

2. Маянский, С.Е. Вероятностная оценка угловой дезориентации стеблей при слоеутонении / С.Е. Маянский, Е.Л. Пашин, А.В. Смирнов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010. – № 5. – С. 32–36.
3. Баринов, А.А. Оптимизация расположения льняного слоя при обработке на мяльно-трепальном агрегате / А.А. Баринов, С.Е. Маянский, Е.Л. Пашин // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009. – № 1. – С. 31–34.
4. Баринов, А.А. Влияние ширины слоя стеблей льна на его оптимальное расположение перед мяльно-трепальным агрегатом / А.А. Баринов, С.Е. Маянский // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010. – № 8. – С. 17–18.
5. Ипаатов, А.М. Влияние дезориентации стеблей и угла перекоса слоя перед мяльной машиной на его пригодность к трепанию / А.М. Ипаатов, В.А. Мараманов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1986. – № 2. – С. 26–29.
6. Испытание лубоволокнистых материалов / В.В. Городов [и др.]. – М.: Легкая индустрия, 1969. – 208 с.
7. Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – С. 71.
8. Треста льняная. Требования при заготовках: СТБ 1194–2007. (Взамен СТБ 1194–94). – Введ. 2007.07.01. – Минск: Госстандарт, 1999. – 14 с.

УДК 677.021

**Е.В. Кислов**

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси  
по механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТУРА СЕЧЕНИЯ МЯЛЬНЫХ ВАЛЬЦОВ**

### **Введение**

При исследовании процессов первичной переработки стеблей лубяных культур, в том числе и процесса мятья, приходится решать задачи, связанные со взаимодействием рабочих органов с обрабатываемым материалом. При этом немаловажное значение имеют форма и размеры рабочих органов, их взаимное расположение по отношению друг к другу и к обрабатываемому материалу (стеблям или другому волокнистому материалу) в тот или иной момент времени. Как правило, эти задачи решались графическим либо графоаналитическим методами, которые позволяли визуально оценить решение задачи, но давали приближенный результат и являлись весьма трудоемкими.

Аналитический метод решения указанных задач является более предпочтительным, а использование современных вычислительных средств позволяет представить решение задачи сразу в графическом виде, приемлемом для визуальной оценки результатов.

## Объект и методы исследований

Объектом исследований являются рабочие органы мьяльной машины для льна – мьяльные вальцы.

В мьяльной машине посредством взаимодействия мьяльных вальцов со стеблями льна происходит разрушение древесины стебля на мелкие части – костру, нарушение связи волокна с кострой и ее частичное удаление. Мьятье стеблей, наряду с трепанием, является основным процессом первичной переработки льна и других лубяных культур.

Принципы рационального построения процесса мьятья сформулированы в [2]. Значительная часть этих принципов базируется на заданном изменении взаимного расположения различных участков поверхности рифлей при вращении вальцов мьяльной пары. Поэтому основными элементами при проектировании мьяльной машины являются профиль вальцов, определяемый профилем рифлей, и геометрические характеристики рифлей. Профиль мьяльных вальцов принято графически изображать сечением мьяльного вальца плоскостью, перпендикулярной его оси. Классификация вальцов по профилю рифлей приведена в [1], согласно которой вальцы подразделяются на три основных типа: круговые, острогранные и радиальные. При ближайшем рассмотрении сечений мьяльных вальцов всех названных типов можно отметить, что линии их контуров представляют собой комбинации сопряженных между собой дуг окружностей и отрезков прямых. В зависимости от профиля вальца размеры и расположение элементов линии контура меняются, в отдельных случаях некоторые из них отсутствуют.

Задачей данной работы являлось моделирование контура сечения отдельного мьяльного вальца и на его основе двух вальцов, представляющих собой мьяльную пару.

Для решения поставленной задачи выведем общее уравнение контура сечения мьяльного вальца.

Рассмотрим радиальный валец, так как его контур представляет собой наиболее общий случай вальцов указанных выше типов. Контур кругового и острогранного вальцов можно рассматривать как частные случаи радиального, так как у кругового вальца в линии контура отсутствуют отрезки прямых, у острогранного – радиусы вершин и впадин зубьев близки к нулю.

Контур сечения рассматриваемого вальца характеризуют следующие основные геометрические параметры (рисунок 45):

- радиус вершин рифлей  $R_6$ ;
- радиус впадин  $R_{6n}$ ;
- радиус кривизны вершин рифлей  $r_6$ ;
- радиус кривизны впадин  $r_{6n}$ ;
- угловой шаг зубьев  $\varphi_l = 2\pi/Z$ , где  $Z$  – число рифлей вальца.

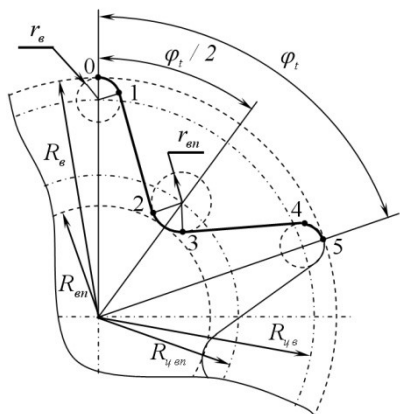


Рисунок 45 – Фрагмент линии контура сечения вальца

Кроме основных геометрических параметров, для характеристики контура сечения вальца используются производные от основных параметры:

- радиус центров кривизны вершин рифлей  $R_{\psi e} = R_e - r_e$ ;
- радиус центров кривизны впадин  $R_{\psi en} = R_{en} - r_{en}$ ;
- угол между радиусами, проходящими через центры кривизны вершины рифли и впадины, который для рифлей симметричного профиля равен  $\varphi_1/2$ .

Рассмотрим фрагмент линии контура, расположенный между двумя радиусами, проходящими через вершины двух смежных рифлей.

Уравнение этого фрагмента линии выразим в полярных координатах, то есть в виде  $\rho = \rho(\varphi)$  [3, с. 196]. Угол  $\varphi$  будем отсчитывать от радиуса, проходящего через вершину рифли (точку 0).

Из рисунка 45 видно, что на рассматриваемом фрагменте линии можно выделить пять участков, представляющих собой три дуги окружностей, ограниченных точками 0–1, 2–3, 4–5, сопряженных между собой двумя отрезками прямых 1–2 и 3–4. Очевидно, что уравнение всей линии будет складываться из периодически повторяющихся уравнений всех ее участков с периодом  $2\pi/Z$ .

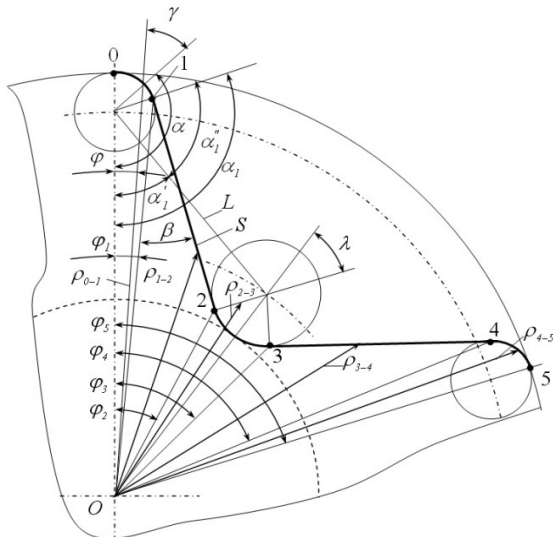


Рисунок 46 – Расчетная схема

На рисунке 46 показана расчетная схема с необходимыми для вывода уравнения величинами и построениями.

Рассмотрим участок исследуемой линии, ограниченный точками 0–1. Полярный радиус определим из теоремы косинусов:

$$\rho_{0-1} = \sqrt{r_e^2 + R_{ye}^2 - 2r_e R_{ye} \cos \alpha}. \quad (1)$$

Входящий в эту формулу  $\cos \alpha$  выразим через угол  $\varphi$  следующим образом. Из рисунка 46

$$\alpha = \pi - (\varphi + \gamma) \Rightarrow \cos \alpha = -\cos(\varphi + \gamma). \quad (2)$$

Угол  $\gamma$  найдем, применяя теорему синусов:

$$\frac{r_e}{\sin \varphi} = \frac{R_e - r_e}{\sin \gamma} \Rightarrow \gamma = \arcsin \frac{R_{ye} \sin \varphi}{r_e}. \quad (3)$$

Подставляя (2) с учетом (3) в (1), получим:

$$\rho_{0-1} = \sqrt{r_e^2 + R_{ye}^2 + 2r_e R_{ye} \cos \left( \varphi + \arcsin \frac{R_{ye} \sin \varphi}{r_e} \right)}. \quad (4)$$

Следует отметить, что для программного решения задачи упрощение полученного и последующих выражений не принципиально, поэтому оставляем его в полученном виде.

Граничными для первого участка линии будут начальный угол  $\varphi_0 = 0$  (по построению) и соответствующий ему полярный радиус  $\rho_0 = R_e$  (точка 0); конечные угол  $\varphi_1$  и полярный радиус  $\rho_1$ . Угол  $\varphi_1$  найдем следующим образом. Вначале рассчитываем угол  $\alpha_1$ . Из рисунка 46

$$\alpha_1 = \alpha'_1 + \alpha''_1, \quad (5)$$

где 
$$\alpha'_1 = \arcsin \frac{R_{ye} \sin \frac{\varphi_1}{2}}{L}; \quad (6)$$

$$\alpha''_1 = \arccos \frac{r_e + r_{an}}{L}. \quad (7)$$

Выражение для  $L$  в (6) и (7) найдем по теореме косинусов:

$$L = \sqrt{R_{ye}^2 + R_{ye}^2 - 2R_{ye} R_{ye} \cos \frac{\varphi_1}{2}}. \quad (8)$$

Затем, используя теорему синусов, получим:

$$\frac{R_{ye}}{\sin(\pi - (\alpha_1 + \varphi_1))} = \frac{r}{\sin \varphi_1},$$

откуда после преобразований найдем

$$\varphi_1 = \arctg \frac{r_e \sin \alpha_1}{R_{ye} - r_e \cos \alpha_1}. \quad (9)$$

Соответствующий этому углу полярный радиус  $\rho_1$  будет равен:

$$\rho_1 = \sqrt{r_e^2 + R_{ye}^2 - 2r_e R_{ye} \cos \alpha_1}. \quad (10)$$

Угол  $\alpha_1$  в (9) и (10) рассчитывается по (5) с учетом (6), (7) и (8).

Второй участок исследуемой линии, ограниченный точками 1 и 2 (рисунки 45, 46), как отмечалось ранее, представляет собой отрезок прямой. Используя для этого участка теорему синусов и свойства внутренних углов треугольника, получим:

$$\rho_{1-2} = \frac{\rho_1 \sin \beta}{\sin(\pi - (\beta + (\varphi - \varphi_1)))}, \quad (11)$$

где

$$\beta = \frac{\pi}{2} - (\pi - (\alpha_1 + \varphi_1)). \quad (12)$$

С учетом (12) выражение (11) примет вид

$$\rho_{1-2} = \frac{\rho_1 \cos(\alpha_1 + \varphi_1)}{\cos(\alpha_1 + \varphi)}. \quad (13)$$

Граничными для второго участка линии будут начальный угол  $\varphi_1$  и соответствующий ему полярный радиус  $\rho_1$ , рассчитываемые по (9) и (10); конечные угол  $\varphi_2$  и полярный радиус  $\rho_2$ , которые найдем следующим образом.

По теореме синусов

$$\frac{S}{\sin(\varphi_2 - \varphi_1)} = \frac{\rho_1}{\sin(\pi - (\beta + (\varphi_2 - \varphi_1)))}, \quad (14)$$

где

$$S = L \sin \alpha_1''; \quad (15)$$

$$\sin(\pi - (\beta + (\varphi_2 - \varphi_1))) = -\cos(\alpha_1 + \varphi_2). \quad (16)$$

Выражая из (14)  $\varphi_2$  после подстановки  $S$  из (15), синуса угла из (16) и преобразований, получим:

$$\varphi_2 = \arctg \frac{L \sin \alpha_1'' \cos \alpha_1 - \rho_1 \sin \varphi_1}{L \sin \alpha_1'' \sin \alpha_1 - \rho_1 \cos \varphi_1},$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_1''$  рассчитываются по (5) и (7).

Заменяя в (13)  $\varphi$  на  $\varphi_2$ , получим выражение для граничного значения:

$$\rho_2 = \frac{\rho_1 \cos(\alpha_1 + \varphi_1)}{\cos(\alpha_1 + \varphi_2)}.$$

Третий участок, ограниченный точками 2 и 3, представляет собой дугу окружности. Теорема косинусов для этого участка запишется следующим образом:

$$r_{en}^2 = \rho_{2-3}^2 + R_{y\ en}^2 - 2\rho_{2-3} R_{y\ en} \cos \lambda, \quad (17)$$

где  $\lambda = \frac{\varphi_t}{2} - \varphi$ .

Решая уравнение (17) относительно  $\rho_{2-3}$  с учетом того, что при  $\rho_{2-3} > R_{y\ en}$  (знак "+" перед корнем) уравнение описывает дугу, противоположную интересующей нас, получим:

$$\rho_{2-3} = R_{уен} \cos\left(\frac{\varphi_t}{2} - \varphi\right) - \sqrt{r_e^2 - R_{уен}^2 \sin^2\left(\frac{\varphi_t}{2} - \varphi\right)}. \quad (18)$$

Конечный угол  $\varphi_3$  для третьего участка линии будет

$$\varphi_3 = \frac{\varphi_t}{2} + \left(\frac{\varphi_t}{2} - \varphi_2\right) = \varphi_t - \varphi_2,$$

а полярный радиус

$$\rho_3 = R_{уен} \cos\varphi_2 - \sqrt{r_e^2 - R_{уен}^2 \sin^2 \varphi_3}.$$

Аналогично второму для четвертого участка (точки 3–4) искомые параметры

$$\rho_{3-4} = \frac{\rho_3 \cos(\alpha_1 + \varphi_2)}{\cos(\varphi - (\alpha_1 + \varphi_2 + \varphi_3))} \quad (19)$$

и конечные значения

$$\begin{aligned} \varphi_4 &= \varphi_t - \varphi_1; \\ \rho_4 &= \frac{\rho_3 \cos(\alpha_1 + \varphi_2)}{\cos(\alpha_1 + \varphi_1)}. \end{aligned}$$

Для пятого участка (точки 4–5) аналогично

$$\rho_{4-5} = R_{уе} \cos(\varphi - \varphi_4) + \sqrt{r_e^2 - R_{уе}^2 \sin^2(\varphi - \varphi_4)} \quad (20)$$

и конечные значения:  $\varphi_5 = \varphi_t$  и  $\rho_5 = R_e$ .

Таким образом, общее уравнение контура сечения вальца с учетом (4), (11), (18)–(20) будет иметь вид:

$$\rho(\varphi) = \begin{cases} \sqrt{r_e^2 + R_{уе}^2 + 2r_e R_{уе} \cos\left(\varphi + \arcsin \frac{R_{уе} \sin \varphi}{r_e}\right)}, & \text{при } k \leq \varphi \leq \varphi_1 + k; \\ \frac{\rho_1 \cos(\alpha_1 + \varphi_1)}{\cos(\alpha_1 + \varphi)}, & \text{при } \varphi_1 + k < \varphi \leq \varphi_2 + k; \\ R_{уен} \cos\left(\frac{\varphi_t}{2} - \varphi\right) - \sqrt{r_e^2 - R_{уен}^2 \sin^2\left(\frac{\varphi_t}{2} - \varphi\right)}, & \text{при } \varphi_2 + k < \varphi \leq \varphi_3 + k; \\ \frac{\rho_3 \cos(\alpha_1 + \varphi_2)}{\cos(\varphi - (\alpha_1 + \varphi_2 + \varphi_3))}, & \text{при } \varphi_3 + k < \varphi \leq \varphi_4 + k; \\ R_{уе} \cos(\varphi - \varphi_4) + \sqrt{r_e^2 - R_{уе}^2 \sin^2(\varphi - \varphi_4)}, & \text{при } \varphi_4 + k < \varphi < \varphi_5 + k. \end{cases} \quad (21)$$

В этом уравнении  $k = i\varphi_t$ , где  $i = 0, 1, 2, \dots, (Z - 1)$ .

### Результаты исследований

Полученное общее уравнение (21) было положено в основу алгоритма для компьютерного моделирования контура сечения мяльного

вальца. Моделирование по разработанной для этого программе на языке VBA заключается в последовательном вычислении при заданных постоянных значениях параметров вальца и его рифлей переменных значений полярного радиуса  $\rho$  при возрастающем с определенным шагом значении угла  $\varphi$ . Для графической интерпретации результатов расчетов в программе строятся точки, соответствующие концу вычисленного значения полярного радиуса в масштабе. С этой целью значения полярного радиуса приводятся к параметрическому виду по известным формулам [3, с. 200]. Учитывая, что в мяльной паре взаимодействуют вальцы с одинаковым контуром, моделирование мяльной пары в программе производится путем расчета значений полярного радиуса  $\rho$  по уравнению (21), дополнительно повернутого на угол, равный половине углового шага рифлей, относительно полярной оси, смещенной по вертикали на расстояние  $S_6$ , равное межосевому расстоянию вальцов.

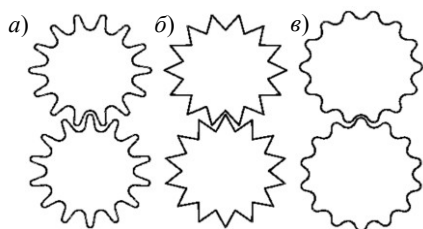


Рисунок 47 – Результаты компьютерного построения пар мяльных вальцов

На рисунке 47 в качестве примера показаны построенные по разработанному алгоритму модели мяльных пар для контуров сечений вальцов основных типов: радиального (а), острогранного (б) и кругового (в). Значения параметров вальцов приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Параметры мяльных вальцов

Параметр	Значение параметра для вальцов		
	радиального (а)	острогранного (б)	кругового (в)
$Z$	14		
$R_6, \text{мм}$	59		
$S_6, \text{мм}$	105	105	111
$R_{6н}, \text{мм}$	42	42	50
$r_6, \text{мм}$	2	0,01	7
$r_{6н}, \text{мм}$	8	0,01	8

Сравнение графического изображения моделей различных контуров сечений мяльных вальцов, построенных в программе по разработанному алгоритму, показывает, что оно хорошо согласуется с результатами, полученными при решении задачи графическим методом [4, 5].

### Выводы

1. Получено уравнение контура сечения мяльного вальца в зависимости от его технологических параметров, оказывающих основное влияние на процесс мятья стеблей льнотресты, – количества рифлей, размеров вальца, профиля и размеров его рифлей.

2. На основании полученного уравнения разработан алгоритм моделирования мяльной пары вальцов различного контура, применяемого в существующих мяльных машинах.

3. Полученный алгоритм целесообразно использовать при проектировании мяльных вальцов и для дальнейшего моделирования взаимодействия мяльных вальцов со слоем обрабатываемого материала в их взаимном движении.

29.06.12

### Литература

1. Смирнов, Б.И. Классификация мяльных пар / Б.И. Смирнов // Изв. вузов. Технология текстил. промышленности. – 1971. – № 3. – С. 39–42.
2. Дьячков, В.А. Теоретические основы технологии производства лубяных волокон / В.А. Дьячков. – Кострома: Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2009. – С. 107–108.
3. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – 13-е изд., исправленное. – М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 544 с.
4. Смирнов, Б.И. Проектирование профилей мяльных валков (первая часть) / Б.И. Смирнов // Изв. вузов. Технология текстил. пром-ти. – 1980. – № 5. – С. 18–21.
5. Смирнов, Б.И. Проектирование профилей мяльных валков (вторая часть) / Б.И. Смирнов // Изв. вузов. Технология текстил. пром-ти. – 1981. – № 1. – С. 19–21.

УДК 631.352

**М.Н. Трибуналов**

*(УО «БГАТУ», г. Минск, Республика Беларусь)*

**М.М. Гарост**

*(УО «БНТУ», г. Минск, Республика Беларусь)*

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ  
ОЦЕНКА  
ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ТЕХНОЛОГИЙ  
УБОРКИ ЛЬНА**

### Введение

К основным эксплуатационным параметрам сельскохозяйственных уборочных агрегатов относят скорость и ширину захвата, определяющие производительность агрегата, себестоимость уборочных работ, расход топлива и т.д. Задачу выбора оптимальных параметров чаще всего рассматривают в рамках однокритериальной оптимизации – по минимуму приведенных затрат. В условиях дефицита ресурсов в каждом конкретном случае могут ставиться и другие цели (снижение энергозатрат, капитальных и материальных вложений и т.д.).

Нередко показатель оптимизации нельзя определить однозначно, поэтому применяют методы многокритериальной оптимизации, например метод с использованием функции желательности, в котором частный параметр оптимизации преобразуется в показатель желательности путем