

УДК 677.022:519.8:62.50.72

**АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИБОЯ УТОЧНЫХ НИТЕЙ  
К ОПУШКЕ ТКАНИ КАК ВОЛНОВОГО ПРОЦЕССА  
В СПЛОШНОЙ СРЕДЕ С КУЛОНОВСКИМ ТРЕНИЕМ**

*А.В. РАДОВ, П.А. СЕВОСТЬЯНОВ*

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

При формировании ткани в процессе приборя ударное воздействие батана распространяется на достаточно большую глубину (15...20 нитей приборной полоски). Один из способов описания процесса приборя заключается в том, что поведение кромки в области формирования нового элемента ткани имитируется сплошной средой, которой приписываются определенные механические свойства. Такое моделирование приборя дает возможность изучить волновые процессы в зоне формирования ткани. Для того, чтобы это было возможным, необходимо построить дифференциальное уравнение, описывающее поведение этой сплошной среды. Такого рода уравнения являются частным случаем общеизвестных уравнений волновых процессов в сплошных средах [1].

Поскольку ткань представляет собой плоский материал, и движение нитей в процессе приборя осуществляется в плоскости ткани, причем процесс не зависит от

координаты по ширине ткани, то волновые процессы, возникающие при приборе, являются одномерными [2] и [3]. Из этого следует, что в линейном приближении движение такой сплошной среды описывается линейным дифференциальным гиперболическим уравнением в частных производных второго порядка, в котором один аргумент – линейная координата  $x$ , направленная по направлению движения ткани, и второй аргумент – координата времени.

Особенность моделирования заключается в учете свойств самой среды, то есть свойств волокнистого материала [4]. Поскольку движение каждой прибываемой нити происходит в условиях сухого трения о нити основы, то для более точного отображения поведения нитей в зоне формирования ткани необходимо включить в волновое уравнение диссипативные члены, отвечающие за рассеяние энергии, которые учитывают сухое трение, в виде

$$m \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} = k \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} - b \frac{\partial u(x, t)}{\partial t} - c \operatorname{sign} \left( \frac{\partial u(x, t)}{\partial t} \right). \quad (1)$$

Уравнение (1) решалось численно, что позволило в деталях изучить динамику процесса приборя. Для решения уравнения была использована явная разностная схема, которая для данного варианта уравнения является одной из самых простых и в то же время вполне достаточной для получения устойчивого и надежного решения. При решении используется Эйлера система координат.

Решение осуществлялось с помощью

системы MatLab. Ниже описан алгоритм решения этого уравнения. Применим следующие обозначения для ранее введенных величин:  $m$  – масса;  $L$  – глубина (длина) участка ткани, на которой происходит моделирование;  $x$  – координата некоторой точки сплошной среды;  $T$  – интервал времени;  $N$  и  $K$  – количество точек дискретизации;  $k$  – коэффициент упругости материала;  $b$  – коэффициент вязкого трения;  $c$  – коэффициент сухого трения;  $u$  – смещение

точки  $x$  в момент  $t$  вдоль оси  $x$ ;  $S1$  – начальное смещение опушки;  $S2$  – начальная скорость;  $\delta$  – шаг по времени;  $h$  – шаг по  $x$ ;  $A$  – квадрат частоты.

Алгоритм:

1. Ввод исходных данных:  $N = 100$ ;  $K=50$ ;  $L=5$ ;  $T=1$ ;  $m=1$ ;  $k=1$ ;  $b=-0,1$ ;  $c=100$ ;  $S1 = 0$ ;  $S2 = 0$ ;

2. Вычисление шага по  $x$  и по  $t$ :  $h=L/N$ ,  $\delta = T / K$ .

3. Заполнение массива  $x$ , 1-го и 2-го столбцов матрицы решений  $U$  данными из начального условия задачи.

Для  $i = 1$  до  $N + 1$  повторить:

$x(i) = (i - 1) * h$ ;  $u(i, 1) = S1$ ;  $u(i, 2) = u(i, 1) + \delta * S2$ ;  $u(1, 2) = 0$ ;  $u(2, 2) = 1$

4. Формирование массива  $t$ , 1-й и последней строки  $U$  (матрицы решений) из граничных условий

Для  $j = 1$  до  $K + 1$  повторить:  $t(j) = (j - 1) * \delta$

Для  $j = 2$  до  $K + 1$  повторить:  $u(1, j) = 0$ ;  $u(N + 1, j) = 0$

5. Формирование матрицы решений с помощью явной разностной схемы:

Для  $j = 2$  до  $K$  повторить: Для  $i = 2$  до  $N$  повторить:

$Ar = \text{normrnd}(A, 0.2 * A)$ ;  $u(i, j + 1) = B1 * u(i - 1, j - 1) - (1 - B1) * u(i, j - 1) + Ar * u(i + 1, j) + 2 * C2 * u(i, j) + C1 * u(i - 1, j) - D * \text{sign}(u(i, j) - u(i, j - 1))$

Для иллюстрации работы алгоритма приведены результаты его реализации при исходных данных, приведенных в табл. 1. При расчетах использовались относительные единицы измерения для удобства анализа и получения качественной картины результатов.

Таблица 1

Параметр	N	K	L	T	S1	S2	m	k	B	c
Эксп. 1 (рис.1)	100	50	10	1	0	0	1	1	-0,1	100
Эксп. 2 (рис.2)	100	50	5	1	0	0	1	1	-0,1	200

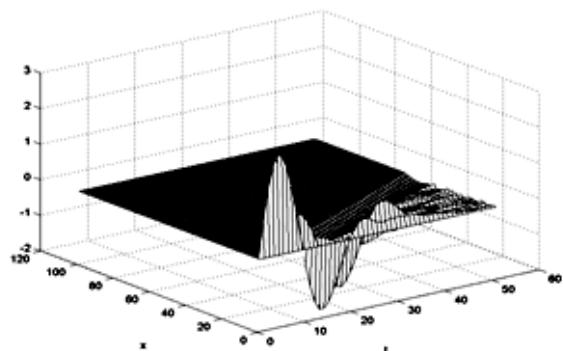


Рис. 1.

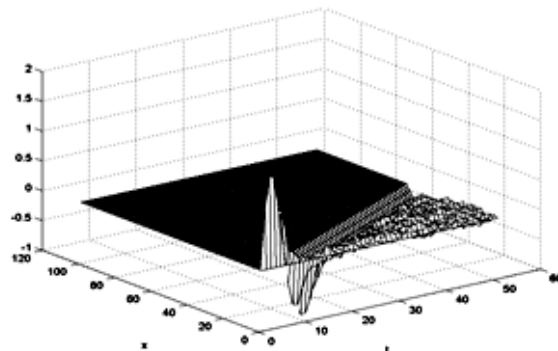


Рис. 2

Из рис. 1 и 2 видно, что с увеличением коэффициента  $c$  сухого трения происходит более быстрое затухание колебаний в прибойной полоске. Эти затухающие колебания носят более хаотический характер. Форма колебаний заметно отличается от затухающих гармонических колебаний (синусоид, косинусоид), которые описывают решения линейных волновых уравнений. Это говорит о существенном влиянии на процесс сухого трения и необходимости учета эффектов, связанных с сухим трением между уточными и основными нитями в прибойной полоске.

## ВЫВОДЫ

Деформация кромки ткани в процессе прибое уточной нити описана волновым процессом в сплошной среде. Для моделирования процесса предложено нелинейное волновое уравнение с включением диссипативных членов, учитывающих сухое трение уточных нитей об основу при прибое. Предложен и реализован алгоритм решения уравнения и приведены примеры результатов решения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тихонов А.А., Самарский А.Н. Уравнения математической физики. Учебник для вузов. – М.: Изд-во Московского государственного университета, 2004.

2. Гордеев В.А., Волков П. В. Ткачество. Учебник для вузов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.

3. Васильченко В.Н. Прибой уточной нити. – М.: Легпромбытиздат, 1993.

4. Севостьянов А.Г., Севостьянов П.А. Моделирование технологических процессов (в текстильной промышленности). Учебник для вузов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.

Рекомендована кафедрой информационных технологий и систем автоматического проектирования. Поступила 01.02.08.

---