениям поля вытягивания (рис 1).

Полученные результаты показывают:

- распределение температур вдоль поля вытягивания неравномерно;
- в зоне работы выпускного цилиндра разница температур обусловлена движением воздуха в направлении к всасывающему соплу воздуховода, установленному в зоне работы выпускного цилиндра, что ведет к интенсивному охлаждению ленты;
- значение температур выше при работе по режиму В.

В вытяжном приборе имеет место контакт следующих объектов: гребенная планка – червяк; гребенная планка – кулачок; гребенная планка – ползок; гребенная планка – направляющие; гребенная планка – щетка; гребенная планка – волок-

на мычки; вытяжной валик – вытяжной цилиндр; вытяжной валик – очистительная колодочка; цилиндр – волокна мычки; валик – волокна мычки; быстродвижущиеся волокна – медленнодвижущиеся волокна мычки; воздух – детали вытяжного прибора; воздух – волокна мычки.

Каждое из этих тел, участвующих в процессе трения, с одной стороны, генерирует тепло, а с другой стороны – служит проводником, отводящим тепло. Таким образом, контрпары являются одновременно генераторами тепловой энергии и проводниками для ее отвода.

Для установившихся режимов работы сравнение температур деталей вытяжного прибора 1) до пуска машины (температура среды, равная 25°C) с температурой режима А несет информацию об изменениях температуры, вызванных накоплением и отводом энергии трущихся деталей; 2) температуры режима А с температурой режима В – вводом продукта и соответственно процессом вытягивания.

Для определения количества выделяемого тепла при трении волокон:

- методом измерения длины одиночных волокон определяли их распределение;
- рассчитывали оптимальную функцию движения волокон, учитывающую преждевременный переход коротких волокон на скорость выпускной пары и переход длинных волокон с запаздыванием; расчет проводился согласно [2].

Оптимальная функция движения волокон описывается уравнением следующего вида:

$$S(l) = Al^3 + Bl^2 + Cl + D, \quad (1)$$

где  $A = 0,00000334$ ;  $B = -0,00079283$ ;  $C = 0,06771965$ ;  $D = -2,1002792$ .

Определим число быстродвижущихся волокон в различных сечениях поля вытягивания при помощи метода, изложенного в [3], с учетом оптимальной функции движения волокон, а также суммарную длину  $\sum L$  концов волокон, скользящих со скоростью выпускной пары в данном сечении.

Для этой цели:

– определяли секундный расход материала:

$$m_c = \frac{T_{\text{пит}} n V_{\text{пит}}}{60 \cdot 1000}, \quad (2)$$

где  $T_{\text{пит}}$  – линейная плотность продукта на питании машины, ктекс;  $n$  – число сложений;  $V_{\text{пит}}$  – скорость на питании, м/мин;  
– рассчитывали массу волокон определенной длины в массе, равной секунднему расходу материала, мг/с:

$$M = \frac{m_c P}{100}, \quad (3)$$

где  $P$  – процентное содержание волокон, %;  
– определяли массу одного волокна данной длины, мг:

$$m_1 = \frac{\pi d^2}{4} \ell \gamma, \quad (4)$$

где  $\gamma$  – плотность кератина шерсти, равная  $1,32 \text{ г/см}^3$ ;  $\ell$  – длина волокна, мм;  $d$  – диаметр волокна, мм;

– определяли число волокон определенной длины:

$$n = \frac{M}{m_1}, \quad (5)$$

Найдем значения суммарной длины всех кончиков волокон разных длин  $\sum \ell_k n$ , проходящих через сечения  $\alpha\alpha$ ,  $\beta\beta$ ,  $\gamma\gamma$ ,  $\delta\delta$ ,  $\epsilon\epsilon$ ,  $\xi\xi$  за одну секунду, и соответствующие массы:

$$m = \sum (\ell_k n) m_0, \quad (6)$$

где  $m_0$  – масса одного волокна данной длины, мг.

В табл. 1 приведены значения суммарной длины всех кончиков волокон разных длин, проходящих через сечения за одну секунду, и соответствующие им массы.

Таблица 1

L	0	20	50	68	98	128
сечение	$\alpha\alpha$	$\beta\beta$	$\gamma\gamma$	$\delta\delta$	$\epsilon\epsilon$	$\xi\xi$
$\sum \ell n$ , мм	114 096 733	79 566 727	38 853 394	20 927 042	4 903 007	522 584
m	47291	32979	16104	8674	2032	217

Примечание. L – расстояние сечения поля от зажима выпускной пары, мм.

Величины тепловой энергии в поле вытягивания  $Q_1$  и  $Q_2$  при изменении температуры тел  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$  определяли по формулам

$$Q_1 = m C_{p_m} \Delta t_1, \quad (7)$$

где  $C_{p_m}$  – удельная теплоемкость стали,  $0,09 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$  [4];  $\Delta t_1$  – разница между температурами окружающей среды и режима А работы машины.

$$Q_2 = m C_{p_{ш}} \Delta t_2, \quad (8)$$

где  $C_{p_{ш}}$  – удельная теплоемкость шерсти,  $1925 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$  [4];  $\Delta t_2$  – разница между температурами машины режима В и А.

В табл. 2 приведены результаты расчетов изменения тепловой энергии в разных сечениях при режимах А и В.

Таблица 2

Сечение	$\alpha\alpha$	$\beta\beta$	$\gamma\gamma$	$\delta\delta$	$\epsilon\epsilon$	$\xi\xi$
$\Delta Q$	183,58	27,31	3,28	5,06	6,73	8,01

Составляющие скорости можно выразить как частные производные от функции тока:

$$U = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}. \quad (6)$$

Таким образом:

$$V = \int_1^2 (Udy - vdx) = \psi(x_2y_2) - \psi(x_1y_1). \quad (7)$$

Из рис. 2 следует, что для получения линии тока результирующего потока R достаточно соединить между собой последовательные точки пересечений линий тока накладываемых потоков  $v, U$ , то есть по диагонали.

Аналитическое решение задачи о направлении и величине результирующего потока для 5...6 барабанов предлагаемого устройства для регенерации текстильных отходов вполне возможно. Но алгоритм этого решения очень громоздок.

Для решения задач подобного рода можно применить метод сеток (конечных разностей). Область непрерывного изменения аргументов (для двумерного скоростного поля)  $x$  и  $y$  заменяется множеством дискретных точек, отстоящих друг от друга на интервалы  $\Delta x, \Delta y$  – шаги измерения.

Линии, проводимые через интервалы  $\Delta x, \Delta y$ , образуют сетку; точки пересечения – узлы (1,2, 3, 4, 0, 0', 0'') (рис. 3).

Узлы рассматриваются около точек, скорости в которых могут характеризовать скоростное поле в целом, по принципу параболической интерполяции.

Дифференциальные уравнения скорости движения потока и граничные условия заменяются на сетке уравнениями в конечных разностях, то есть системами алгебраических уравнений с числом уравнений и неизвестных узловых скоростей, равным числу узлов.

Для двумерного скоростного поля, которое описывается уравнением (4), решение выглядит следующим образом.

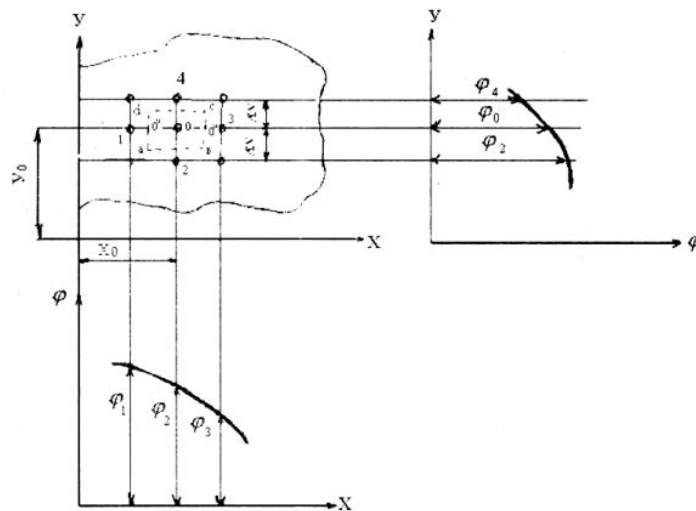


Рис. 3

В сетке с шагом  $\Delta x$  и  $\Delta y$  выделены узел 0 и соседние с ним узлы 1...4. Определим приблизительные значения производных по  $x$  справа и слева от точки 0 (в точках 0' и 0''):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \phi}{\partial x} /_{x_0 + \Delta x / 2, y_0} &= (\phi_3 - \phi_0) / \Delta x, \\ \frac{\partial \phi}{\partial x} /_{x_0 - \Delta x / 2, y_0} &= (\phi_0 - \phi_1) / \Delta x. \end{aligned} \quad (8)$$

Определим вторую производную в точке 0:

$$\begin{aligned} \partial^2 \varphi / \partial x^2 \Big|_{x_0, y_0} &\cong \frac{1}{\Delta x} \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} \Big|_{x_0 + \Delta x / 2, y_0} - \frac{\partial \varphi}{\partial x} \Big|_{x_0 - \Delta x / 2, y_0} \right) = \\ &= (\varphi_1 + \varphi_3 - 2\varphi_0) / (\Delta x)^2. \end{aligned} \quad (9)$$

Аналогично для оси у:

$$\partial^2 \varphi / \partial y^2 \Big|_{x_0, y_0} \cong (\varphi_2 + \varphi_4 - 2\varphi_0) / (\Delta y)^2. \quad (10)$$

Подставив вторые производные (9) и (10) в уравнение (4) при условии  $\Delta x = \Delta y = \Delta$ , получим так называемую разностную схему:

$$(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 - 4\varphi_0) / \Delta^2 = 0. \quad (11)$$

Уравнение (11) является алгебраическим уравнением для узла 0. Аналогичные уравнения, составленные для всех узлов сети, образуют систему уравнений, решение которых позволяет найти скорости в узлах. При этом важную роль играет проблема сходимости решения, состоящая в том, что при уменьшении величины шага решение системы алгебраических уравнений приближается сколь угодно близко к точному решению исходного дифференциального уравнения (4).

При числе узлов (достигающих даже несколько десятков) это уравнение можно решить способом подстановки уравнений Гаусса, пользуясь соответствующей программой для расчета на ЭВМ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Борзунов И.Г. Чесальные машины хлопчатобумажной промышленности. – М.: Легкая индустрия, 1971. С. 174.
2. Кулешов Е.Н., Кулешова В.И. Аэродинамические холстообразующие машины и устройства. – М.: Легкая индустрия, 1976. С.152.
3. Патент 2146730 Россия, D01G 11/04. – Оpubл. 2000.
4. Воднев В.Т. и др. Основные математические формулы. – М.: Высшая школа, 1988.

Рекомендована кафедрой прядения. Поступила 25.12.03.