

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ РЕМНЕЙ ТРЕПАЛЬНОЙ МАШИНЫ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

### SIMULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF CONVEYING BELTS PICKER POLARIZATION-OPTICAL METHOD

Н.И.КОВАЛЕНКО, С.Н.РАЗИН  
N.I.KOVALENKO, S.N.RAZIN

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

*Приведены результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния транспортирующих ремней трепальной машины. Показано влияние толщины слоя льна и внешнего давления на слой со стороны нажимных роликов на силу зажима в транспортирующих ремнях.*

*The experimental results of stress-strain state of conveying belts picker. Shows the influence of the thickness of the layer of flax and external pressure on the layer of the pressure rollers on the clamping force in the conveying belt.*

**Ключевые слова:** транспортирующий ремень, напряжения, изохромы, изоклины, изостаты, сила зажима, лубоволокнистый слой.

**Keywords:** conveying belt tension isochromen, isoclines, Isostatic, clamping force, bast-fiber layer.

Наиболее ценное длинное льняное волокно получается в ходе механической обработки льняной тресты на мяльно-трепальном агрегате. Основным рабочим органом трепальной машины является транспортирующий механизм, состоящий из транспортирующих ремней и нажимного устройства в виде роликов, расположенных на транспортной балке через фиксированное расстояние (рис. 1 – схема зажимного транспортирующего механизма: 1 – льняное волокно, 2 – нижний транспортирующий ремень, 3 – била, 4 – верхний транспортирующий ремень, 5 – прижимной ролик, 6 – упругий элемент).

Пряди обрабатываемого льносырья зажимаются между двумя транспортирующими ремнями 2, 4 и перемещаются вдоль секций трепальной машины.

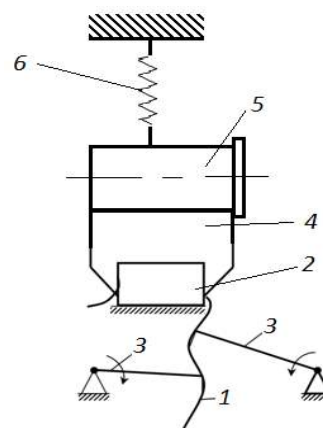


Рис. 1

В процессе транспортировки свисающие пряди 1 подвергаются ударным воздействиям со стороны бильных барабанов 3 с целью очистки получаемого льняного волокна от костры и различных примесей. Транспортирующий механизм должен

обеспечить надежную фиксацию прядей обрабатываемого сырья, исключаящую его выдергивание от действия бил трепальных барабанов, воздействие которых вызывает в слое значительные силы натяжения.

Существующие в настоящее время транспортирующие механизмы не обеспечивают в полной мере поставленной перед ними задачи, и ценное длинное волокно попадает в отходы трепания. Поэтому с целью снижения потерь ценного длинного волокна в процессе его обработки и повышения качества работы оборудования на отечественных предприятиях по переработке льна необходимо совершенствовать работу транспортирующего механизма. Для этого необходимо определить распределение напряжений в транспортирующих ремнях трепальной машины в зависимости от различных факторов.

Поставленная задача решалась на основе компьютерного моделирования с помощью САЕ-систем [1...12]. Одной из основных задач автоматизированного расчета НДС (напряженно-деформированного состояния) является правильное построение модели исследуемого объекта, так как соответствие параметров модели условиям реальной задачи будет определять точность полученных результатов. Решение этой задачи позволит выделить направления для совершенствования механизма с целью повышения надежности фиксации зажатых прядей при трепании. Для проведения расчетов НДС в САЕ-системах необходимо моделировать материалы исследуемых элементов, задавая их механические характеристики и граничные условия, что связано с определенными трудностями. Во-первых, материал ремней имеет не только сложную форму, но и структуру, основу которой составляет резина с сердечником. Сердечник, в свою очередь, состоит из нескольких слоев прорезиненной ткани с резиновыми прослойками. В связи с этим при решении задачи в САЕ-системах необходимо моделировать механические характеристики каждой области в отдельности, либо упростить решение, приняв их усредненные значения. Во-

вторых, в зажиме ремней находится слой лубяного материала, который неоднороден по своей структуре. Кроме того, слой состоит из отдельных стеблей. Стебли лубяных культур имеют сложную конструкцию. Они полые. Наружная часть стебля состоит из коры и древесины, связанных между собой тонким слоем ткани. Структура коровой части – мягкие паренхимные ткани. Основу древесины составляют жесткие паренхимные клетки. Внутри стебля находятся пучки волокна. Каждое волокно состоит из элементарных волокон, средняя длина которого колеблется от 10 до 25 мм. В пучке насчитывают от 10 до 40 элементарных волокон. Основным веществом, из которого состоит волокно, является целлюлоза. Элементарные волокна объединяются в пучки посредством межклеточного вещества, состав которого содержит пектиновые вещества. Структура волокна оказывает влияние на его физико-механические свойства. Их моделирование при конечно-элементном анализе представляет собой чрезвычайно сложную задачу.

Следовательно, особенности свойств льна, а также элементов транспортирующего механизма затрудняют процессы математического моделирования. Поэтому нами проведено исследование напряженно-деформированного состояния модели ремней транспортирующего механизма с зажатым в них слоем льна поляризационно-оптическим методом. Этот метод применен впервые для транспортирующих ремней трепальной машины. В проведенных исследованиях геометрия модели ремней соответствует физической модели агрегата МТА-2Л. Условия нагружения и закрепления аналогичны реальным условиям работы транспортирующего механизма. Моделировалось плоское напряженное состояние для статической упругой задачи. Исследования проводились в два этапа. Первый этап заключался в создании модели и получении при ее просвечивании поляризованным светом картины полос и изоклин по всему сечению ремней. Модель изготовлена из оптически чувствительного материала и соответствовала

по форме и размерам реальной физической модели. Полученная модель транспортирующих ремней закреплялась в специальном приспособлении поляризационной установки и нагружалась. Величина нагрузки составляла 80, 160, 240Н. При решении задачи поляризационно-оптическим методом в отличие от решения с использованием САЕ-системы использовано реальное льняное волокно, толщина которого равнялась 0; 0,5; 1; 2 и 3 мм. В поляризационной установке нагруженная модель толщиной 1 см просвечивалась поляризованным светом и фотографировалась.

При просвечивании нагруженной модели в круговом полярикопе монохроматическим источником света получены картины в виде чередования черных и белых полос различных порядков по сечению ремней. Полученные картины фиксировались путем фотографирования интерференционных изображений полос или изохром (то есть точек с одинаковой величиной разности главных нормальных напряжений в сечении ремней) при различных сочетаниях усилия прижима верхнего ремня и толщины слоя.

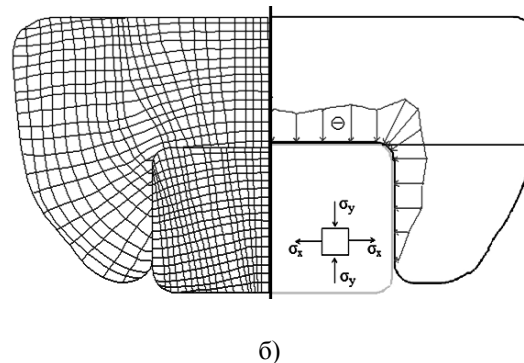
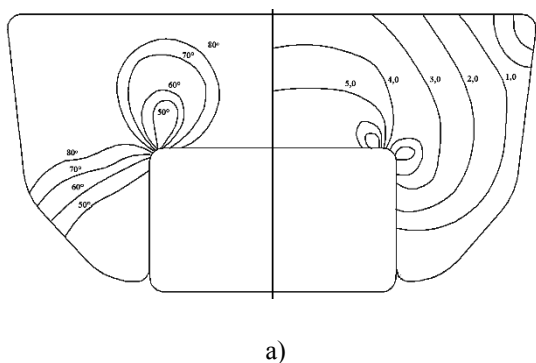


Рис. 3

При просвечивании модели ремней белым светом вместо черно-белых полос были цветные, на фоне которых видны темные линии изоклин (рис. 3-а), то есть направлений главных напряжений в каждой точке исследуемой модели. Каждая изоклина характеризуется своим параметром. В нашем исследовании изоклины отличались друг от друга на  $10^\circ$ . Полученное поле изоклин позволило получить траектории главных напряжений (изостаты). Изо-

статы строились известным способом нанесения штрихов на линии изоклин, направленных к оси X под углом, равным параметру изоклины. Затем проводились плавные кривые таким образом, чтобы штрихи были касательными к ним в соответствующих точках. Таким способом получены два ортогональных семейства кривых, соответствующих максимальным главным нормальным напряжениям  $\sigma_1$  и минимальным главным нормальным на-



Рис. 2

На рис. 2 показана картина полос и их порядок для модели ремней со слоем льна толщиной 0,5 мм и полученная при давлении 240 Н. Порядок полосы определяли в процессе наблюдения за порядком их образования на всем поле модели рис. 3-а. Порядки полос различаются друг от друга на единицу. Анализ картин изохром позволил установить, что с увеличением нагрузки количество полос возрастает, но зона и характер их распределения в модели остаются почти без изменений.

На рис. 3 представлены: а) – картина изоклин и полос при нагружении модели ремней; б) – картина изостат и эпюры распределения нормальных напряжений

пряжениям  $\sigma_2$ . Картина изостат в напряженной модели ремней рис. 3-б дает наглядное представление о характере поля напряжений по всему сечению. В ходе проведения эксперимента определено, что под действием нагрузки ремни деформируются, а в местах контакта двух ремней (внутренняя поверхность верхнего ремня и наружная поверхность нижнего ремня) возникают касательные и нормальные напряжения.

Второй этап исследования заключался в следующем. Поскольку на первом этапе исследования получены лишь разности главных нормальных напряжений  $\sigma_1 - \sigma_2$  и их направления в плоскости модели, то для нахождения каждого из главных напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  в отдельности необходимо провести разделение напряжений. Для этого разработана определенная методика и алгоритм решения поставленной задачи, основанный на использовании метода разности касательных напряжений, который заключается в численном решении дифференциальных уравнений равновесия в прямоугольной системе координат [13].

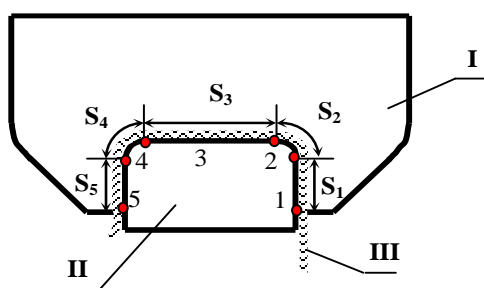


Рис. 4

Для исследования напряженно-деформированного состояния модели транспортирующих ремней необходимо знать распределение напряжений вдоль линии сопряжения ремней (рис. 4 – линия сопряжения ремней агрегата МТА-2Л). Поэтому для удобства обработки результатов эксперимента согласно разработанной методике проведено разделение линии сопряжения ремней на участки: 3 – горизонтальный, 1, 5 – вертикальные и 2, 4 – радиальные. Главные напряжения  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  в какой-либо точке линии сопряжения ремней согласно алгоритму расчета определяли по

номерам полос и параметрам изоклин, определяя значения касательных напряжений  $\tau_{xy}$  по формуле:

$$\tau_{xy} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\alpha. \quad (1)$$

Зная  $\tau_{xy}$  для любого сечения, определены главные напряжения  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  согласно зависимостям:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \tau_{\max}, \\ \sigma_2 &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \tau_{\max}. \end{aligned} \quad (2)$$

Значения нормальных напряжений вдоль линии сопряжения ремней получены при различной толщине слоя и различном внешнем давлении на ремни. На рис. 3-б представлены эпюры распределения напряжений по линии сопряжения транспортирующих ремней с толщиной слоя 1 мм и силе давления 80Н.

Анализируя результаты расчетов, полученные методом фотоупругости, можно заключить, что распределение нормального напряжения по длине вертикального участка при различных условиях нагружения имеет нелинейный характер. Величина нормального напряжения нижней части вертикального участка (0...12 мм) практически не участвует в создании силы зажима. Максимальное нормальное давление со стороны верхнего ремня на нижний по линии их сопряжения на вертикальном участке не превышает 30% величины минимального давления на горизонтальном участке, что позволило сделать заключение о том, что роль вертикального участка в создании общего усилия зажима слоя лубяного материала незначительна. Проводя анализ результатов данного эксперимента, можно заключить, что на горизонтальном участке линии сопряжения ремней нормальное напряжение примерно в 2 раза превышает внешнее давление на верхний ремень. Величина нормального давления на оси симметрии сечения ремней прини-

мает минимальное значение. Отношение нормальных напряжений на двух площадках, принадлежащих горизонтальному участку линии сопряжения ремней, одна из которых находится на оси симметрии, растет с увеличением расстояния между ними, а также с увеличением давления и толщины слоя, зажато между ремнями.

Нормальные напряжения на радиальных участках максимальны и превышают среднее значение нормальных напряжений горизонтального участка в 1,5...2 раза.

Однако следует заметить, что величины нормальных напряжений были получены в сечении ремней только под осью прижимных роликов при различных нагрузках и различной толщине обрабатываемого слоя. Так как при удалении рассматриваемого сечения от оси роликов закон изменения распределенной нагрузки изменяется, особый интерес представляет определение закона распределенной нагрузки, действующей на обрабатываемый слой в любом сечении ремней между двумя роликами. Такая задача решалась с помощью конечно-элементного моделирования модели транспортирующего механизма в программном комплексе ANSYS.

## ВЫВОДЫ

Для исследования НДС модели транспортирующих ремней применен поляризационно-оптический метод, который позволил получить эпюры распределения напряжений по линии сопряжения ремней со слоем льноволокна.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коваленко Н.И. Совершенствование транспортирующего механизма трепальной машины: Дис...канд.техн.наук. – Кострома, 2005.
2. 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.
3. Коваленко Н.И., Разин С.Н. Определение силы зажима пряди произвольной длины в

транспортирующих ремнях трепальной машины // Вестник КГТУ. – Кострома, 2006, №13.

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., 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. Хаимова – Малькова Р.И. Методика исследования напряжений поляризационно-оптическим методом. – М.: Изд-во: Наука, 1970.

Рекомендована кафедрой инженерной графики, теоретической и прикладной механики. Поступила 07.06.13.