

УДК 677.021

## АЛГОРИТМ РАСЧЕТА УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ТРЕПАЛЬНЫХ БАРАБАНОВ МОДИФИКАТОРА С ПОДВИЖНЫМИ БИЛЬНЫМИ ПЛАНКАМИ

С.Н. Разин, Т.Ю. Смирнова

Костромской государственный технологический университет

В статье рассматривается возможность повышения производительности устройства для модификации льняного волокна за счет использования подвижных бильных планок; решается задача по определению условий, при которых устройство будет работать в установившемся режиме; представлен алгоритм расчета угловой скорости вращения трепальных барабанов модификатора с подвижными бильными планками.

Ключевые слова: льняное волокно, механическая модификация, трепальный барабан, подвижная бильная планка, угловая скорость вращения

Известно, что использование короткого льняного волокна в чистом виде с применением традиционных систем прядения хлопка и шерсти затруднено вследствие его низкой прядильной способности. Улучшить совместимость льняного волокна с другими волокнами возможно путем модификации его свойств различными способами: механическими, химическими, биологическими и другими. Получаемое в результате модифицированное льняное волокно можно перерабатывать по системам сухого прядения в смеси с волокнами хлопка, шерсти, химическими волокнами.

Один из способов механической модификации льняного волокна — способ двухстороннего высокоскоростного трепания волокнистой ленты разработан кафедрой ТПЛВ КГТУ совместно с ВНИИЛК [1]. Для

реализации этого способа создано устройство – модификатор. Подготовка короткого льняного волокна к модификации включает в себя операции кардочесания и лентоформирования.

Внешний вид устройства представлен на рис. 1 а, б.



а)

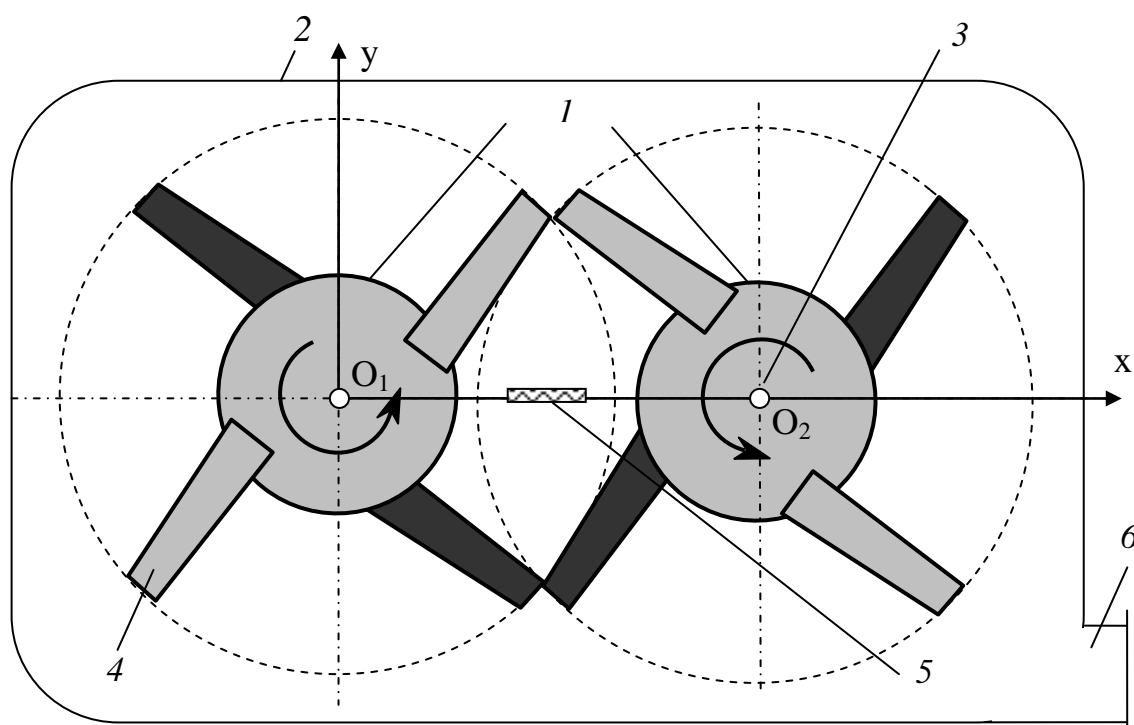


б)

**Рис. 1. Модификатор МЛЛ-510 с вертикальным расположением барабанов: а) внешний вид устройства; б) внешний вид трепальных барабанов модификатора**

Основной составной частью устройства для модификации (штапелирования) льняного волокна в ленте (рис. 2) являются два трепальных барабана 1, установленные внутри кожуха 2 рабочей камеры на параллельных валах 3, которые с помощью привода обеспечивают

согласованное вращение барабанов в одинаковых направлениях. На барабанах в радиальном направлении расположены поочередно в двух плоскостях бильные планки (била) 4: верхние и нижние. В поверхности кожуха над зоной пересечения траекторий концов бильных планок имеется вырез, через который с помощью питающих валцов осуществляется подача волокнистой ленты 5. На боковой поверхности кожуха имеются отверстия 6 для выхода для волокно-воздушной смеси.



**Рис. 2. Схема устройства для модификации льняного волокна**

Работа модификатора организована следующим образом. Льняное волокно, подготовленное в виде ленты 5, подается с помощью пары питающих валцов в рабочую камеру, расположенную внутри кожуха 2, где подвергается воздействию со стороны рабочих кромок бильных планок 4. После удара по ленте верхним билем, концы волокон захлестывают его. При этом возникают инерционные силы, силы трения и внутренние силы из-за деформации волокна.

В результате многократных ударных воздействий ослабляются межволоконные связи, что приводит к расщеплению комплексов пучков

элементарных волокон на отдельные более мелкие пучки. Одновременно происходит отделение от волокна костры и нецеллюлозных примесей.

Отделившиеся волокна, костра и пыль транспортируются потоком воздуха, который поступает внутрь кожуха 2 через вырезы для подачи ленты. При этом воздушный поток с большой скоростью проходит вблизи поверхности питающих вальцов, очищая их от прилипшего волокна и сора. Полученное модифицированное (штапелированное) волокно удаляется из зоны обработки принудительно, путем отсоса волокно-воздушной смеси с помощью вентилятора.

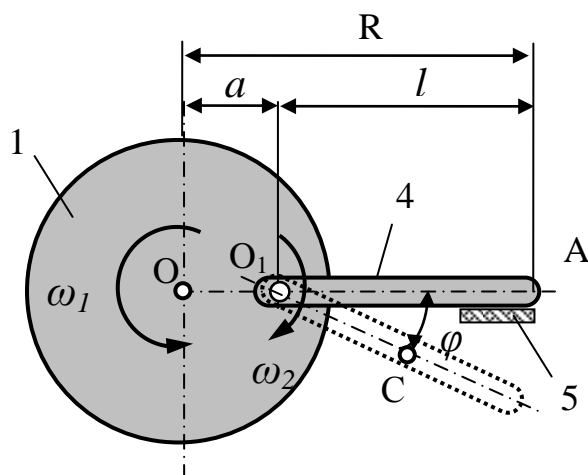
Конструкция описанного устройства позволяет осуществлять варьирование следующими основными параметрами: угловая скорость вращения трепальных барабанов, скорость питания ленты, радиус кромки бильной планки, расстояние от точки зажима ленты до зоны разволокнения.

В результате реализации способа двухстороннего высокоскоростного трепания волокнистой ленты на описанном устройстве требуется обеспечить получение штапелированных льняных волокон, максимально сходных по длине и толщине с теми волокнами, которые будут использоваться при получении смесовой пряжи или других изделий. Для этого должны выполняться условия, при которых происходит разрушение связей между волокнами и примесями, а сами волокна получают лишь незначительные повреждения [2, 3].

В настоящее время ведутся теоретические и экспериментальные исследования, направленные на изыскание путей повышения производительности устройства [4]. Один из них – повышение угловой скорости вращения трепальных барабанов и увеличение скорости питания волокнистой ленты. Однако в этом случае, как показали проведенные исследования, возрастает доля волокон пуховой группы и происходит уменьшение средней длины получаемого модифицированного волокна.

Поскольку средняя длина получаемых волокон зависит от скорости нанесения ударов бильными планками по ленте, то для ее сохранения на прежнем уровне необходимо, чтобы скорость нанесения ударов оставалась неизменной. Это можно обеспечить за счет установки подвижных бильных планок, шарнирно закрепленных на трепальном барабане.

В этом случае, если бильная планка при подходе к ленте будет двигаться в направлении, противоположном вращению барабана (рис. 3), то скорость нанесения удара снизится.



**Рис. 4. Трепальный барабан с подвижной бильной планкой**

Для сохранения скорости нанесения удара на прежнем уровне можно будет увеличить частоту вращения трепального барабана, а это в свою очередь позволит увеличить скорость подачи волокнистой ленты без изменения условий ее обработки.

Представляет интерес решение задачи по определению такой угловой скорости вращения трепальных барабанов, при которой устройство будет работать в установившемся режиме, и удар по ленте будет наноситься с необходимой скоростью  $v$ .

Рассмотрим движение бильной планки в системе отсчета, вращающейся вместе с трепальным барабаном. Поскольку эта система не

является инерциальной, то к силам, действующим на планку следует добавить силы инерции. Переносную силу инерции можно определить так:

$$\overline{F}^{(u)} = m\omega_1^2 OC, \quad (1)$$

где  $m$  – масса бильной планки;  $\omega_1$  – угловая скорость вращения трепального барабана;  $OC$  – расстояние между осью вращения трепального барабана (т. О) и центром масс планки (т. С).

Дифференциальное уравнение движения бильной планки имеет вид

$$J_z \ddot{\varphi} = \sum M_i, \quad (2)$$

где  $J_z = \frac{ml^2}{3}$  – момент инерции бильной планки, принятой за однородный стержень, относительно ее оси вращения;  $l$  – длина бильной планки;  $\varphi$  – угол отклонения бильной планки от радиального направления;  $\sum M_i$  – сумма моментов сил, действующих на бильную планку.

$$\sum M_i = M_{O1}(\overline{F}^{(u)}) - M_{mp} \text{sign}(\dot{\varphi}), \quad (3)$$

где  $M_{O1}(\overline{F}^{(u)})$  – момент сил инерции относительно оси вращения бильной планки;  $M_{mp}$  – момент сил трения, действующих на бильную планку в шарнире.

Момент сил инерции относительно оси вращения бильной планки можно найти по формуле

$$M_o(\overline{F}^{(u)}) = F^{(u)} h, \quad (4)$$

где  $h$  – плечо переносной силы инерции.

$$h = \frac{a \cdot l}{2OC} \sin \varphi, \quad (5)$$

где  $a$  – расстояние от оси вращения трепального барабана (т. О) до оси шарнира, на котором закреплена планка (т. О<sub>1</sub>);

Используя формулы (1)-(5) получим:

$$\frac{ml^2}{3} \ddot{\varphi} = -\frac{1}{2} m\omega_1^2 a l \sin \varphi - M_{mp}. \quad (6)$$

После простых преобразований уравнение (6) примет вид

$$\ddot{\varphi} + k^2 \sin \varphi = -\frac{M_{mp} \operatorname{sign}(\dot{\varphi})}{J_z}, \quad (7)$$

где  $k = \sqrt{\frac{3}{2} \frac{a}{l}} \omega_1$ .

Если выбрать расстояние между осью вращения трепального барабана и осью шарнира  $a = \frac{2}{3}l$ , то получим  $k = \omega_1$ , т.е. частота свободных колебаний планки совпадет с частотой нанесения ударов биллом по ленте и система войдет в резонанс.

Для того, чтобы рассматриваемая система работала в установившемся режиме требуется, чтобы приращение угловой скорости вращения бильной планки за одно взаимодействие с волокнистой лентой  $\Delta\omega_2^*$  было равно потере угловой скорости вращения бильной планки за одно колебание вследствие действия сил трения в шарнире  $\Delta\omega_2$ , т.е.

$$\Delta\omega_2 = \Delta\omega_2^*. \quad (8)$$

Снижение угловой скорости вращения планки за одно колебание  $\Delta\omega_2$  можно найти, используя теорему об изменении кинетической энергии:

$$T - T_0 = \sum A_K, \quad (9)$$

где  $T_0, T$  – кинетическая энергия бильной планки соответственно после удара и перед моментом нанесения последующего удара.

Учитывая, что

$$\sum A_K \approx -4M_{mp} \varphi_{\max}, \text{ а}$$

$$T - T_0 = \frac{J_z (\omega_2 - \Delta\omega_2^*)^2}{2} - \frac{J_z \omega_2^2}{2} \approx -J_z \omega_2 \Delta\omega_2^*,$$

получим:

$$J_z \omega_2 \Delta\omega_2^* = 4M_{mp} \varphi_{\max}.$$

где  $\varphi_{\max}$  – максимальное значение угла отклонения бильной планки от радиального положения вследствие удара.

Отсюда снижение угловой скорости вращения планки за одно колебание

$$\Delta\omega_2^* = \frac{M_{mp} \cdot 4\varphi_{\max}}{J_z \omega_2}. \quad (10)$$

Приращение угловой скорости вращения бильной планки за одно взаимодействие с волокнистой лентой  $\Delta\omega_2^*$  можно найти, используя теорему об изменении момента количества движения системы. В применении к ударным процессам можно записать:

$$(L_z) - (L_z)_0 = \sum m_z [\bar{S}(F_k^e)],$$

где  $(L_z), (L_z)_0$  – момент количества движения бильной планки относительно оси шарнира соответственно после и до удара по ленте,

$\sum m_z [\bar{S}(F_k^e)]$  – сумма моментов импульсов внешних сил относительно оси шарнира.

Для бильной планки:

$$(L_z)_0 = J_z \omega_{20},$$

$$(L_z) = J_z \omega_2,$$

$$\text{тогда } (L_z) - (L_z)_0 = J_z \omega_2 - J_z \omega_{20} = J_z (\omega_2 - \omega_{20}).$$

В свою очередь. Считая, что удар наносится концом бильной планки

$$\sum m_z [\bar{S}(F_k^e)] = S_x l,$$

где  $S_x$  - импульс сил, действующих на бильную планку со стороны ленты, в проекции на оси Ох,  $\omega_{20}$  - начальная угловая скорость вращения бильной планки.

Таким образом, приращение угловой скорости бильной планки за счет ее взаимодействия с волокнистой лентой

$$(\omega_2 - \omega_{20}) = \Delta \omega_2 = \frac{S_x l}{J_z}. \quad (11)$$

Определим, при какой угловой скорости трепального барабана  $\omega_1$  система будет работать в установившемся режиме и скоростью нанесения удара по ленте будет равна заранее заданному значению  $v$ .

Подставляя (10) и (11) в (8), получим:

$$\omega_2 = \frac{4M_{mp} \varphi_{\max}}{S_x l}.$$

Скорость нанесения удара определяется:

$$v = \omega_1 R - \omega_2 l. \quad (12)$$

Отсюда

$$\omega_1 = \frac{\omega_2 l + v}{R} = \left( \frac{4M_{mp} \varphi_{\max}}{S_x} + v \right) / R.$$

Учитывая, что  $\varphi_{\max}$  зависит от  $\omega_1$ , то для решения поставленной задачи был разработан следующий алгоритм:

1. Задаются следующие параметры:  $\nu$ ,  $J_z$ ,  $S_x$ ,  $l$ ,  $R$ .
2. По формуле (11) рассчитывается приращение угловой скорости вращения бильной планки  $\Delta\omega_2$  за время ее взаимодействия с волокнистой лентой.
3. Варьируя  $\omega_1$  в исследуемом интервале, используя (12), определяется угловая скорость вращения бильной планки в момент нанесения удара  $\omega_2$ .
4. Решая уравнение (7) при начальных условиях  $\omega_{20} = \omega_2 + \Delta\omega_2$ ,  $\varphi_0 = 0$ , находится  $\varphi_{\max}$ .
5. По (10) определяется потеря угловой скорости вращения планки за счет работы сил трения  $\Delta\omega_2^*$ .
6. При выполнении условия  $\Delta\omega_2 = \Delta\omega_2^*$  находится искомая угловая скорость вращения трепального барабана  $\omega_1$  для различных моментов трения в шарнире  $M_{тр}$ .

### Выводы

1. Определены условия, при которых устройство для модификации льняного волокна будет работать в установившемся режиме.
2. Разработан алгоритм, позволяющий определить угловую скорость вращения трепального барабана модификатора с подвижными бильными планками.

## Литература

1. Разин С.Н. Устройство для штапелирования лубяного волокна в ленте / С.Н. Разин, Е.Л. Пашин // Патент на изобретение РФ № 2164564, МКИ D 01 G 1/00, 37/00. – Оpubл. 27.03.01, Бюл. № 9.
2. Пашин, Е.Л. Совершенствование технологии механической модификации льна / Е.Л. Пашин, Т.Ю. Смирнова, С.Н. Разин – М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИИЛК, 2004. – 140 с.
3. Разин, С.Н. Теоретические основы совершенствования механической модификации льна / С.Н. Разин, Е.Л. Пашин. – Кострома : КГТУ, 2005. – 156 с.
4. Разин, С.Н. Пути повышения производительности устройства для модификации льняного волокна / С.Н. Разин, Т.Ю. Смирнова // Научные достижения – льноводству : материалы науч.-практ. конф. – Торжок, 2010. – С. 378.

*Razin S.N., Smirnova T.Y.*