

УДК 677.051.151.256

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА
СИЛ ТРЕНИЯ СЛОЯ ЛЬНЯНОГО ВОЛОКНА
О ПОВЕРХНОСТИ РЕМНЕЙ ЗАЖИМНОГО УСТРОЙСТВА
ТРЕПАЛЬНЫХ МАШИН**

**COMPUTER-AIDED CALCULATION
OF FORCES FRICTION LAYER FLAX FIBERS
ON THE BELT CLAMPING DEVICE PICKER**

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

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

В работе описано программное обеспечение процесса расчета сил трения слоя льняного волокна о контактирующие с ним поверхности зажимного механизма. Предложен алгоритм их расчета. В основе алгоритма лежит математическая модель, позволяющая вести расчет сил трения для различных форм поверхностей, контактирующих со слоем волокна и при любой длине зажатого слоя. Предлагаемое программное обеспечение позволяет выбрать рациональную форму линии контакта поверхностей зажимного устройства.

The paper describes the software process for calculating the forces of friction layer of flax fiber on the surface area of contact of the clamping mechanism. An algorithm for calculating them. Algorithm is based on a mathematical model allows calculation of the friction forces for various forms of contact surfaces with a layer of fiber. The proposed software allows you to choose a rational form the line of contact surfaces of the clamping device at any length sandwiched layer.

Ключевые слова: алгоритм, математическая модель, силы трения, зажимной механизм.

Keywords: algorithm, a mathematical model, the friction force, the clamping mechanism.

Проектирование элементов машин в настоящее время невозможно без применения информационных технологий. Это касается и такой отрасли народного хозяйства, как переработка льна. Применение информационных технологий позволяет сократить сроки проектирования элементов машин и уменьшить его трудоемкость. Решение задач в области переработки льна имеет свои особенности, которые связаны со сложностью описания физико-механических свойств льняного волокна.

Проводимые в данной работе исследования посвящены изучению условий работы зажимного механизма трепальных машин для переработки льна. В процессе переработки пряжи льна зажимаются в ремнях зажимного механизма и перемещаются вдоль секций трепальной машины. Для более надежной фиксации прядей сверху на ремни оказывают давление нажимные ролики, расположенные на определенном расстоянии друг от друга. Прядь льна в процессе обработки подвергается ударным воздействиям со стороны трепальных барабанов. Удержание прядей зависит от надежности их зажима, которая определяется различными факторами, исследованию которых посвящены работы [1...18].

В [1] представлена математическая модель, полученная для определения предельной силы трения слоя о поверхность ремней зажимного механизма агрегата МТА-2Л. Модель разработана для случая, когда слой волокна огибает поверхность

нижнего ремня, профиль которого имеет прямолинейные участки и криволинейные в виде дуг окружностей рис.1.

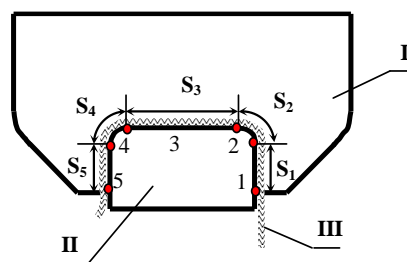


Рис. 1

На рис. 1 показана линия сопряжения ремней зажимного механизма трепальной машины агрегата МТА-2Л, где I – верхний ремень, II – нижний ремень. Цифрами обозначены участки линии сопряжения. При выборе рациональной формы линии сопряжения ремней, позволяющей обеспечить более надежный зажим прядей, необходимо провести расчет сил трения для различных ее конфигураций. Линия сопряжения может быть выполнена в виде прямолинейных или криволинейных участков. Профиль криволинейных участков может являться какой-либо заданной функцией, отличной от окружности. Также возможно сочетание этих участков. Количество участков, их длина и форма могут быть различными. Для этого случая в работе [13] получена математическая модель, позволяющая определить данную силу трения слоя:

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

где n – общее количество участков линии сопряжения ремней; m – количество криволинейных участков (очевидно, что $0 \leq m \leq n$); y_j – номер j -го криволинейного участка; ℓ_i – длина i -го участка, м; $F_{\text{тпи}}$ – сила трения между слоем и ремнями на i -м участке, Н; $q_i(s)$ – интенсивность распределенной нагрузки, действующей со стороны верхнего ремня на слой на i -м участке, Н/м; s – дуговая координата вдоль ли-

нии сопряжения; R_i – радиус кривизны криволинейного участка, м; α_i – угол обхвата криволинейного участка, выраженный в радианах; f – коэффициент трения слоя о поверхность ремня.

Следует заметить, что формула (1) получена для случая, когда прядь полностью попала под зажим на всей линии сопряжения ремней. Однако в процессе обработки прядь может попасть под зажим не на всей

длине их линии сопряжения. В этом случае предельная сила натяжения пряжи T , у которой под зажим попал участок длиной ℓ и при этом конец пряжи находится на участке с номером k , может быть найдена по формуле:

$$T = F_{\text{тр}k} + \sum_{i=1}^{k-1} F_{\text{тр}i}. \quad (2)$$

В этой формуле первое слагаемое соответствует силе трения на участке с номером k , а второе слагаемое – сумме сил трения на всех предыдущих участках. Если k -й участок прямолинейный, то силу трения на этом участке можно найти по формуле:

$$F_{\text{тр}k} = 2f \int_0^{\ell - \sum_{i=1}^{k-1} \ell_i} q_k(s) ds. \quad (3)$$

В случае если k -й участок криволинейный, то:

$$F_{\text{тр}k} = e^{f \left(\ell - \sum_{i=1}^{k-1} \ell_i \right) / R_k} \int_0^{\ell - \sum_{i=1}^{k-1} \ell_i} 2f q_k(s) e^{-fs/R_k} ds. \quad (4)$$

Для получения результатов с использованием этих моделей необходимо знать, как распределены силы давления со стороны внешнего ремня на зажатый слой обрабатываемого материала вдоль линии сопряжения ремней. Получить эти данные возможно различными способами: численными или экспериментально. И в том, и другом случае получим массив значений напряжений в зависимости от координаты вдоль линии сопряжения ремней. Для использования математической модели (1) необходимо иметь аналитические зависимости напряжений от координаты $q_i(s)$, которые можно найти путем аппроксимации данных, полученных численными методами или экспериментальными. Это дает возможность, используя эту модель, сразу получить предельную силу трения слоя о поверхности ремней.

На основе данной модели разработан алгоритм решения и программный ком-

плекс в виде системы автоматизированного расчета сил трения.

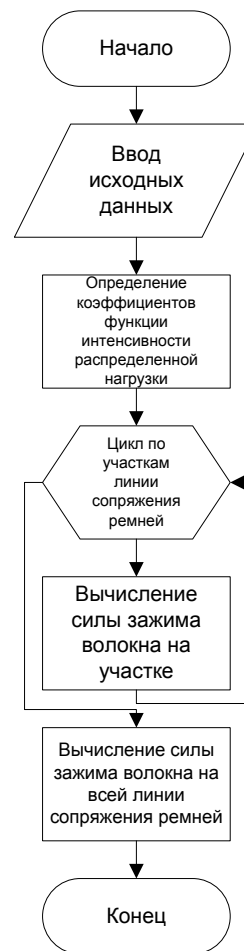


Рис. 2

На рис.2 представлена блок-схема алгоритма расчета сил трения. Алгоритм включает в себя два этапа:

1. Определение аналитических зависимостей интенсивности распределенной нагрузки для каждого участка линии сопряжения ремней.

2. Расчет сил трения слоя с использованием математических моделей.

Для определения аналитической зависимости нами был использован метод наименьших квадратов. Необходимо отметить, что аппроксимация данных реализуется двумя функциями:

– квадратическим полиномом, имеющим вид:

$$y(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2;$$

– кубическим полиномом, имеющим вид:

$$y(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3.$$

Также для каждой аппроксимирующей функции вычисляются следующие виды ошибок, называемых погрешностью аппроксимации:

- максимальное значение отклонения значения аппроксимирующей функции и экспериментального значения функции;
- среднеквадратическое отклонение.

Та из функций, которая имеет наименьшее значение ошибки, и будет взята в качестве функции интенсивности распределенной нагрузки. Для вычисления сил трения слоя в программе был применен

численный метод прямоугольников для вычисления интегралов.

Для эффективной работы с системой разработан удобный пользовательский интерфейс, позволяющий вводить параметры расчета, изменять их и получать результаты расчета в виде графиков, в виде значений сил трений, а также их можно сохранить в файл. Для хранения данных, обрабатываемых системой автоматизированного расчета сил трения, используются файлы следующих типов: файл линии сопряжения ремней и файл экспериментальных данных. Файл линии сопряжения ремней содержит информацию о параметрах отдельных участков линии сопряжения ремней. В файле экспериментальных данных хранятся данные, необходимые для аппроксимации с целью получения функции распределенной нагрузки.

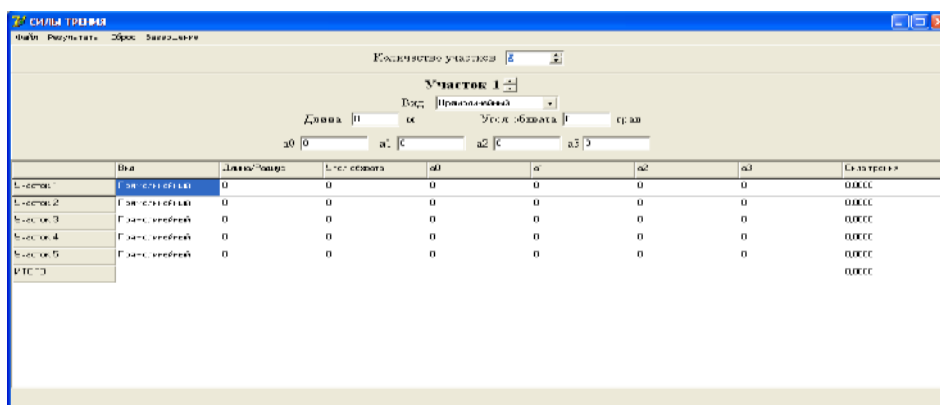


Рис. 3

Для аппроксимации данных необходимо в главном окне программы (рис. 3 – панель ввода параметров участка линии сопряжения) выбрать пункт "Аппроксимация", результате появится форма "Деформации и нагрузки". На форме расположены меню и основное окно. Аппроксимация необходима для получения аналитических зависимостей напряжений от координаты $q_i(s)$.

Исходными данными для запуска процесса расчета сил трения являются:

- геометрические параметры верхнего и нижнего транспортирующих ремней;
- результаты расчета напряженно-деформированного состояния.

Для ввода геометрических параметров о ремнях необходимо в главном окне программы выбрать пункт "Расчет", в результате появится форма для ввода параметров ремней и их расчета. На форме ввода геометрических параметров находятся следующие панели ввода исходных данных:

- количество участков;
- информация об участках.

На панели ввода информации об участках, необходимо ввести следующие параметры:

- вид участка (прямолинейный / криволинейный);
- длина участка (для прямолинейного) или радиус участка (для криволинейного);
- угол обхвата участка;

– коэффициенты (a_0, a_1, a_2, a_3) функции интенсивности распределенной нагрузки, полученные путем аппроксимации экспериментальных данных или полученных аналитически.

Данные о геометрических параметрах также могут быть открыты из ранее созданного файла. Для открытия файла необходимо выполнить команду "Файл – Открыть". Для сохранения данных в файл необходимо выполнить команду "Файл – Сохранить". Эти данные могут быть, как введены вручную в соответствующие им поля ввода, так и загружены из файла. Чтобы загрузить данные об участках, необходимо выполнить команду "Файл – Открыть". Далее необходимо выбрать файл, содержащий в себе нужные данные. Во время ввода данных они автоматически записываются в таблицу. При вводе данных о параметрах участков автоматически вычисляются силы трения как на данном участке, так и по всей линии сопряжения ремней (рис. 3).

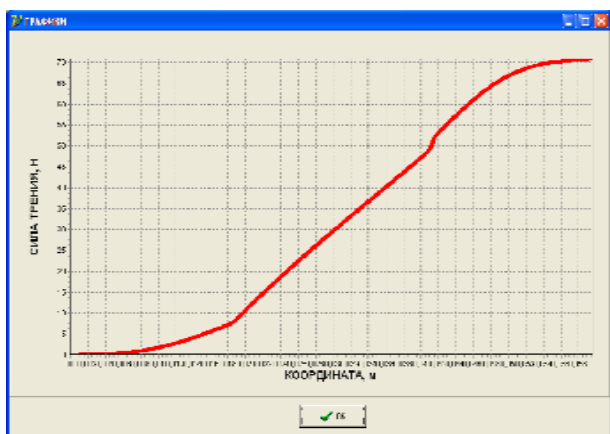


Рис. 4

Чтобы увидеть данные о расчете сил трения в виде графика, необходимо выполнить команду "Результаты - График". График выводится в виде линии, абсцисса которого соответствует координате, а ордината – силе трения (рис. 4 – панель представления результатов расчета в виде графика). В системе также имеется возможность вывода значений сил трения в файл для последующего их анализа, для этого необходимо выполнить команду "Результаты – Сохранить", в появившемся

диалоговом окне необходимо задать имя файла, в который будут записаны результаты. Для удобства пользования системой расчета сил трения реализован интерфейс сохранения текущих данных в файл, открытия файла с данными и сброс результатов.

Необходимо отметить, что в таблице отражается результат расчета, в случае если волокно попало на всю длину участков линии сопряжения. Если волокно попало на какой-либо участок не полностью, то для просмотра результатов в этом случае служит пункт меню "Результаты", который содержит в себе следующие подпункты:

- графики – для просмотра результатов в виде графиков;
- сохранить – для сохранения результатов в текстовом файле;
- линия сопряжения – просмотр вида линии сопряжения ремней;
- настройки – для управления параметрами расчета;
- параметры – информация о виде расчета.

В качестве среды разработки системы автоматизированного расчета сил трения нами была выбрана среда Borland Delphi 7.0. Она позволяет полностью реализовать все алгоритмы, необходимые для работы системы.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны алгоритм и программа, позволяющие рассчитать предельную силу трения слоя о поверхности транспортирующих ремней для участка пряжи произвольной длины.
2. Программа позволяет рассчитать предельную силу трения для транспортирующих ремней произвольного профиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коваленко Н.И. Совершенствование транспортирующего механизма трепальной машины: Дис...канд.техн.наук. – Кострома, 2005.
2. Коваленко Н.И., Разин С.Н. Определение силы зажима пряжи произвольной длины в транспортирующих ремнях трепальной машины// Вестник КГТУ. – Кострома, 2006, №13.

3. Разин С.Н., Гришин А.Г., Коваленко Н.И. Проверка формулы Эйлера при исследовании взаимодействия гибкой нити с шероховатым цилиндром // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006, №4С.
4. Коваленко Н.И., Разин С.Н. Возможности снижения сил натяжения прядей льна вблизи их зажима при трепании // Вестник ВНИИЛК. – Кострома, 2007, №3.
5. Коваленко Н.И. Анализ конструктивных решений транспортирующих ремней трепальных машин на основе их компьютерного моделирования // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007, №6С.
6. Коваленко Н.И., Разин С.Н. Компьютерное моделирование процесса взаимодействия гибкой нити с шероховатой поверхностью Деп. в ВНИИТИ.- №432-В2008. – М., 2008.
7. Коваленко Н.И., Разин С.Н., Балабаев П.С., Соколов А.В. Экспериментальное определение жесткости транспортирующих ремней трепальной машины // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009, №4С.
8. Коваленко Н.И., Разин С.Н., Соколов А.В. Направления исследования и совершенствования расчетов элементов транспортирующего механизма трепальной машины для льна // Вестник КГТУ. – Кострома, 2009, №21.
9. Коваленко Н.И., Разин С.Н., Соколов А.В. Моделирование напряженно-деформированного состояния моделей транспортирующих ремней трепальной машины // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, №5.
10. Коваленко Н.И., Разин С.Н., Соколов А.В. Моделирование некоторых параметров нажимного устройства трепальной машины // Вестник КГТУ. – Кострома, 2010, №23.
11. Коваленко Н.И., Разин С.Н., Соколов А.В. Моделирование взаимодействия элементов транспортирующего механизма трепальной машины // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №5.
12. Коваленко Н.И., Разин С.Н., Буров М.С., Коржнев В.Н. Компьютерное моделирование транспортирующих ремней зажимного механизма трепальной машины // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №4.
13. Коваленко Н.И., Разин С.Н., Буров М.С. Математическое моделирование зажима слоя в транспортирующих ремнях трепальной машины // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №5.
14. Коваленко Н.И., Разин С.Н., Буров М.С. Имитационное моделирование слоя стеблей льна при его обработке в трепальной машине // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №6.
15. Разин С.Н., Коваленко Н.И., Буров М.С. Моделирование процесса взаимодействия слоя льна с рабочими органами трепальной машины // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №1.
16. Коваленко Н.И., Разин С.Н., Соколов А.В. Влияние расстояния между нажимными роликами на силу зажима слоя в ремнях трепальной машины // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №2.
17. Коваленко Н.И., Разин С.Н. Моделирование напряженно-деформированного состояния транспортирующих ремней трепальной машины поляризационно-оптическим методом // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №3.
18. Коваленко Н.И., Разин С.Н., Соколов А.В. Исследование влияния диаметра нажимных роликов на силу зажима слоя в ремнях трепальной машины // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №5.

Рекомендована кафедрой информационных технологий. Поступила 30.09.14.