

ОЦЕНКА УГЛА НАКЛОНА ЛЬНЯНЫХ ПРЯДЕЙ К КРОМКАМ БИЛ В ПОЛЕ ТРЕПАНИЯ

ESTIMATION OF THE ANGLE BETWEEN FLAX STRANDS AND BEATER'S BLADE EDGES WITHIN SCUTCHING AREA

А.В. ОРЛОВ, С.В. БОЙКО, Е.Л. ПАШИН, М.С. ЕНИН
A.V. ORLOV, S.V. BOYKO, YE.L. PASHIN, M.S. YENIN

(Костромской государственный технологический университет)
(Kostroma State Technological University)
E-mail: kaf tplv@imail.ru

Представлена методика оценки угла сгуживания прядей сырца при их взаимодействии с билами трепальных барабанов. Предложено учитывать расположение бильных планок относительно оси барабана и условия нагружения прядей. Установлено влияние на угол сгуживания конструктивных параметров трепального барабана, а именно его формы и положения на барабане бильной планки.

The article presents a method of estimating the angle between flax strands and the scutching drums beaters. It's suggested to consider the location of beaters relative to the axis drum and strands loading conditions. The influence of scutching drum design parameters, namely, its shape and position of the beaters, as well as tension forces affecting plot strands located in the scutching area, on said angle is determined.

Ключевые слова: трепание, прядь, сгуживание пряди, винтовая линия била, угол конуса барабана, угол подъема винтовой линии била.

Keywords: scutching, strand, strand unloading, helix beater, drum cone angle, beater helix angle.

Эффективность процесса трепания при прочих равных условиях силового нагружения прядей льняного сырца зависит от исходных параметров их состояния и расположения [1]. Многие из них могут меняться в процессе взаимодействия слоя прядей с билами трепальных барабанов, особенно на начальных этапах трепания, влияя на технологические показатели обработки. В [2] указано, что одним из таких параметров является угол наклона прядей в плоскости по длине поля трепания, проходящей через линию их зажима. Ранее нами была предложена методика расчета этого угла в зоне по высоте поля трепания между зажимным транспортером и первой от него бильной планкой с учетом нагру-

жения слоя и особенностей конструкции трепального барабана. Однако на величину этого угла наклона прядей может оказывать влияние расположение последующих по высоте поля трепания (нижележащих) участков прядей. Поэтому задачей данной работы явилась оценка угла наклона прядей, одновременно соприкасающихся с соседними кромками бил, следующими ниже линии зажима. При ее решении было сделано предположение, что под действием сил трения и натяжения прядь стремится занять положение, перпендикулярное кромке бильной планки. При расчетах не учитывали ширину планки, а также использовали допущения, указанные в [2]. В целях уменьшения нестабильности реше-

ния на границе конической и цилиндрической частей трепального барабана переходную зону между этими участками описывали как сегмент окружности радиусом, численно равным радиусу цилиндрической части барабана $R_{бар}$ и с центром, лежащим на оси барабана. При этом образующие цилиндрической и конической частей являются касательными к данной окружности.

Рассмотрим расчетную схему трепальных барабанов (рис. 1: а) – в поперечном, б) – в продольном сечении). Оси O_1X , O_1Y соответственно горизонтальная и вертикальная оси в крайнем левом (начальном) поперечном сечении, O/Z – ось вращения левого трепального барабана. Для пряжи в поле трепания будем определять положение ее верхнего участка (у зажима) в зависимости от угла поворота била. Принимаем, что в момент нахождения точки зажима пряжи на расстоянии L_1 от начала координат начальным является тот момент

времени ($t=0$), когда било направлено вдоль положительной полуоси оси O_1Y .

Текущий момент времени (время поворота била в рассматриваемом i -м поперечном сечении барабана на угол $\varphi(t)$, прошедшее с момента удара) определяем, считая вращение барабана равномерным, по формуле: $t = \varphi(t)/\omega$, где ω – угловая скорость вращения барабана.

Тогда относительное смещение угловой координаты рабочей кромки била между двумя сечениями барабана определяем следующим образом:

$$\tau(z) = \frac{zctg\gamma}{R_{бар}}, \quad (1)$$

где z – расстояние между рассматриваемыми сечениями; $R_{бар}$ – радиус цилиндрической части барабана; γ – угол подъема винтовой линии кромки бильной планки (рис. 1).

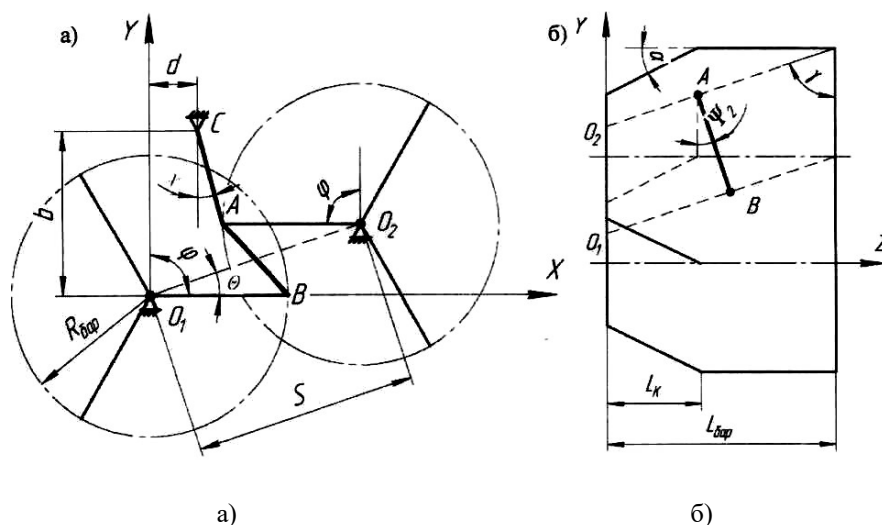


Рис. 1

Форму винтовой линии, при которой конечные участки била взаимодействуют с пряжью позднее, чем начальные, назовем запаздывающим винтом. Для этого случая будет выполняться условие $\tau(z) > 0$. Обратный случай $\tau(z) < 0$, когда взаимодействие конечных участков опережает по времени взаимодействие начальных, назовем опережающим винтом.

В таких условиях координаты точки зажима рассматриваемой пряжи при ее перемещении вдоль барабана в момент времени t (рис. 1) будут:

$$\begin{aligned} X_c &= d, \\ Y_c &= b, \end{aligned} \quad (2)$$

$$Z_c = v_{пр}t + z,$$

где b и d – смещение транспортера относительно оси левого барабана по горизонтали и вертикали соответственно; $v_{тр}$ – скорость перемещения транспортера; z – начальное положение пряжи в транспортере.

В отличие от алгоритма расчета [2] является необходимым нахождение интервала углов поворота правого и левого барабанов, при которых пряжа находится одновременно во взаимодействии с кромками бил обоих барабанов (рис. 1). Для этого требуется выполнение следующих условий: оба рассматриваемых била находятся в поле трепания; другие била находятся вне поля трепания; рабочая кромка била касается пряжи; длина ломаной $СAB$ (рис. 1) не превышает длину пряжи.

С учетом этого, зная длину пряжи l_n , число бил на барабане N и взаимное расположение барабанов, вычислим минимальный и максимальный угол поворота левого барабана:

$$\varphi_{1min} = \frac{\pi}{2} - \theta - \arccos\left(\frac{S}{2R(z)}\right) + \tau(z), \quad (3)$$

$$\chi(X, Y) = \begin{cases} \arccos \frac{b - Y}{\sqrt{(X - d)^2 + (Y - b)^2}}, & \text{если } X > d, \\ 0, & \text{если } X = d, \\ -\arccos \frac{b - Y}{\sqrt{(X - d)^2 + (Y - b)^2}}, & \text{если } X < d. \end{cases} \quad (6)$$

Диапазон углов поворота (φ_{imin} ; φ_{imax}), в котором кромка била левого барабана мо-

жет взаимодействовать с пряжью, определяется следующим неравенством:

$$\sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2 + (Z_A - Z_B)^2} + \sqrt{(X_C - X_A)^2 + (Y_C - Y_A)^2 + (Z_C - Z_A)^2} \geq l_n. \quad (7)$$

В таком случае итоговый диапазон (φ_{min} ; φ_{max}) будет определяться как пересечение диапазонов:

$$\varphi_{min} = \max(\varphi_{1min}, \varphi_{2min}, \varphi_{ртmin}, \varphi_{lmin}), \quad (8)$$

$$\varphi_{max} = \min(\varphi_{1max}, \varphi_{2max}, \varphi_{ртmax}, \varphi_{lmax}).$$

$$\varphi_{1max} = \varphi_{1min} + \frac{2\pi}{N}.$$

Аналогично найдем минимальный и максимальный угол поворота правого барабана:

$$\varphi_{2min} = \frac{\pi}{2} - \theta - \arccos\left(\frac{S}{2R(z)}\right) + \tau(z), \quad (4)$$

$$\varphi_{2max} = \varphi_{2min} + \frac{2\pi}{N}.$$

Диапазон углов поворота ($\varphi_{ртmin}$; $\varphi_{ртmax}$), при которых кромка била правого барабана соприкасается с пряжью, будет определяться условием:

$$\chi(X_{Aj}, Y_{Aj}) \leq \chi(X_{Bj}, Y_{Bj}), \quad (5)$$

где угол χ вычисляется с учетом значений b и d следующим образом:

Определим положение участка пряжи (ее точки зажима и точки взаимодействия с юмкой била) в условиях одновременного перемещения точки зажима пряжи и поворота била.

С этой целью разобьем линию кромки била правого барабана на n равных эле-

ментарных участков длиной $dz = \frac{L_{\text{бар}}}{n}$. За

вектор i -го участка примем вектор, соединяющий $(i-1)$ -ю точку с i -й точкой.

Для каждого i -го участка определим угол μ_i между вектором этого участка и вектором, проведенным от i -й точки к точке зажима. Для каждого i -го поперечного сечения координаты кромки била в i -м сечении вычислим, используя выражения:

$$R(z) = \begin{cases} R_{\text{бар}} \cos \alpha - (L_k - R_{\text{бар}} \sin \alpha - z) \operatorname{tg} \alpha, & z < L_k - R_{\text{бар}} \sin \alpha, \\ \sqrt{R_{\text{бар}}^2 - (L_k - z)^2}, & L_k - R_{\text{бар}} \sin \alpha \leq z \leq L_k, \\ R_{\text{бар}}, & z \geq L_k. \end{cases} \quad (10)$$

Выражения координат (9) позволяют для каждого момента времени t определить угол μ_i между векторами касательной к кромке била и вектором, проведенным от $(i-1)$ -й точки бильной планки к точке зажима:

$$\mu_i = \arccos \frac{\overline{A_{i-1}CA_{i-1}A_i}}{\left| \overline{A_{i-1}C} \right| \left| \overline{A_{i-1}A_i} \right|}. \quad (11)$$

Для учета влияния сил трения предполагаем, что прядь скользит по кромке бильной планки без ускорения, а значит сила трения и тангенциальная составляющая силы натяжения уравниваются друг друга:

$$k_{\text{тр}} F_N = F_T \cos \left(\frac{\pi}{2} - \psi_{\Phi 1} \right), \quad (12)$$

$$R(z) = \begin{cases} 0,5994z^3 + 0,0923z^2 - 0,1857z - 0,4215, & z < L_k, \\ -0,0008z^3 + 0,0229z^2 - 0,1244z + 0,6331, & z \geq L_k, \end{cases} \quad (14)$$

$$N(z) = \begin{cases} 0,4691z^3 + 0,0652z^2 - 0,0824z - 0,1757, & z < L_k, \\ -0,0093z^3 + 0,0645z^2 - 0,1546z + 0,3277, & z \geq L_k. \end{cases}$$

Принимая ранее указанное предположение, что прядь занимает положение, перпендикулярное кромке, определяем участок, для которого сумма углов μ_i и $\psi_{\Phi 1}$ наиболее близка к 90° . Обозначим номер этого участка j . Аналогичным образом найдем номер взаимодействующего с пря-

$$Z_{Ai} = i \frac{L_{\text{бар}}}{n},$$

$$X_{Ai} = S \cos(\theta) + R(Z_{Ai}) \cos \left(\frac{\pi}{2} + \varphi - \tau(Z_{Ai}) \right), \quad (9)$$

$$Y_{Ai} = S \sin(\theta) + R(Z_{Ai}) \sin \left(\frac{\pi}{2} + \varphi - \tau(Z_{Ai}) \right).$$

Применительно к ним радиус барабана $R(z)$ на каждом участке в зоне конусной и цилиндрической частей будет определяться:

где $k_{\text{тр}}$ – коэффициент трения пряди по кромке била; F_N – величина силы нормального давления била на прядь; F_T – величина силы натяжения пряди в зажиме; $\psi_{\Phi 1}$ – угол отклонения пряди.

Отсюда:

$$\psi_{\Phi 1} = \frac{\pi}{2} - \arccos \left(\frac{k_{\text{тр}} F_N}{F_T} \right). \quad (13)$$

В основе определения значений сил натяжения и нормального давления используем эмпирические зависимости, полученные А.Б. Лапшиным [3]:

дью участка кромки левого барабана. Для этого разобьем кромку бильной планки на n элементарных участков аналогично кромке правого барабана со значениями $R(z)$ и $\tau(z)$. Тогда координаты элементарных участков будут следующими:

$$Z_{Bi} = i \frac{L_{\text{бар}}}{n},$$

$$X_{Bi} = R(Z_{Bi}) \cos\left(\frac{\pi}{2} + \varphi - \tau(Z_{Bi})\right), \quad (15)$$

$$Y_{Bi} = R(Z_{Bi}) \sin\left(\frac{\pi}{2} + \varphi - \tau(Z_{Bi})\right).$$

По аналогии к правому барабану для каждого элементарного участка $B_{i-1}B_i$ находим угол v_i между векторами $B_{i-1}B_i$ и $B_{i-1}A_j$:

$$v_i = \arccos \frac{\overline{B_{i-1}A_j} \cdot \overline{B_{i-1}B_i}}{|\overline{B_{i-1}A_j}| |\overline{B_{i-1}B_i}|}. \quad (16)$$

Для участка k , для которого угол v_i наиболее близок к 90° , угол наклона составит:

$$\psi_{\Gamma 2} = \text{artg} \left(\frac{Z_{Bk} - Z_{Aj}}{Y_{Aj} - Y_{Bk}} \right). \quad (17)$$

По аналогии с [2] расчет поправки к углу наклона от натяжения пряди будем осуществлять, применяя выражение:

$$\psi_{\Phi 2} = \frac{\pi}{2} - \arccos \left(\frac{kN_2(Z_3)}{T_2(Z_3)} \right). \quad (18)$$

Отсюда итоговое значение угла сгуживания составит:

$$\psi_2 = \psi_{\Gamma 2} + \psi_{\Phi 2}. \quad (19)$$

Представленная совокупность моделей и последовательность их использования позволяет осуществить оценку угла наклона участка прядей между соседними биллами в поле трепания.

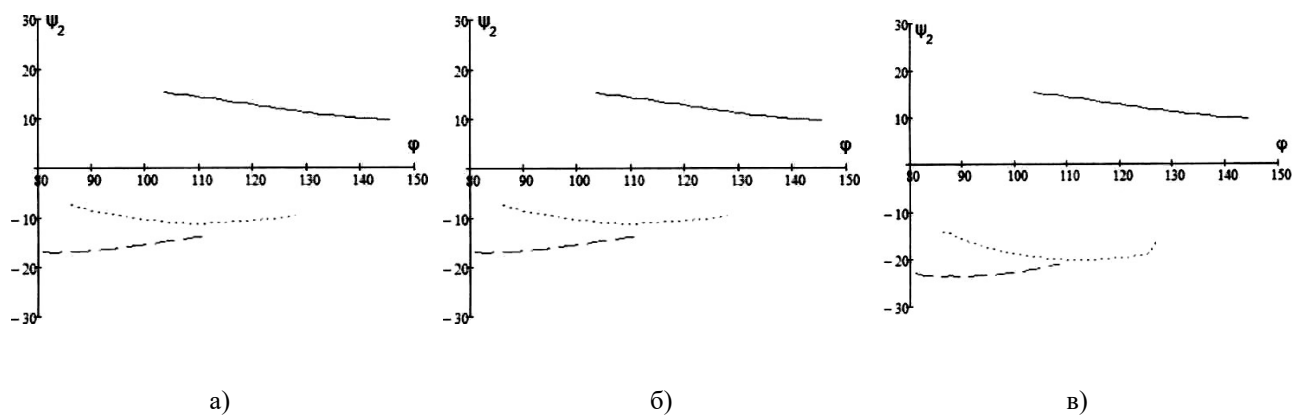


Рис. 2

В качестве примера использования предложенного алгоритма расчета на рис. 2 представлены графические зависимости угла наклона ψ_2 от угла поворота трепальных барабанов φ ; рис. 2-а – изменение угла наклона в зависимости от угла поворота барабанов при разных углах подъема винта для угла конуса 5° ; рис. 2-б – изменение угла наклона в зависимости от угла поворота барабанов при разных углах подъема винта для угла конуса 15° ; рис. 2-в – изменение угла наклона в зависимости от угла поворота барабанов при разных

углах подъема винта для угла конуса 25° . Зависимости построены для поперечного сечения, расположенного на $0,75$ длины конусной части барабана, при различных углах конуса α и вариантах формы винтовой линии билла γ . Расчеты проведены при условиях: частота вращения барабанов 300 мин^{-1} ; радиус барабанов $0,37 \text{ м}$; межосевое расстояние между барабанами $0,55 \text{ м}$; длина конусной части $0,75 \text{ м}$; скорость зажимного транспортера 1 м/с ; коэффициент трения пряди по кромке $0,15$, длина пряди в обработке 70 см .

Из анализа представленных зависимостей следует, что в момент соприкосновения пряжи одновременно с двумя билами обоих барабанов формируется угол сгруживания, величина которого меняется по мере поворота барабанов. Как правило, этот угол имеет положительное значение (концы прядей при их перемещении отстают от точек их зажима). При различной величине угла конуса и угла подъема винтовой линии била угол сгруживания по абсолютной величине может возрастать или уменьшаться. Из этого следует, вероятно, наличие такого сочетания угла конуса α и угла подъема винтовой линии била γ , при которых величина ψ будет минимальной. Вероятно, также и то, что упомянутое сочетание будет зависеть и от расположения пряжи относительно начала барабана и ее длины. Таким образом, из результатов анализа следует, что величину угла сгруживания можно минимизировать за счет выявления сочетаний параметров конструкции трепального барабана и свойств материала, в первую очередь, длины прядей. Однако выявление таких условий является предметом дальнейших исследований.

ВЫВОДЫ

1. Разработана система моделей и определена последовательность их использования для расчета угла наклона участков прядей сырца при их одновременном взаимодействии с кромками бил обоих трепальных барабанов.

2. При расчете угла сгруживания применительно к конусной части трепального барабана установлено, что в процессе вза-

имодействия била с прядью угол сгруживания меняется. Величина угла сгруживания может быть минимальной, что определяется координатой расположения пряжи от начала длины поля трепания, длиной прядей и сочетания угла винтовой линии била γ и угла конуса α . Величина угла сгруживания зависит от координаты зажима пряжи по длине барабана, длины пряди, угла подъема винтовой линии била γ и угла конуса α . При определенных сочетаниях указанных параметров величина угла сгруживания может принимать наименьшее значение.

3. Предполагается, что для формирования минимально возможного угла наклона пряжи по мере ее перемещения вдоль конусной части барабана требуется изменение конструктивных параметров барабана, одним из которых является угол подъема винтовой линии била.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бойко С.В., Пашин Е.Л.* Теоретические основы повышения эффективности процесса трепания недоработанного льняного волокна. – Кострома: КГТУ-ВНИИЛК, 2008.

2. *Орлов А.В., Бойко С.В., Пашин Е.Л., Енин М.С.* Оценка степени сгруживания прядей в слое льняного сырца при трепании // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №6. С.44...49.

3. *Пашин А.Б., Пашин Е.Л.* Развитие теории процесса трепания льна. – Кострома: КГТУ, 2004.

Рекомендована кафедрой технологии производства льняного волокна. Поступила 31.01.13.