

УДК 677.021.151.256

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ СНИЖЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЙ  
НА ПРЯДИ ЛЬНЯНОГО СЫРЦА НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ ТРЕПАНИЯ**

**ANALYSIS OF CONDITIONS FOR REDUCING INTENSITY OF THE IMPACTS  
ON RAW FLAX STRAND DURING INITIAL STAGE OF SCUTCHING PROCESS**

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

(Костромской государственной технологической университет)  
(Kostroma State Technological University)  
E-mail: info@kstu.edu.ru

*В статье предлагается для снижения максимальных значений сил натяжения при трепании обрабатываемые пряжи при вводе в зону обработки перемещать по упругому основанию. Описана методика выбора условий трепания, при которых исключаются резонансные явления и достигается снижение сил натяжения от применения упругой горки, с учетом варьирования длины обрабатываемых прядей. При выборе таких условий обработки предложено осуществлять преобразование функции изменения фактических сил натяжения пряжи в совокупность гармонических составляющих с помощью Фурье-анализа. Рекомендовано обеспечивать упругость входной горки только при повышенной частоте вращения трепальных барабанов более 300 мин<sup>-1</sup> для обеспечения эффекта снижения сил натяжения в пределах имеющих место на практике вариаций длины прядей и частот вращения барабанов.*

*Article suggests using springy base to guide flax strands into scutching area. Algorithm of choosing scutching conditions is described, based on rendering non-harmonical variation of tension into harmonical form by Fourier transformation while taking into account average strand length and preventing resonance. It's suggested to use springy base only when scutching is performed on high speed (more than 300 rpm) in order to achieve tension reduction with current raw flax length range and scutching drum speeds.*

**Ключевые слова:** трепание, прядь, лен, начальная стадия, резонанс, преобразование Фурье, гармонические колебания, упругое основание.

**Keywords:** scutching, strand, flax, initial stage, resonance, Fourier transform, harmonic oscillations, springy base.

Эффективность трепания льна при получении длинного волокна во многом зависит от формирующихся сил натяжения. Их максимальные значения при прочих равных условиях процесса и свойствах сырья наблюдаются в зонах входа в секции трепальной машины. Для снижения интенсивности трепания в этих зонах предложены различные решения [1], в том числе применение конусной входной части трепальных барабанов, определяющей некоторые особенности поведения и натяжения прядей [2]. Известно предложение по использованию рабочих органов трепальных барабанов с подвижными элементами, способными за счет своей податливости обеспечить снижение максимальных сил натяжения [3]. Однако их применение ведет к усложнению конструкции барабанов, ухудшению динамики их вращения и не в полной мере обеспечивает требуемый технологический эффект, направленный на дифференциацию сил натяжения в процессе трепания льна.

Поэтому исследования условий снижения сил натяжения при трепании и, особенно на начальных этапах его обработки, являются актуальными и направлены на повышение выхода трепаного волокна.

Нами предлагается использовать известный в механике эффект снижения усилий натяжения пряди (полагаемой абсолютно упругой с учетом известных свойств льна) за счет подпружинивания ее закрепленного в зажиме конца. Это требует внесения изменений в конструкцию трепальной машины (рис. 1 – схема предложенного варианта использования упругой входной горки).

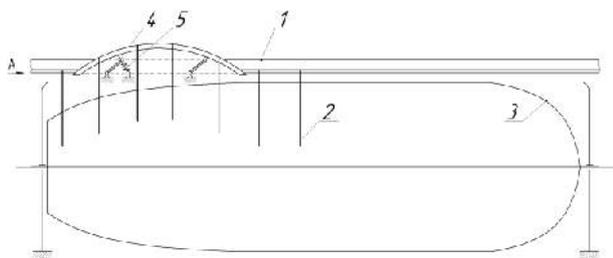


Рис. 1

В частности, в зоне ввода зажимным ремнем 1 слоя сырца 2, перемещающегося над конусной частью трепальных барабанов 3, входную балку 4 (входную горку), по которой перемещается слой сырца при входе в зону трепания, предлагается выполнить подвижной и оснастить ее упругим элементом 5. В этом случае ее упругая деформация будет способствовать снижению величины сил натяжения прядей. Однако данная схема нагружения должна быть исследована для исключения резонансных явлений в условиях варьирования отдельных параметров, к которым, прежде всего, следует отнести частоту вращения барабанов и длину прядей сырца в зоне трепания.

Рассмотрим схему нагружения пряди с упругой входной горкой (рис. 2) и воспользуемся известными алгоритмами расчета условий колебаний нагруженных двухмассовых систем [4].

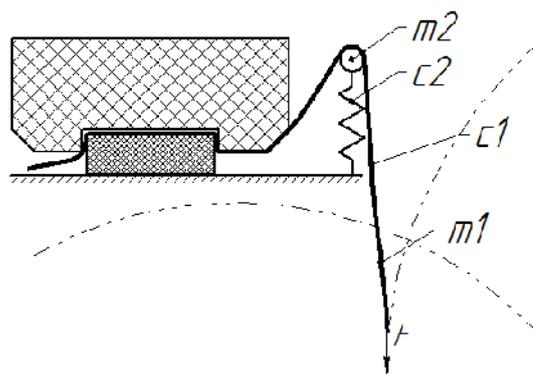


Рис. 2

Обозначим массу единичного участка слоя  $m_1$  и его упругость  $c_1$ . Входная горка в расчетной схеме представляется упругим элементом с жесткостью  $c_2$ , соединенным с единичным участком горки массой  $m_2$ . Таким образом, модель входного участка представляет собой колебательную систему с двумя степенями свободы, находящуюся согласно [4] под воздействием внешней силы:

$$F_T = A_{T0} \sin(\omega t + \delta), \quad (1)$$

где  $A_{T0}$  – амплитуда изменения силы натяжения;  $\omega$  и  $\delta$  – частота и фаза изменения силы натяжения;  $t$  – время.

Принимая известные выражения потенциальной  $\Pi$  и кинетической  $T$  энергий колебательной системы [4] и преобразования, основанные на использовании уравнения Лагранжа второго рода, отметим, что амплитуды  $A_1$  и  $A_2$  вынужденных колебаний системы будут определяться следующим образом:

$$A_1 = \frac{F_{T0}(c_1 + c_2 - m_2\omega^2)}{(c_1 - m_1\omega^2)(c_1 + c_2 - m_2\omega^2) - c_1^2}, \quad (2)$$

$$A_2 = \frac{F_{T0}c_1}{(c_1 - m_1\omega^2)(c_1 + c_2 - m_2\omega^2) - c_1^2}.$$

Смещение  $x_1$  центра масс пряжи относительно точки равновесия и смещение  $x_2$  центра масс горки относительно точки равновесия будут описываться выражениями:

$$x_1 = A_1 \sin(\omega t + \delta), \quad x_2 = A_2 \sin(\omega t + \delta). \quad (3)$$

Сравним силу натяжения прядей сырца в зоне зажима при отсутствии и наличии упругой входной горки. В первом случае сила натяжения равна внешней силе  $F_T$ . Во втором случае сила натяжения прядей определяется по формуле:

$$F_{нат} = c_1(x_1 - x_2). \quad (4)$$

Исходя из выражений (1)...(4) получим закон изменения силы натяжения при наличии упругой входной горки и соответствующее значение амплитуды изменения силы натяжения:

$$F_{нат} = c_1 \left( \frac{A_{T0}(c_1 + c_2 - m_2\omega^2) - A_{T0}c_1}{(c_1 - m_1\omega^2)(c_1 + c_2 - m_2\omega^2) - c_1^2} \right) \sin(\omega t + \delta), \quad (5)$$

$$A_{нат} = \frac{A_{T0}(c_1c_2 - c_1m_2\omega^2)}{(c_1 - m_1\omega^2)(c_1 + c_2 - m_2\omega^2) - c_1^2}.$$

На основании (5) определим отношение амплитуды колебаний силы натяжения при наличии упругой входной горки к амплитуде при отсутствии горки:

$$K_T = \frac{A_{нат}}{A_{T0}} = \frac{c_1c_2 - c_1m_2\omega^2}{(c_1 - m_1\omega^2)(c_1 + c_2 - m_2\omega^2) - c_1^2}. \quad (6)$$

Величина данного коэффициента показывает, во сколько раз амплитуда  $A_{нат}$  возникающей силы натяжения пряжи в зажиме  $F_{нат}$  (5) больше амплитуды  $A_{T0}$  внешней силы  $F_T$  (1).

Однако реально наблюдаемая сила натяжения пряжи изменяется не по гармоническому закону [2], а потому внешняя сила, действующая на прядь, также не является гармонической.

В то же время в указанной двухмассовой модели [4] рассматривается только гармоническое воздействие. Это обстоятельство потребовало дополнительного исследования. Было предложено внешнюю силу, возникающую при трепании, разложить на гармонические составляющие с помощью преобразования Фурье. Результирующее движение упругой горки при этом будет являться суммой движений, определяемых отдельными гармониками внешней силы. В таком случае амплитуды гармоник силы натяжения можно рассчитать как  $A'_k = A_k K_T(\omega_k)$ , где  $A'_k$  – амплитуда  $k$ -й гармоники силы натяжения;  $A_k$  – амплитуда  $k$ -й гармоники внешней силы;  $K_T$  – коэффициент, рассчитываемый согласно (6) для частоты  $\omega_k$  – частоты  $k$ -й гармоники.

Решив задачу с определением отношений амплитуд по формуле (5), появилась возможность определения упругости входной горки  $c_2$  исходя из условия максимизации  $\Delta F(c_2)$  (где  $\Delta F = F_{Tmax} - F_{натmax}$ ) разницы между наибольшей величиной силы натяжения пряжи в случае отсутствия горки  $F_{Tmax}$  и наибольшей величиной силы натяжения с упругой горкой  $F_{натmax}$ .

Для решения этой задачи потребовалось определить условия возникновения резонансных явлений от воздействия

внешней силы. Для оценки этих условий воспользуемся известным выражением [4], которое в рассматриваемом нами случае примет следующий вид:

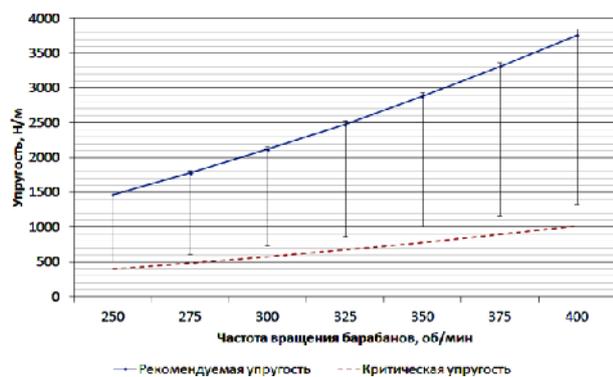
$$(c_1 - m_1\omega^2)(c_1 + c_2 - m_2\omega^2) - c_1^2 = 0. \quad (7)$$

Вещественные положительные корни уравнения (7) будут частотами свободных колебаний системы. Эти частоты зависят от величины упругости  $c_2$ . Ее значение должно быть таким, чтобы частоты свободных колебаний не находились бы вблизи значений частоты внешних воздействий. Такая оценка была осуществлена с учетом имеющих место на практике интервалов варьирования скорости вращения барабанов (от 250 до 400 мин<sup>-1</sup>) и длины пряжей сырца в зоне трепания (от 40 до 60 см).

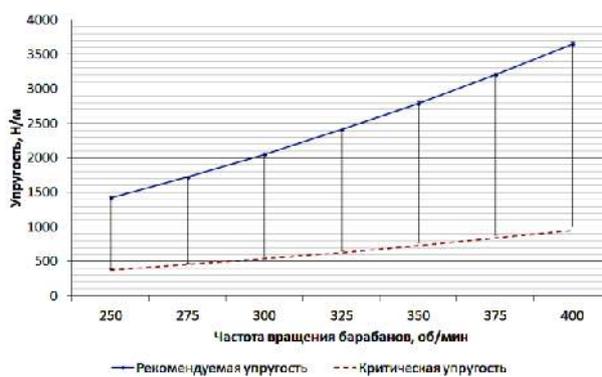
В качестве критерия выбора рекомендуемого значения упругости была использована максимальная разность между наибольшими значениями силы натяжения

пряди при отсутствии и наличии упругого элемента. Поэтому для разных скоростей вращения барабанов и длин свисающих пряжей требовалось определить зону допустимых значений упругости  $c_2$ .

При выявлении данных зон использовали предложенный выше прием разложения фактического изменения силы натяжения пряжей на совокупность гармоник с использованием анализа Фурье. Была установлена совокупность гармоник и применительно к ним соответствующие значения упругости  $c_2$ , при которых наблюдается эффект снижения сил натяжения и исключается резонанс. На заключительном этапе проведен расчет минимальных и максимальных значений упругости с учетом интервалов ее возможного изменения из-за варьирования масс пряжей по причине изменения их длины. Данная корректировка была проведена для коротко- и длинностебельного льна, для которых величина свободных участков пряжей равна: 30...50 и 50...70 см.



а)



б)

Рис. 3

На рис. 3 представлены зависимости возможных значений  $c_2$ , для разных длин пряжей от величины частоты вращения трепальных барабанов. На рис. 3-а представлена зависимость для пряжей длиной 40 см, а на рис. 3-б – для длины 60 см. В конечном итоге были определены зоны рекомендуемых значений жесткости  $c_2$  входной горки применительно к конкретной длине пряжей и частоте вращения барабанов. Значения величины упругости

выше верхних границ не вызывают эффекта снижения сил натяжения, а при значениях упругости менее нижних границ возможно возникновение резонанса.

Из анализа полученных зависимостей следует незначительное влияние длины пряжей от 30 до 70 см на средние значения  $c_2$ . Однако, анализируя пределы варьирования  $c_2$  применительно к частотам вращения барабанов, выявлены принципиальные особенности. Они вызваны различием ве-

личины зон изменения возможных значений жесткости  $c_2$ , а также смещением этих зон для различных частот вращения барабанов. Эти особенности требуют существенного сужения возможных зон изменения  $c_2$  в условиях снижения сил натяжения при вращении от 250 до 400 мин<sup>-1</sup>. Для коротких прядей такая зона представлена от 1000...1400, а для длинностебельного сырья – от 1300...1400 Н/м.

Из этого следует необходимость при трепании разного по длине льна изменения режимов настройки работы входной горки по параметру  $c_2$  в пределах используемых на практике частот вращения барабанов. Однако такие изменения требуют сложной технической реализации (система контроля длины прядей и регулировки  $c_2$ ). По-

этому для разрешения этой проблемы и с учетом того, что опасные силы натяжения возникают при повышенной скорости вращения барабанов, предлагается входную горку делать упругой лишь при повышенных частотах вращения барабанов, например, более 300 мин<sup>-1</sup>. В этом случае зона рекомендуемых значений упругости будет шире – от 1300 до 2400 Н/м.

Для проверки эффективности снижения максимальных значений натяжения прядей за счет предлагаемого решения были осуществлены сравнительные расчеты их изменения в процессе трепания с использованием программного комплекса "Трепание" [5]. Исследовали два варианта: отсутствие и наличие упругого элемента в конструкции входной горки.

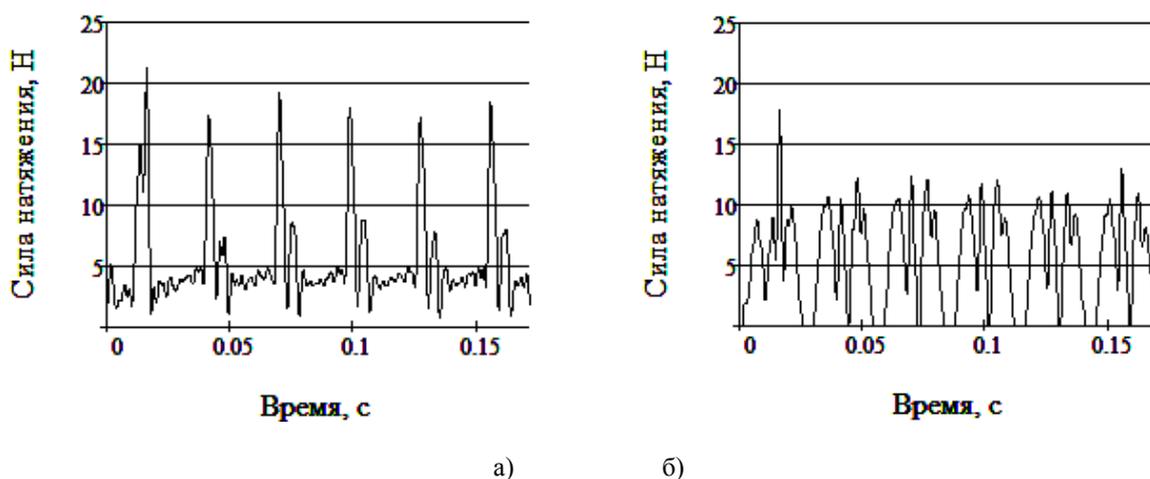


Рис. 4

Для примера на рис. 4 представлены расчеты для участка пряжи шириной 1 см и длиной 60 см, подвергаемого обработке трехбильными барабанами радиусом 0,37 м с частотой вращения 350 мин<sup>-1</sup> в течение одного полного оборота барабанов. Рис. 4-а – жестко- и рис. 4-б – упругозакрепленная входная горка. В этом случае за 0,2 секунды совершается 6 воздействий на прядь сырца. Значения прочих конструктивных параметров соответствуют таковым у агрегата МТА-2Л. Значение  $c_2$  принято равным 2920 Н/м. Анализируя представленные расчетные зависимости, была констатирована возможность снижения за счет использования упругой вход-

ной горки максимальных натяжений от 20 до 40%. Такой результат будет положительно влиять на увеличение выхода трепаного льна после обработки на мяльно-трепальном агрегате.

## ВЫВОДЫ

1. Для снижения максимальных значений сил натяжения при трепании предложено обрабатываемые пряди при вводе в зону обработки перемещать по упругому основанию.
2. Выбор условий трепания, при которых исключаются резонансные явления и достигается снижение сил натяжения от

применения упругой горки, следует проводить с учетом варьирования длины обрабатываемых прядей. При выборе таких условий обработки предложено осуществлять преобразование функции изменения фактических сил натяжения пряди в совокупность ее гармонических составляющих с помощью Фурье-анализа.

3. Для обеспечения эффекта снижения сил натяжения в пределах имеющих место на практике вариаций длины прядей и частот вращения барабанов следует обеспечивать упругость входной горки только при повышенной частоте вращения трепальных барабанов более  $300 \text{ мин}^{-1}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Инатов А.М.* Теоретические основы механической обработки стеблей лубяных культур. – М.: Легпромбытиздат, 1989.

2. *Орлов А.В., Бойко С.В., Пашин Е.Л.* Анализ углового смещения свободных участков прядей льна при их перемещении в поле трепания // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, №2. С.32...37.

3. *Бойко С.В., Пашин Е.Л.* Теоретические основы повышения эффективности процесса трепания недоработанного льняного волокна. – Кострома: Костромск. гос. технолог. университет, ВНИИЛК, 2008.

4. *Хегай В.К., Левитский Д.Н., Харин О.Н., Попов А.С.* Основы теории колебаний механических систем. – Ухта: УГТУ, 2002.

5. *Волков Д.А., Бойко С.В., Пашин Е.Л.* Программный комплекс для моделирования процесса обработки сырца трепанием // Мат. Междунар. научн.-практ. конф. – Вологда, 2008, С. 242...244.

Рекомендована кафедрой технологии производства льняного волокна. Поступила 04.02.14.