

УДК 677.021.256

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЖИМА СЛОЯ  
В ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ РЕМНЯХ ТРЕПАЛЬНОЙ МАШИНЫ**

**MATHEMATICAL MODELLING OF LAYER CLAMPING  
IN TRANSPORTING BELTS OF A SCUTCHING MACHINE**

*Н.И.КОВАЛЕНКО, С.Н.РАЗИН, М.С.БУРОВ*  
*N.I. KOVALENKO, S.N. RAZIN, M.S. BUROV*

**(Костромской государственный технологический университет)**  
**(Kostroma State Technological University)**  
E-mail: info@kstu.edu.ru

*Надежность фиксации слоя льна в транспортирующих ремнях трепальной машины зависит от многих факторов, одним из которых является их конструктивное исполнение. Определение рациональной формы и размеров транспортирующих ремней позволит снизить потери длинного волокна в процессе трепания.*

*Reliability of flax layer fixation in transporting belts of a scutching machine depends on many factors, one of which is their constructive version. Determination of rational form and size of transporting belts will make it possible to decrease the loss of long fiber in the scutching process.*

**Ключевые слова:** транспортирующий ремень, линия сопряжения ремней, сила трения, сила натяжения.

**Keywords:** a transporting belt, lines of belts coupling, friction force, tension force.

В настоящее время на льнозаводах России в качестве сырья используется стланцевая треста, поступающая на переработку в виде рулонов. Такая технология позволяет упростить и удешевить процесс заготовки льна, но не обеспечивает высокого качества и равномерности свойств получаемой тресты. Она имеет повышенную неровноту как по свойствам стеблей, так и по структуре слоя. Особенности формирования слоя таким способом снижают его пригодность к трепанию. Стебли в слое оказываются смещенными относительно друг друга и относительно линии зажимных транспортеров трепальной машины. Вследствие этого отдельные стебли не попадают под зажим транспортирующих ремней или попадают частично и выпадают в отходы трепания.

Следовательно, в современных условиях актуальной становится задача отыскания технических решений, которые смогли бы снизить эти потери. Решение задачи возможно за счет повышения надежности зажима прядей льна в транспортирующих ремнях транспортирующего механизма трепальной машины. Надежность зажима определяется силами трения между слоем и транспортирующими ремнями, силами давления на слой со стороны нажимных роликов, силами натяжения, возникающими в слое от действия бил трепальных барабанов, а также конструктивным исполнением элементов транспортирующего механизма трепальной машины, в частности, транспортирующих ремней.

В свою очередь сила зажима слоя во многом определяется формой линии сопряжения транспортирующих ремней. Подбор рациональной формы линии со-

пряжения позволит улучшить надежность фиксации в них прядей льна даже в случае частичного попадания отдельных волокон в зажим транспортирующих ремней трепальной машины. Из соотношения сил зажима слоя и сил натяжения, возникающего в нем, можно судить о надежности его фиксации в любом сечении по длине транспортирующих ремней.

В работе [1] проведено теоретическое исследование сил трения в зажиме транспортирующих ремней агрегата МТА-2Л.

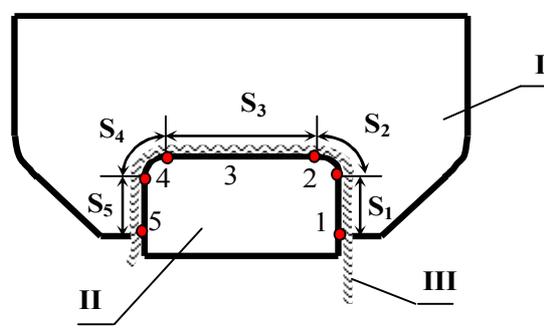


Рис. 1

На рис.1 изображено сечение ремней транспортирующего механизма МТА-2Л со слоем обрабатываемого материала. Слой 3 (в первой секции машины обрабатывается сырец, во второй – льноволокно) зажат в транспортирующих ремнях 1 и 2 (1 – верхний ремень, 2 – нижний ремень) и охватывает поверхность нижнего ремня. Для удобства исследования линия сопряжения данной модели ремней разбита на пять участков. Полученная в работе математическая модель для исследования сил трения слоя, расположенного по всей длине линии сопряжения ремней, имеет следующий вид:

$$F_{\text{мп}} = 2f \left[ e^{f\pi} \int_0^{\ell_5} q_5(s) ds + e^{f\pi} \int_0^{\pi R/2} q_4(s) e^{-\frac{f}{R}s} ds + e^{\frac{f\pi}{2}} \int_0^{\ell_3} q_3(s) ds + e^{\frac{f\pi}{2}} \int_0^{\pi R/2} q_2(s) e^{-\frac{f}{R}s} ds + \int_0^{\ell_1} q_1(s) ds \right]. \quad (1)$$

Здесь  $q_1(s)$ ,  $q_2(s)$ ,  $q_3(s)$ ,  $q_4(s)$ ,  $q_5(s)$  – интенсивность распределенной нагрузки, действующей со стороны ремня 1 на слой 3 на участках 1,2,3,4 и 5;  $s$  – дуговая координата;  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$ ,  $l_4$  и  $l_5$  – соответственно длина участков линии сопряжения ремней;  $f$  – коэффициент трения слоя о каждый из ремней;  $\varphi$  – угол обхвата слоем поверхности нижнего ремня.

Представляет интерес определение сил зажима слоя между ремнями, имеющими другое конструктивное исполнение, линия сопряжения которых имеет иную форму и состоит из прямолинейных, криволинейных участков или их совокупности (рис.2). Для аналитического расчета силы зажима примем некоторые допущения.

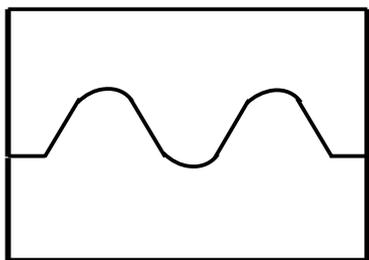


Рис. 2

Обозначим длину каждого из участков через  $l_i$ , где  $i$  – номер участка. Очевидно, что для криволинейного участка  $l_i = R_i \alpha_i$ , где  $R_i$  – радиус кривизны участка;  $\alpha_i$  – угол обхвата, выраженный в радианах. Предположим, что закон изменения распределенной нагрузки, действующей со стороны верхнего ремня, на слой известен, а коэффициент трения слоя о каждый из ремней равен  $f$ . Определим силу  $T$ , необходимую для вытаскивания слоя из зажима между ремнями по всей линии сопряжения ремней:

$$F_{\text{тр}_i} = T - T_{0i} = T_{0i} (e^{f\alpha_i} - 1) + e^{f\alpha_i} \int_0^{R_i \alpha_i} 2f q_i(s) e^{-\frac{f}{R_i} s} ds = \sum_{j=i+1}^n F_{\text{тр}_j} (e^{f\alpha_i} - 1) + e^{f\alpha_i} \int_0^{R_i \alpha_i} 2f q_i(s) e^{-\frac{f}{R_i} s} ds. \quad (4)$$

Если линия сопряжения ремней состоит только из криволинейных участков, то сила трения будет определяться следующим образом:

$$T = \sum_{i=1}^n F_{\text{тр}_i}, \quad (2)$$

где  $F_{\text{тр}_i}$  – сила трения между слоем и ремнями на  $i$ -м участке;  $n$  – количество участков.

Определение сил трения на прямолинейных участках не представляет трудностей. Если пренебречь весом слоя льнотресты, то:

$$F_{\text{тр}_i} = 2f \int_0^{l_i} q_i(s) ds, \quad (3)$$

где  $q_i(s)$  – интенсивность распределенной нагрузки, действующей со стороны верхнего ремня на слой на  $i$ -м участке;  $l_i$  – длина  $i$ -го участка.

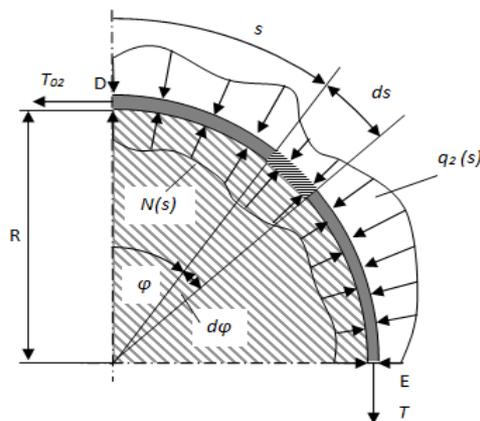


Рис. 3

Используя ранее полученный результат [1], видим, что сила трения на  $i$ -м криволинейном участке (рис. 3 – схема сил, действующих на слой на криволинейном участке) может быть найдена по формуле:

$$F_{\text{мп}} = \sum_{i=1}^n e^{f\alpha_i} \int_0^{R_i \alpha_i} 2f q_i(s) e^{-\frac{f}{R_i} s} ds (1 + \sum_{i=1}^{i-1} (e^{f\alpha_i} - 1)). \quad (5)$$

Обобщая полученные выше результаты, получим формулу, позволяющую оп-

ределить силу зажима для моделей ремней, линия сопряжения которых состоит из совокупности прямолинейных и криволинейных участков.

Пусть линия сопряжения ремней состоит из  $m$  криволинейных участков (очевидно,

$$T = \sum_{i=1}^n F_{\text{тр}i} = \sum_{i=1, i \neq y_j}^n 2f \int_0^{\ell_i} q_i(s) ds + \sum_{i=1, i=y_j}^n e^{f\alpha_i} \int_0^{R_i \alpha_i} 2f q_i(s) e^{-\frac{fs}{R_i}} ds + \sum_{i=1, i=y_j}^n (e^{f\alpha_i} - 1) \sum_{j=i+1}^n F_{\text{тр}j} . \quad (6)$$

В случае если линия сопряжения ремней состоит только из прямолинейных участков, расположенных друг к другу под некоторыми углами, тогда, полагая, что радиус закругления криволинейных участков стремится к нулю, а силы давления на прядь на этих участках конечны, то в этих формулах членами, содержащими внешнюю распределенную нагрузку, действующую на слой, можно пренебречь. Тогда для этого случая формула для расчета силы трения примет следующий вид:

$$T = \sum_{i=1}^n F_{\text{тр}i} = \sum_{i=1, i \neq y_j}^n 2f \int_0^{\ell_i} q_i(s) ds + \sum_{i=1, i=y_j}^n (e^{f\alpha_i} - 1) \sum_{j=i+1}^n F_{\text{тр}j} . \quad (7)$$

что  $1 \leq m \leq n$ , где  $n$  – общее количество участков),  $y_j$  – номер  $j$ -го криволинейного участка ( $1 \leq j \leq m$ ). Тогда формула для расчета силы трения в данном случае будет иметь следующий вид:

Поскольку процесс вычисления сил трения достаточно трудоемкий, с целью облегчения математических вычислений нами был разработан алгоритм и система автоматизированного расчета сил трения слоя в зажиме транспортирующих ремней произвольной формы линии их сопряжения. Система позволяет находить численные значения сил трения как для волокна, попавшего под зажим на всю длину линии сопряжения ремней, так и для случая неполного попадания волокна под зажим.

Результаты расчетов представлены в удобном для анализа виде (рис. 4 – зависимость силы зажима от координаты вдоль линии сопряжения ремней).

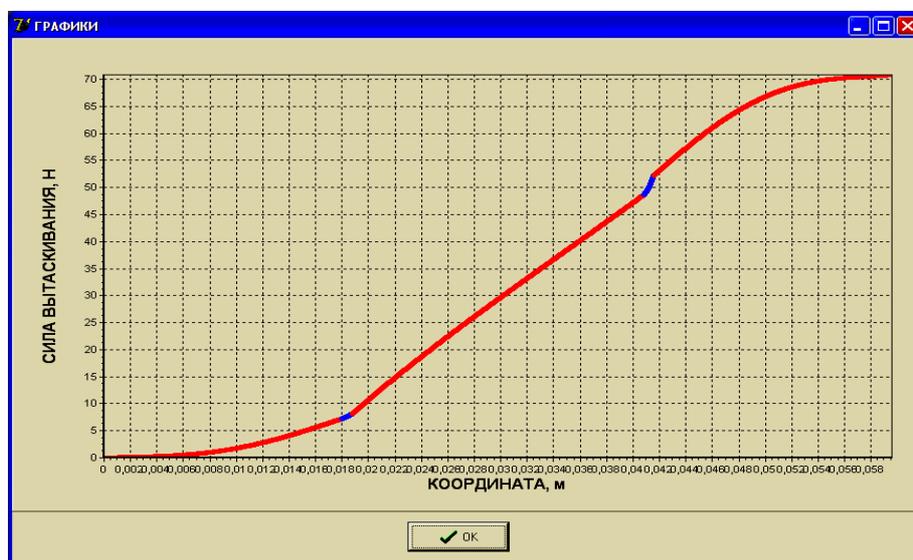


Рис. 4

Особенностью программного продукта является возможность вычисления сил трения для ремней различного конструктивного исполнения. Это даст возможность

обоснованно подойти к проектированию транспортирующего механизма трепальной машины, способного надежно фиксировать

пряди льна, что позволит значительно повысить выход длинного волокна.

## ВЫВОДЫ

Получена математическая модель и программное обеспечение для расчета сил трения слоя льна, зажатого в транспортирующих ремнях трепальной машины, позволяющие подобрать рациональную их

форму с целью повышения надежности фиксации обрабатываемого материала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Коваленко Н.И.* Совершенствование транспортирующего механизма трепальной машины: Дис. ... канд. техн. наук. – Кострома, 2005.

Рекомендована кафедрой теоретической механики и сопротивления материалов. Поступила 18.06.12.

---