

УДК 677.11.620.1

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БИЛА С ВОЛОКНОМ
В ПРОЦЕССЕ ТРЕПАНИЯ ЛЬНА***

С.В. БОЙКО, Д.А. ВОЛКОВ

(Костромской государственный технологический университет,
Всероссийский научно-исследовательский институт по переработке лубяных культур)

Эффективность процесса трепания льна определяется условиями взаимодействия обрабатываемых волокнистых прядей с билем.

Одним из упущений известных исследований процесса трепания льна является недостаточное изучение локальных явлений, происходящих на отдельных участках пряди без учета движения и нагружения других участков. В этой связи предлагается принципиально иной подход для моделирования взаимодействия била и пряди волокна при трепании [1]. Он основан на построении дискретной модели нити [2] и теории прочности при интенсивных кратковременных нагрузках [3].

В модели взаимодействия пряди волокна и била, рассмотренной нами в [1], било представлено в виде прямолинейно движущейся полуплоскости. В связи с этим при взаимодействии пряди и била могут иметь место ситуации, когда сила воздействия била на прядь стремится к бесконечности, что не соответствует реальной картине взаимодействия била и пряди.

Дальнейшим этапом по совершенствованию модели взаимодействия пряди волокна и била стало моделирование формы и характера движения била, приближенных к реальной конструкции: било с подбильной решеткой и с вылетом рабочей кромки совершает вращательное движение. Введением в математическую модель

параметров сопротивления моделируется действие на элементы пряди сил внутреннего трения и сил сопротивления воздуха, пропорциональных соответственно первой и второй степени скорости соответствующей массовой точки модели.

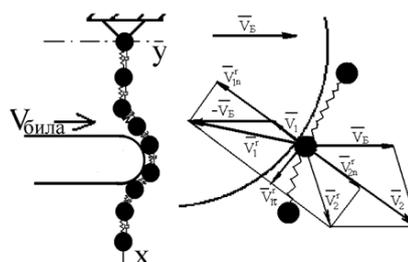


Рис. 1

На рис. 1 (модель взаимодействия пряди и била (скорости точки нити до удара с индексом «1», после удара –«2»)) представлена дискретная модель нити: цепочка N+1 одинаковых грузов и N одинаковых безынерционных пружин. Кромка била моделируется цилиндром радиусом r. Предусматривается моделирование как абсолютно упругого взаимодействия точек пряди и била, так и неупругого взаимодействия. Так же возможен учет ударного импульса сил трения.

* Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук., проф. Е.Л. Пашина.

Разностную систему уравнений, определяющую координаты вектора положения i -й точки дискретной модели нити в момент времени $t+1$, полученную нами в [1], запишем в виде:

$$\overline{\text{Poz}}_i^{t+1} = \overline{\text{Poz}}_i^t + \overline{v}_i^t \Delta t + \frac{\overline{F}_{\Sigma i}^t}{m_i} \Delta t^2 + (\overline{S}_i + \overline{S}_{Ti}) \Delta t,$$

где Δt – шаг по времени; \overline{v}_i^t – вектор скорости точки в момент времени t ; $\overline{F}_{\Sigma i}^t$ – равнодействующая всех сил, действующих на точку; \overline{S}_{ni} – нормальная составляющая ударного импульса силы взаимодействия с биллом; $\overline{S}_{\tau i}$ – вектор ударного импульса сил трения.

Произведение $\overline{v}_i^t \Delta t$ есть приращение вектора положения точки за время Δt : $\overline{v}_i^t \Delta t = \overline{\text{Poz}}_i^t - \overline{\text{Poz}}_i^{t-1}$. В общем случае равнодействующая сил $\overline{F}_{\Sigma i}^t$, действующих на i -ю массовую точку дискретной модели нити, представляет собой сумму сил упругих связей $\overline{F}_{\text{нат}i}^t$ с соседними точками: $i-1$ и $i+1$, сил тяжести \overline{Fg}_i^t , сил сопротивления воздуха $\overline{Fsvnesh}_i^t$, сил внутреннего трения $\overline{Fsvnutr}_i^t$, сил трения о поверхность била \overline{Ftr}_i^t :

$$\overline{F}_{\Sigma i}^t = \overline{Fnat}_i^t + \overline{Fg}_i^t + \overline{Fsvnesh}_i^t + \overline{Fsvnutr}_i^t + \overline{Ftr}_i^t$$

Приведем формулы для расчета этих сил.

Расчет сил натяжения:

$$\overline{Fnat}_i = \frac{-\overline{L}_{i,i-1}}{|\overline{L}_{i,i-1}|} ES \frac{|\overline{L}_{i,i-1}| - \ell_0}{\ell_0} + \frac{-\overline{L}_{i,i+1}}{|\overline{L}_{i,i+1}|} ES \frac{|\overline{L}_{i,i+1}| - \ell_0}{\ell_0},$$

где $\overline{L}_{i,i-1} = \overline{\text{Pos}}_i - \overline{\text{Pos}}_{i-1}$; E – модуль Юнга; S – площадь поперечного сечения нити; m – масса нити; ℓ_0 – длина отрезка нити в ненапряженном состоянии; $L_{i,i-1}$ – фактическая длина отрезка нити между точками i и $i-1$; $L_{i,i+1}$ – фактическая длина отрезка нити между точками i и $i+1$.

Расчет силы тяжести:

$$\overline{Fg}_i = \overline{g} m_i,$$

где m_i – масса отрезка нити; \overline{g} – вектор ускорения свободного падения.

Расчет силы внешнего сопротивления:

$$\overline{Fsvnesh}_i = -\overline{v}_i |\overline{v}_i|^2 Ksvnesh,$$

где $Ksvnesh$ – коэффициент сопротивления воздуха.

Расчет силы внутреннего сопротивления:

$$\overline{Fsvnutr}_i = -\overline{v}_i |\overline{v}_i| Ksvnutr,$$

где $\overline{v}_{i,i-1} = \overline{v}_i - \overline{v}_{i-1}$ – относительная скорость; $Ksvnutr$ – коэффициент сил внутреннего трения.

На каждом временном шаге определяем возможность взаимодействия i -й точки дискретной модели нити и била по следующему алгоритму.

1. Определяем скорость точки нити относительно била; $\overline{V}_1^r = \overline{V}_1 - \overline{V}_B$, где \overline{V}_1 – абсолютная скорость точки пряжи; \overline{V}_B – скорость била.

2. Определяем составляющие скорости \overline{V}_1^r : нормальную к поверхности била \overline{V}_{1n}^r и касательную к ней $\overline{V}_{1\tau}^r$. Их направления указаны на рис. 1.

3. Определение значения ударного импульса силы взаимодействия массовой точки пряжи с кромкой била при условиях:

а) если скорость $\overline{V}_{1n}^r = 0$ или направлена от центра кромки била, то ударного

взаимодействия нет и ударный импульс силы взаимодействия с билом в уравнении

$$(9) \text{ равен нулю: } \overline{S}_i = 0; \overline{S}_{Ti} = 0;$$

б) в противном случае на i -ю точку нити действует ударный импульс силы взаимодействия с билом, направленный в противоположную сторону \overline{V}_{In}^r , численное значение которого: $S_i = V_{Ini}^r m_i (1 + k_{\text{восст}})$, где $k_{\text{восст}}$ – коэффициент восстановления.

4. Определение ударного импульса сил трения, направленного в противоположную сторону $\overline{V}_{I\tau}^r$: $S_{Ti} = k_{\text{тр}} S_i$ [4].

Сила реакции била на точку нити N_i равна по модулю и противоположна по направлению нормальной составляющей к цилиндрической поверхности кромки била равнодействующей всех сил, действующих на эту точку.

Модуль силы трения о поверхность била рассчитывали по формуле: $F_{\tau i} = K_{\text{тр}} N_i$. Вектор силы трения направлен противоположно касательной составляющей вектора скорости точки нити относительно била $\overline{V}_{I\tau}^r$.

Усовершенствованная модель взаимодействия пряжи волокна и била позволяет проанализировать влияние на движение пряжи и на ее натяжение геометрических параметров трепального барабана: Δ – вылета рабочей кромки била; δ – ширины планки подбильной решетки; h – расстояния между планками подбильной решетки и их формы; R – радиуса трепального барабана, а также его частоты вращения барабана ω_b .

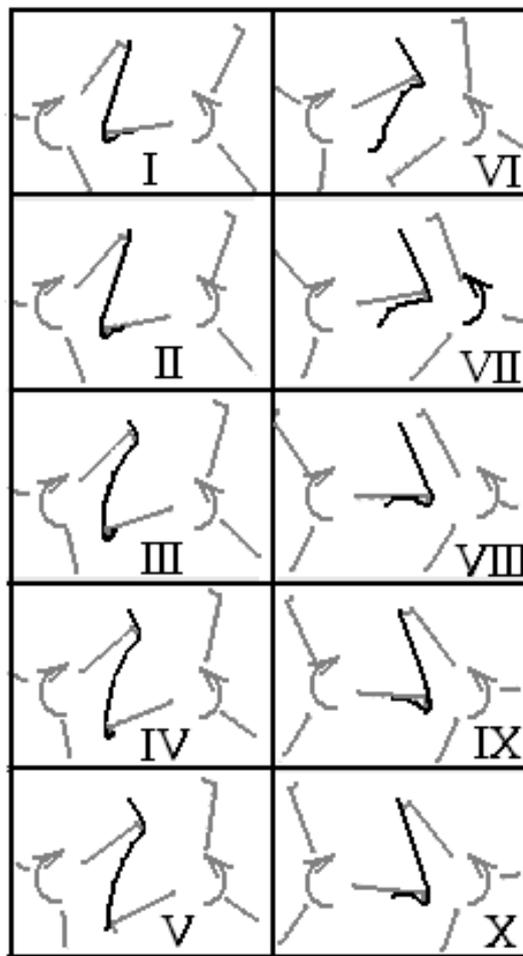


Рис. 2

На рис. 2, в качестве примера, приведены результаты численного моделирования движения пряжи длиной 0,55 м в процессе ее взаимодействия с билом трепального барабана радиусом $R=0,37$ м и частотой вращения $\omega_b=300$ об/мин. Они идентичны кадрам проведенной нами видеосъемки процесса трепания.

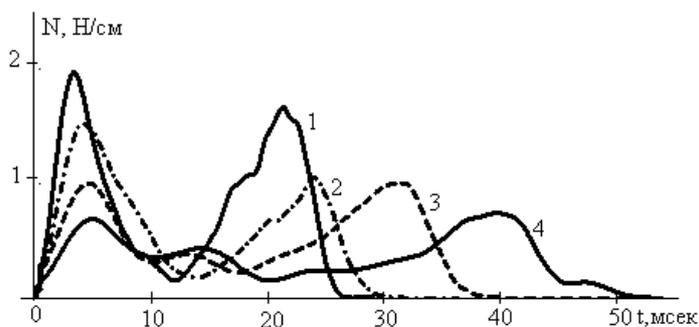


Рис. 3

Для регулирования процесса трепания необходимо знать силы, действующие на прядь. На рис. 3 приведены результаты численного моделирования взаимодействия пряди с билом в процессе трепания: изменение давления на кромку била при одновременном соприкосновении слоя с двумя билами при различной частоте вращения барабанов (кривая 1 – 300; 2 – 250; 3 – 200; 4 – 150 мин⁻¹). Подобные графики были получены Н.Н. Суловым в результате экспериментальных исследований [5]. По результатам сравнения можно сделать вывод, что выбранная модель приемлема для решения задачи взаимодействия пряди с билом в процессе трепания.

Численное моделирование, реализованное с помощью современной компьютерной техники, впервые позволило проанализировать не только изменение силового нагружения пряди в процессе трепания, но и определить, в какой именно момент происходит то или иное изменение.

Так, на рис.4 представлены графики изменения натяжения пряди у точки зажима, сил действия кромки била на прядь в соответствии с положениями пряди, представленными на рис.2. На рис. 4: силы давления слоя на кромку бильной планки: $N_{пр}$ – била правого барабана; $N_{лев}$ – била левого барабана и сила натяжения пряди T в зажиме при двухстороннем трепании трехбильными барабанами.

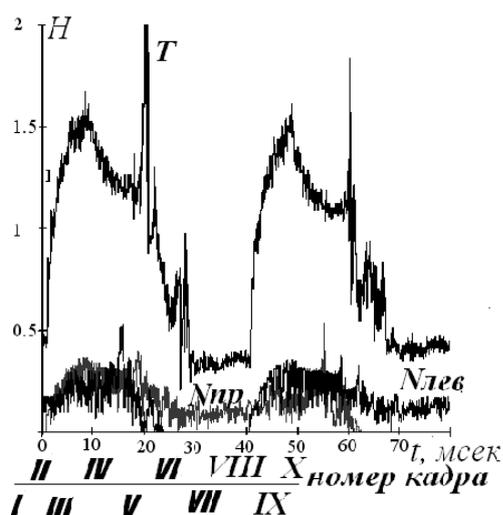


Рис. 4

Анализ результатов расчета позволил определить, что в момент схода с кромки нижнего била концевой участок пряди не распрямлен, как полагалось предыдущими исследователями [6]. Также он не имеет прямолинейную форму и при перелете с била на било. При соприкосновении с подбильной решеткой и при движении по ней, также в момент схода с последней планки подбильной решетки концевой участок пряди далеко не всегда захлестывается за планку подбильной решетки или на тыльную сторону бильной планки. Это зависит от величины и направления начальной для этого этапа взаимодействия скорости концевой участка, которая, в свою очередь, зависит от многих факторов: длины, массы, жесткости пряди, частоты вращения и размеров трепального барабана и т. д.

Таким образом, доброкачественность нашей теоретической модели подтверждена экспериментально. Программа расчета предусматривает возможность одновременно с определением параметров силового нагружения пряди в каждый момент времени зафиксировать ее положение. Усовершенствованная модель взаимодействия пряди волокна и била позволяет проанализировать влияние на движение пряди и на ее натяжение режимно-конструктивных параметров трепальной машины и параметров самой пряди волокна.

Таким образом, в результате проведенных исследований предложен дискретный метод расчета кинематических и силовых параметров нагружения пряди в процессе взаимодействия с билом, основанный на синтезе теории механики нити и удара. С помощью этого метода впервые появилась возможность учесть особенности взаимодействия пряди с билом, которые ранее существенным образом упрощались. Впервые появилась возможность объяснить ряд явлений, имеющих значительное практическое значение, обуславливающих формирование важнейших технологических эффектов.

Предполагается использование предложенного метода при обосновании ряда технологических и технических решений, повышающих эффективность процесса трепания.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бойко С.В., Гришин А.Г.* Моделирование взаимодействия волокна с прямолинейно движущимся билком в процессе трепания льна. – Деп. в ВИНТИ ***07 № ***-В2007. – **с.

2. *Проталинский С.Е.* Развитие теории и вопросы приложения механики нити к задачам текстильной технологии: Дис...докт. техн. наук.– Кострома, 1999.

3. *Рахматуллин Х.А., Демьянов Ю.А.* Прочность при интенсивных кратковременных нагрузках. – М.: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 1961.

4. *Голубева О.В.* Теоретическая механика. – М.: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 1961.

5. *Суслов Н.Н.* Исследование процесса трепания льна: Дис...докт. техн. наук. – Кострома, 1961.

6. *Лапшин А.Б.* Развитие теории процесса получения трепаного льняного волокна: Дис...докт. техн. наук. – Кострома, 2002.

Рекомендована кафедрой теоретической механики и сопротивления материалов КГТУ. Поступила 16.06.07.
