

УДК 677.051.151.256

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА
СИЛ НАТЯЖЕНИЯ СЛОЯ В ТРЕПАЛЬНОЙ МАШИНЕ**

**SYSTEM AUTOMATED CALCULATION
TENSION FORCES LAYER PICKER**

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

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

В работе рассматривается задача по определению сил натяжения в слое от ударных воздействий бил барабанов трепальных машин. Для реализации решения задачи разработан алгоритм и система автоматизированного расчета. Использование данной системы позволит, моделируя поведение прядей в слое, получить значения сил натяжения при различных параметрах процесса трепания.

This paper considers the problem of determining the tensile forces in the layer from knocks beat drums picker. To implement an algorithm for solving the problem and its solution automated calculation system. Using this system will allow simulating the behavior of the strands in the layer tension forces to obtain the values for various parameters of the process of scutching.

Ключевые слова: натяжение, слой, алгоритм, моделирование, подсистема.

Keywords: tension layer, algorithm, modeling, subsystem.

К дополнению [1...19] разработана подсистема расчета сил натяжения слоя в процессе трепания, в основе алгоритма которой лежит математическая модель с учетом изгибной жесткости слоя. В процессе взаимодействия слоя с бильными планками он, изгибаясь, изменяет свою форму. При этом

в слое возникают силы, препятствующие этому изгибу. Для учета этих сил предложено ввести упругий элемент в модели пряди (нити), который бы создавал момент сил при изменении положения отдельных участков пряди относительно друг друга. При этом жесткость упругого элемента с

можно определить по формуле, полученной в работе [19]: $c = \frac{EJ(n+1)(2n+1)}{2nL}$, где EJ – жесткость упругого элемента, $\text{Н}\cdot\text{м}^2$; n – количество участков разбиения пряжи; L – длина пряжи, м. Представляя момент в виде пары сил, приложенным к весовым шарнирам пряжи (нити), получим: $F_i^{\text{изг}} = \frac{c\alpha}{\ell_{i,i+1}}$ (угол α

показан на рис. 1). В результате на каждую из точек пряжи будут действовать две дополнительные силы: $F_i^{\text{изг}}, F_{i-1}^{\text{изг}}$ соответственно на точку с номером i и $i-1$ (рис. 1).

Таким образом, уравнения движения примут вид:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x_i}{dt^2} = \frac{ES}{\ell_0} (\ell_{i-1,i} - \ell_0) \frac{(x_{i-1} - x_i)}{\ell_{i-1,i}} + \frac{ES}{\ell_0} (\ell_{i,i+1} - \ell_0) \frac{(x_{i+1} - x_i)}{\ell_{i,i+1}} + F_{ix}^{\text{изг}}, \\ m \frac{d^2 y_i}{dt^2} = \frac{ES}{\ell_0} (\ell_{i-1,i} - \ell_0) \frac{(y_{i-1} - y_i)}{\ell_{i-1,i}} + \frac{ES}{\ell_0} (\ell_{i,i+1} - \ell_0) \frac{(y_{i+1} - y_i)}{\ell} + F_{iy}^{\text{изг}}, \end{cases} \quad (1)$$

где (x_i, y_i) – координаты i -й точки пряжи; m – масса участка пряжи, кг; ℓ_0 – длина участка пряжи в ненапряженном состоянии, м; $\ell_{i,i+1} = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}$ – длина участка пряжи в напряженном состоянии между точками i и $i+1$, м; E – модуль Юнга, $\text{Н}/\text{м}^2$; S – площадь поперечного сечения, м^2 ; c – жесткость упругих элементов, $\text{Н}/\text{м}$; J – момент инерции, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; α – угол между i и $i+1$ участками пряжи [град].

Алгоритм расчета в соответствии с показанными моделями представлен в виде блок-схемы на рис. 2. На шаге 1 задаем входные данные, а именно: параметры барабана (длина била, межосевое расстояние, расстояние от оси вращения барабана до ремня, число бил и частота вращения барабанов); параметры пряжи (масса, длина, диаметр, модуль Юнга и площадь поперечного сечения); параметры процесса расчета (количество участков разбиения пряжи).

На шаге 2 разбиваем пряжу на участки. На шаге 3 определяем координаты участков пряжи. Для того чтобы определить координаты участков пряжи, необходимо решить систему дифференциальных уравнений (1).

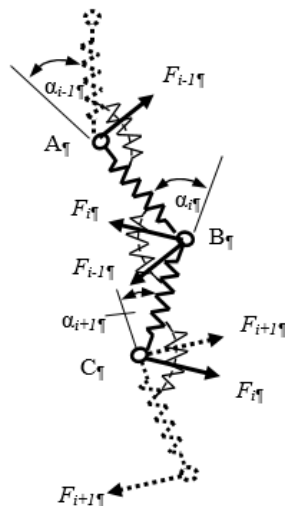


Рис. 1

Равенство (1) справедливо для всех участков пряжи, кроме первого и последнего. Для первого и последнего участков соответствующие уравнения будут иметь вид:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x_0}{dt^2} = \frac{ES}{\ell_0} (\ell_{0,1} - \ell_0) \frac{(x_1 - x_0)}{\ell_{0,1}} + F_{ix}^{\text{изг}}, \\ m \frac{d^2 y_0}{dt^2} = \frac{ES}{\ell_0} (\ell_{0,1} - \ell_0) \frac{(y_1 - y_0)}{\ell_{0,1}} + F_{iy}^{\text{изг}}, \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x_N}{dt^2} = \frac{ES}{\ell_0} (\ell_{N-1,N} - \ell_0) \frac{(x_{N-1} - x_N)}{\ell_{N-1,N}} + F_{ix}^{\text{изг}}, \\ m \frac{d^2 y_N}{dt^2} = \frac{ES}{\ell_0} (\ell_{N-1,N} - \ell_0) \frac{(y_{N-1} - y_N)}{\ell_{N-1,N}} + F_{iy}^{\text{изг}}. \end{cases} \quad (3)$$

Для решения данных дифференциальных уравнений нами был применен численный метод представления производной в виде конечной разности:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} \approx \frac{x^{k+1} - 2x^k + x^{k-1}}{(\Delta t)^2}.$$

Заменяя все производные, получаем обычную систему линейных уравнений, которая легко поддается программированию.



Рис. 2

На шаге 4 определяем координаты била, так как в каждый момент времени било поворачивается на некоторый угол и соответственно изменяет свои координаты. На шаге 5 определяем участки, находящиеся между билками, поскольку для данных участков необходимо уточнить координаты точек. На шаге 6 уточняем координаты то-

чек, находящихся между билками. Для этого используем следующие математические модели:

$$m \frac{d^2 x_i}{dt^2} = ES \left(\frac{\ell_{i-1,i}}{\ell_0} - 1 \right) \frac{(x_{i-1} - x_i)}{\ell_{i-1,i}} + \frac{ES}{\ell_0} (AB + BC - \ell_0) \frac{(x_B - x_i)}{\sqrt{(x_B - x_i)^2 + (y_B - y_i)^2}},$$

$$m \frac{d^2 y_i}{dt^2} = ES \left(\frac{\ell_{i-1,i}}{\ell_0} - 1 \right) \frac{(y_{i-1} - y_i)}{\ell_{i-1,i}} + \frac{ES}{\ell_0} (AB + BC - \ell_0) \frac{(y_B - y_i)}{\sqrt{(x_B - x_i)^2 + (y_B - y_i)^2}}.$$

Шаг 7. Зная координаты участков пряжи, можно определить силу натяжения, используя следующую математическую зависимость:

$$T_{i,i+1} = \frac{ES}{\ell_0} (\ell_{i,i+1} - \ell_0).$$

Шаг 8. Определяем относительную деформацию. Относительная деформация не может превышать 3% для льна, поскольку при относительной деформации 3% лен разрывается. Если относительная деформация получилась больше 3%, то данный участок пряжи разбиваем на 10 участков (шаг 9) и повторяем расчет заново с шага 5. Расчет прекращается, когда било вернется в исходное состояние – шаг 10. Алгоритм решения задачи реализован в среде Borland Delphi 7.0. Интерфейс программы показан в виде диалоговых окон на рис. 3.

С помощью разработанной программы определена сила натяжения пряжи при следующих значениях входных данных. Длина стебля от 40 до 70 см с шагом 5 см; изгибная жесткость $3 \cdot 10^{-6}$ Н·м², что соответствует диаметру стебля 1 мм; а также изгибная жесткость $6 \cdot 10^{-6}$ Н·м², $10 \cdot 10^{-6}$ Н·м²; частота вращения барабана 300 об/мин; межосевое расстояние 520 мм; число бил 2; расстояние до точки зажима 400 мм. Результаты численного исследования представлены на рис. 4.

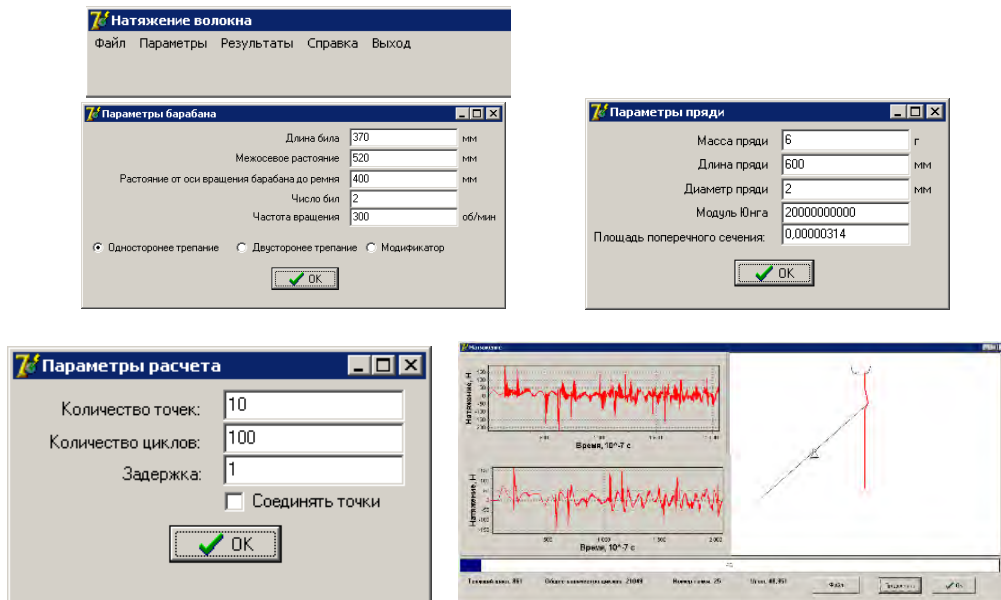


Рис. 3

На рис. 4 кривая 1 соответствует расчету силы натяжения при значении изгибной жесткости, равном $10 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м}^2$; кривая 2 – $6 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м}^2$; кривая 3 – $3 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м}^2$; кривая 4 – без учета изгибной жесткости. Анализ результатов расчетов позволил сделать заключение о том, что с увеличением длины стеблей сила натяжения возрастает. При этом с увеличением длины стеблей скорость возрастания силы натяжения увеличивается.

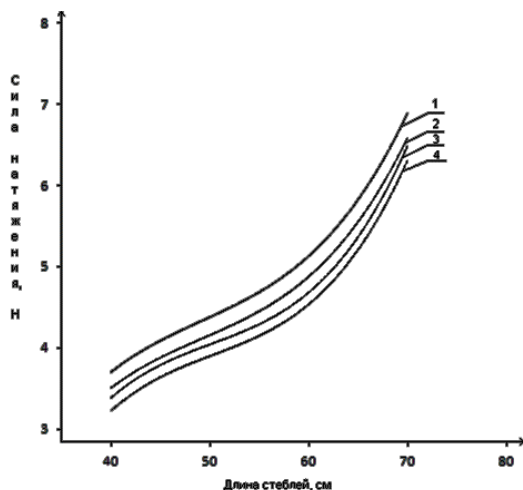


Рис. 4

Расчет силы натяжения с учетом изгибной жесткости приводит к изменению результатов вычислений. Чем больше изгибная жесткость, тем больше это влияние. Так, например, при длине стебля 70 см увеличе-

ние изгибной жесткости от 0 до $10 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м}^2$ приводит к увеличению силы натяжения в сечении зажима от 6,28 до 6,88 Н, что составляет почти 10% от результатов, полученных без учета изгибной жесткости.

ВЫВОДЫ

1. Разработан алгоритм и программа по расчету сил натяжения слоя от ударных воздействий бил трепальных барабанов в процессе трепания с учетом изгибной жесткости.
2. Установлено, что для стеблей с небольшой изгибной жесткостью (до $3 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м}^2$) ее учет приводит к изменению результатов расчета менее чем на 5%.
3. Для стеблей с большой изгибной жесткостью (более $6 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м}^2$) ее учет приводит к изменению результатов расчета до 23%. Следовательно, учет изгибной жесткости для расчета силы натяжения необходим.

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 пряди произвольной длины в транспортирующих ремнях трепальной машины // Вестник Костромского гос. технолог. ун-та. – 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 ВИНТИ.- №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 Костромского гос. технолог. ун-та. – 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 Костромского гос. технолог. ун-та. – 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., Коржев 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.

19. Бойко С.В. Теоретические и технические основы повышения эффективности процесса трепания недоработанного льняного волокна: Дис. ... докт. техн. наук. – М., 2008.

REFERENCES

1. Kovalenko N.I. Sovershenstvovanie transportiruyushogo mehanizma trepalnoj mashiny: Dis...kand. tehn. nauk. – Kostroma, 2005.

2. Kovalenko N.I., Razin S.N. Opredelenie sily zazhima pryadi proizvolnoj dliny v transportiruyushih remnyah trepalnoj mashiny // Vestnik Kostromskogo gos. tehnolog. un-ta. – Kostroma, 2006, №13.

3. Razin S.N., Grishin A.G., Kovalenko N.I. Proverka formuly Ejlera pri issledovanii vzaimodejstviya gibkoj niti s sherohovatym cilindrom // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti. – 2006, №4S.

4. Kovalenko N.I., Razin S.N. Vozmozhnosti snizheniya sil natyazheniya pryadej lna vblizi ih zazhima pri trepanii // Vestnik VNIILK. – Kostroma, 2007, № 3.

5. Kovalenko N.I. Analiz konstruktivnyh reshenij transportiruyushih remnej trepalnyh mashin na osnove ih kompyuternogo modelirovaniya // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti. – 2007, №6S.

6. Kovalenko N.I., Razin S.N. Kompyuternoe modelirovanie processa vzaimodejstviya gibkoj niti s sherohovatoj poverhnostyu Dep. v VINITI.- №432-V2008. – М., 2008.

7. Kovalenko N.I., Razin S.N., Balabaev P.S., Sokolov A.V. Eksperimentalnoe opredelenie zhestkosti transportiruyushih remnej trepalnoj mashiny // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti. – 2009, №4S.

8. Kovalenko N.I., Razin S.N., Sokolov A.V. Napravleniya issledovaniya i sovershenstvovaniya raschetov elementov transportiruyushogo mehanizma trepalnoj mashiny dlya lna // Vestnik Kostromskogo gos. tehnolog. un-ta. – Kostroma, 2009, №21.

9. Kovalenko N.I., Razin S.N., Sokolov A.V. Modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sosto-

yaniya modelej transportiruyushih remnej trepalnoj mashiny // *Izv. vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti.* – 2010, №5.

10. Kovalenko N.I., Razin S.N., Sokolov A.V. Modelirovanie nekotoryh parametrov nazhimmogo ustrojstva trepalnoj mashiny // *Vestnik Kostromskogo gos. tehnolog. un-ta.* – Kostroma, 2010, №23.

11. Kovalenko N.I., Razin S.N., Sokolov A.V. Modelirovanie vzaimodejstviya elementov transportiruyushogo mehanizma trepalnoj mashiny // *Izv. vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti.* – 2011, №5.

12. Kovalenko N.I., Razin S.N., Burov M.S., Korzhev V.N. Kompyuternoe modelirovanie transportiruyushih remnej zazhimmogo mehanizma trepalnoj mashiny // *Izv. vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti.* – 2012, №4.

13. Kovalenko N.I., Razin S.N., Burov M.S. Matematicheskoe modelirovanie zazhima sloya v transportiruyushih remnyah trepalnoj mashiny // *Izv. vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti.* – 2012, №5.

14. Kovalenko N.I., Razin S.N., Burov M.S. Imitacionnoe modelirovanie sloya steblej lna pri ego obrabotke v trepalnoj mashine // *Izv. vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti.* – 2012, №6.

15. Razin S.N., Kovalenko N.I., Burov M.S. Modelirovanie processa vzaimodejstviya sloya lna s

rabochimi organami trepalnoj mashiny // *Izv. vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti.* – 2013, №1.

16. Kovalenko N.I., Razin S.N., Sokolov A.V. Vliyanie rasstoyaniya mezhdru nazhimnymi rolnikami na silu zazhima sloya v remnyah trepalnoj mashiny // *Izv. vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti.* – 2013, №2.

17. Kovalenko N.I., Razin S.N. Modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya transportiruyushih remnej trepalnoj mashiny polyarizacionno-opticheskim metodom // *Izv. vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti.* – 2013, №3.

18. Kovalenko N.I., Razin S.N., Sokolov A.V. Issledovanie vliyaniya diametra nazhimnyh rolikov na silu zazhima sloya v remnyah trepalnoj mashiny // *Izv. vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti.* – 2013, №5.

19. Bojko S.V. Teoreticheskie i tehicheskie osnovy povysheniya effektivnosti processa trepaniya nedorabotannogo lnyanogo volokna: Dis. ...dokt. tehn. nauk. – M., 2008.

Рекомендована кафедрой информационных технологий. Поступила 29.03.16.