

УДК 677.051.151.25

## **КРИТЕРИИ ВЫБОРА ГЛУБИНЫ ЗАХОЖДЕНИЯ РИФЛЕЙ ДЛЯ МЯЛЬНОЙ МАШИНЫ М-100Л**

**Л.В. МОЧАЛОВ, В.Г. ДРОЗДОВ, Е.С. ХОМЯКОВ.  
(Костромской государственный технологический университет)**

В статье рассмотрено решение оптимизационной задачи, при помощи которой удалось оптимизировать умин и прочность. Произведен выбор глубины захождения рифлей на мяльной машине М-100Л.

Льноволокно это уникальный материал, который используется в различных промышленных отраслях: самолетостроении, оборонной, космической, фармацевтической, текстильной. По сегодняшний день в России из года в год разрабатываются целевые программы по развитию льняного комплекса. За рубежом странами ЕС, США, Канады проводятся закрытые программы по льну. «В США лен запрещен к экспорту, а Китай не только сам производит 1 млн. тонн, но и закупает по всему миру столько, сколько может». Во Франции лен начал конкурировать с виноградом [1].

Льноволокно получают на льнозаводах путем переработки тресты. На сегодняшний день востребовано не только длинное волокно, но и короткое, а также однотипное.

Для получения более качественного продукта необходимо оптимизировать процессы производства, одним из которых является процесс мятья.

Для оптимизации процесса мятья необходимо в первую очередь проверить влияние регулируемых параметров мяльной машины, изменение которых приводит к изменению выходных параметров процесса мятья [2].

Входные структурные параметры процесса мятья являются выходными параметрами процесса формирования слоя в слоеформирующих машинах. Параметры обрабатываемого материала, которые влияют на процесс мятья, являются возмущающими.

В. А. Дьячков отмечал, что «выходные параметры являются критерием качества процесса мятья. Эти параметры зависят от входных и свидетельствуют об адекватности выбора значений регулируемых параметров свойствам обрабатываемого материала» [2].

К регулируемым параметрам относятся:

- глубина захождения рифлей,
- деформация пружин механизма нагружения верхнего вальца,
- набор мяльных пар,
- линейная скорость перемещения слоя,
- количество мяльных пар.

С технологической точки зрения автоматическое регулирование глубины захождения рифлей в мяльных парах является необходимым.

К входным параметрам относятся:

- пропускная способность мяльной машины,
- параметры стеблей,
- параметры стеблевого слоя.

К выходным параметрам относятся:

- умин,
- изменение прочности.

Наиболее отработанными является контроль параметров слоя (влажность, отделяемость, прочность тресты).

Для изучения процесса мятья были построены модели [3], которые позволят оценить выходные параметры.

Целью работы является выбор параметров технологического процесса мятья, оптимизирующих умин и прочность. В связи с этим была решена двухкритериальная оптимизация процесса мятья [4]. Рассмотрим ее решение: при отделяемости 4,4 ед. и 12 даН математическая модель рассматриваемой задачи будет иметь вид, представляющий собой две линейные функции [3]:

$$Y = 30,62 - 0,99w + 0,99i \rightarrow \max \quad (1)$$

$$\Delta P = 2,16 - 0,14w + 0,20i \rightarrow \min \quad (2)$$

при ограничениях:  $\begin{cases} 2 \leq i \leq 10 \\ 12 \leq w \leq 19 \end{cases}$

где:

$w$  – влажность льнотресты, %

$i$  – глубина захождения рифлей, мм

$Y$  – умин (%),

$\Delta P$  – изменение прочности (даН)

Решим полученную двухкритериальную задачу [5], для этого построим область допустимых решений (рис. 1):

$$\bar{n}_y = (-0,99; 0,99), \bar{n}_{\Delta P} = (-0,14; 0,20)$$

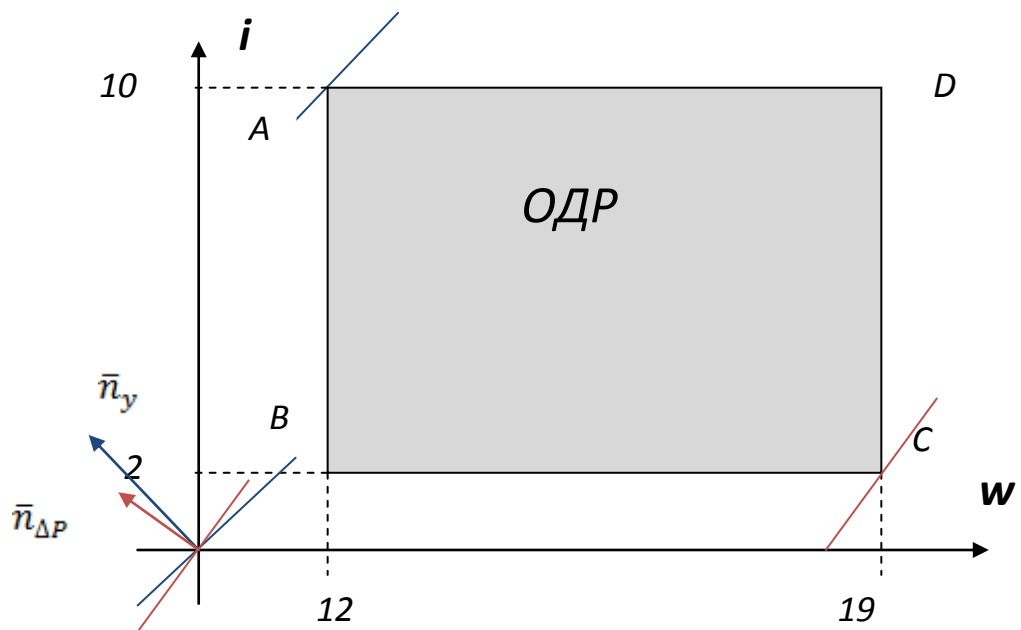


Рис. 1. Область допустимых решений (ОДР)

Найдем образы вершин ОДР:

$$Y(A) = Y(12; 10) = 28,64 \quad \Delta P(A) = \Pi(12; 10) = 2,48$$

$$Y(B) = Y(12; 2) = 20,72 \quad \Delta P(B) = \Pi(12; 2) = 0,88$$

$$Y(C) = Y(19; 2) = 13,79 \quad \Delta P(C) = \Pi(19; 2) = 0$$

$$Y(D) = Y(19; 10) = 21,71 \quad \Delta P(D) = \Pi(19; 10) = 1,5$$

Нижеприведенные значения получены путем подстановки в модели 1,2 максимальных и минимальных значений влажности и глубины захождения рифлей. В результате чего были получены координаты точки  $A', B', C', D'$ .

Образ ОДР имеет вершины:

$$A'(28,64; 2,48), B'(20,72; 0,88), C'(13,79; 0), D'(21,71; 1,5)$$

Образ ОДР – это пространство всех допустимых решений.

Найдем координаты точки утопии:

$$Y(A) = Y(12; 10) = 28,64, \quad \Delta P(C) = \Pi(19; 2) = 0.$$

Точка утопии – точка, в которой исследуемые функции (умин и прочность) достигают своих максимальных значений.

Построим: образ ОДР, точку утопии  $M(28,64; 0)$ , границу Парето –  $C'B'A'$  (рис. 2)

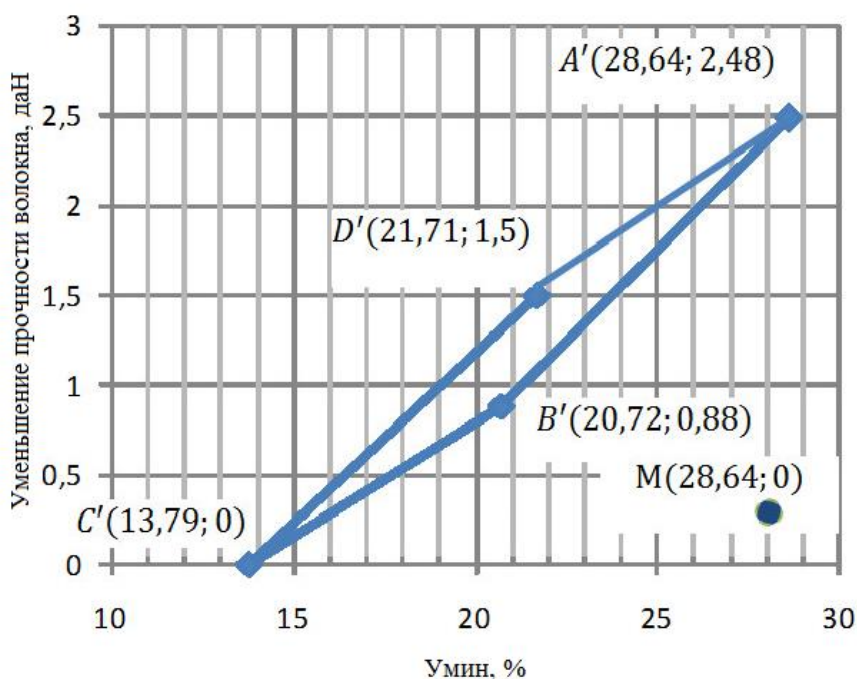


Рис . 2. Образ ОДР

Найдем идеальную точку  $K(Y; \Pi)$  – точку на границе Парето, ближайшую к точке утопии. Опустим перпендикуляр из т.  $M$  на  $B'A'$ .

Длина перпендикуляра:

$$|MK| = \sqrt{(Y - 28,64)^2 + (\Delta P - 0)^2}$$

Уравнение прямой  $B'A'$ :

$$\frac{Y - Y_{A'}}{Y_{B'} - Y_{A'}} = \frac{\Delta P - \Delta P_{A'}}{\Delta P_{B'} - \Delta P_{A'}}$$

$$\frac{Y - 28,64}{20,72 - 28,64} = \frac{\Delta P - 2,48}{0,88 - 2,48}$$

$$\frac{Y - 28,64}{-7,92} = \frac{\Delta P - 2,48}{-1,6}$$

$$(Y - 28,64) \cdot (-1,6) = (\Delta P - 2,48) \cdot (-7,92)$$

$$-1,6Y + 45,824 = -7,92\Delta P + 19,6416$$

$$7,92\Delta P = 1,6Y - 26,1824$$

$$\text{уравнение прямой } B'A': \quad \Delta P = 0,202Y - 3,3059$$

$$\text{Длина перпендикуляра: } |MK| = \sqrt{(Y - 28,64)^2 + (0,202Y - 3,3059)^2}.$$

Подкоренное выражение

$$|MK|^2 = 1,040804Y^2 - 58,6155836Y + 831,1785748 \rightarrow \min \text{ квадратный}$$

трехчлен, графиком которого является парабола.

Ветви параболы направлены вверх, значит, выражение имеет глобальный минимум в абсциссе вершины этой параболы.

$$\text{Точка минимума: } Y = \frac{58,6155836}{2 \cdot 1,040804} = 28,159, \quad \text{значит}$$

$$\Delta P = 0,202 \cdot 28,159 - 3,3059 = 2,382, \text{ оптимальная точка } K(28,159; 2,382).$$

Значит глубина захождения и влажность:

$$\begin{cases} 28,159 = 30,62 - 0,99w + 0,99i \\ 2,382 = 2,16 - 0,14w + 0,20i \end{cases}$$

$$\begin{cases} -0,99w + 0,99i = -2,461 \\ -0,14w + 0,20i = 0,222 \end{cases}$$

$$\begin{cases} w = 11,99 \\ i = 9,50 \end{cases}$$

Подставим найденные оптимальные значения в линейные функции (1) и (2), получим: оптимальный умин:  $Y = 28,16 \%$ , оптимальное изменение прочности:  $\Delta P = 2,38$  даН.

при влажности  $w = 11,99 \%$ , глубине захождения  $i = 9,50$  мм.

Полученные результаты при решении данной задачи хорошо согласуются со справочными данными при выборе глубины захождения рифлей и рекомендаций других специалистов для недолежалой тресты [6].

Рассмотрим вариант решения данной задачи для отделяемости 6,7 ед. при исходной прочности 12,0 даН.

При отделяемости 6,7 ед. и прочности 12,0 даН математическая модель рассматриваемой задачи будет иметь вид, представляющий собой две линейные функции [3]:

$$Y = 35,28 - 0,99w + 0,99i \rightarrow \max \quad (3)$$

$$\Delta P = 1,97 - 0,14w + 0,20i \rightarrow \min \quad (4)$$

при ограничениях:  $\begin{cases} 2 \leq i \leq 10 \\ 12 \leq w \leq 19 \end{cases}$

Проведя аналогичные вычисления, получим:

оптимальная точка  $K(32,856; 2,200)$

Значит глубина захождения и влажность:

$$\begin{cases} 32,856 = 35,28 - 0,99w + 0,99i \\ 2,200 = 1,97 - 0,14w + 0,20i \end{cases}$$

$$\begin{cases} -0,99w + 0,99i = -2,424 \\ -0,14w + 0,20i = 0,230 \end{cases}$$

-0,99	0,99	-2,424
-0,14	0,2	0,23
w=	11,99495	
i=	9,546465	

$$\begin{cases} w = 11,99 \\ i = 9,55 \end{cases}$$

Оптимальный умин:  $Y = 32,86 \%$ ,

Оптимальное изменение прочности:  $\Delta P = 2,30$  даН

при влажности  $w = 11,99$  %, глубине захождения  $i = 9,55$  мм.

Из данного решения следует, что оптимальная обработка льнотресты произойдёт с точки зрения задачи при таких параметрах как:  $i = 9,55$  мм,  $w = 11,99$  %,  $U = 32,86$  %.

В таких случаях, когда исследуемые функции конфликтуют (умин и прочность), а именно умин стремится к максимуму, при этом прочность к минимуму, то исследователь вправе выбрать порядок приоритета и величину уступки. В данном случае изменение прочности. Величина уступки выбирается исходя из технологии производства получения длинного волокна.

С точки зрения технологии производства длинного волокна, при средней степени вылежки не рекомендуется выбирать максимальную глубину захождения рифлей.

В этой связи рекомендуется выбрать более щадящий режим обработки для тресты со средней степенью вылежки и высокой прочностью. Как известно, из следующих источников, хорошо промятая треста находится в пределах умина 20-30% [7,8]. В этой связи предлагается поддерживать умин в пределах 30% при изменении прочности не более 2,48 даН (для тресты с высокой прочностью и низкой отделяемостью). Таким образом, можно предложить следующие критерии выбора глубины захождения рифлей:

$$U \rightarrow [30 \text{ \%}]$$

$$\Delta P \rightarrow [0, \text{даН}]$$

Для отделяемости 6,7 ед. принимаем глубину захождения рифлей с учетом величины уступки  $i = 7$  мм, при влажности  $w = 11,98$  %.

Прогнозирование умина производилось по модели (3).

При таком выборе глубины захождения рифлей выходные параметры будут следующие  $U = 30\%$  ;  $\Delta P = 1,69$  даН.

Рассмотрим вариант решения данной задачи для отделяемости 9,0 ед. и прочности 2,17 даН.

При отделяемости 9,0 ед. и прочности 2,17 даН. математическая модель рассматриваемой задачи будет иметь вид, представляющий собой две линейные функции [2]:

$$Y = 39,94 - 0,99w + 0,99i \rightarrow \max \quad (5)$$

$$\Delta P = 1,77 - 0,14w + 0,20i \rightarrow \min \quad (6)$$

при ограничениях:  $\begin{cases} 2 \leq i \leq 10 \\ 12 \leq w \leq 19 \end{cases}$

Проведя аналогичные вычисления, получим:

оптимальная точка  $K(37,555; 2,007)$

Значит глубина захождения и влажность:

$$\begin{cases} 37,555 = 39,94 - 0,99w + 0,99i \\ 2,007 = 1,77 - 0,14w + 0,20i \end{cases}$$

$$\begin{cases} -0,99w + 0,99i = -2,385 \\ -0,14w + 0,20i = 0,237 \end{cases}$$

-0,99	0,99	-2,385
-0,14	0,2	0,237
w=	11,9803	
i=	9,571212	

$$\begin{cases} w = 11,98 \\ i = 9,57 \end{cases}$$

Оптимальный умин:  $Y = 37,56 \%$ ,

Оптимальное изменение прочности:  $\Delta P = 2,01$  даН

при влажности  $w = 11,98 \%$ , глубине захождения  $i = 9,57$  мм.

При таких параметрах настройки мяльной машины произойдет разрушение волокна, по этой причине рекомендуется для группы с низкой прочностью (6 даН и ниже) и группы высокой отделяемостью (8 ед.) рекомендовать для максимального сохранения прочности глубину захождения рифлей стоит выбирать минимальной. По этой причине величину уступки для прочности выбираем максимальной.

При таком выборе глубины захождения рифлей выходные параметры будут следующие  $Y = 30\%$  ;  $\Delta P = 0,49$  даН.



В этой связи рекомендуется выбрать минимальное значение глубины захождения рифлей с учетом величины уступки  $i = 2 \text{ мм}$ , при влажности  $w = 11,98 \%$ .

При таком выборе глубины захождения рифлей выходные параметры будут следующие  $Y = 30\%$  ;  $\Delta P = 1,69 \text{ даН}$ .

Данные модели были построены для первой пары вальцов, остальные можно рассчитать из формулы равенства периметрических скоростей.

Сводная таблица выбора глубины захождения рифлей с учетом оптимизации по умину и прочности.

Глубина захождения рифлей, мм	$i$	10,0	7,0	2,0
Исходная прочность, даН	П	12	12	2,17
Изменение прочности, даН	$\Delta P$	2,48	1,69	0,49
Влажность льнотресты, %	$w$	12	12	12
Отделяемость, ед.	От	4,4	6,7	9,0
Умин, %	$Y$	28,16	30,0	30,0

Выводы:

1. Оптимизированы выходные показатели процесса мятья умин и прочность. С учетом этого произведен выбор регулируемого параметра глубины захождения рифлей под конкретное сырье для мяльной машины М-100-Л. Критерием выбора величины глубины захождения послужило решение оптимизационной задачи (с учетом величины уступки) на основе ранее полученных моделей.
2. Полученные данные могут использоваться для построения или проверки автоматического регулятора и системы управления МТА.

## Список литературы

1. Официальная интернет-страница [krupnov.livejournal.com](http://krupnov.livejournal.com) [Электронный ресурс] / Электрон, дан. 24.10.2014 – Режим доступа [krupnov.livejournal.com](http://krupnov.livejournal.com)
2. Дьячков, В.А. Теоретические основы технологии производства лубяных волокон [Текст] : монография / В.А. Дьячков – Кострома: Изд-во Костром. гос. технол. университета, 2009. – 271 с.
3. Мочалов Л.В., Дроздов В.Г., Енин М.С. Многофакторные исследования процесса промина льняной тресты [Текст] / Л.В. Мочалов, В.Г. Дроздов, М.С. Енин // Электронный журнал КГТУ. «Научный вестник» 2015, №1 – Кострома.
4. Мочалов Л.В., Хомяков Е.С., Дроздов В.Г. Двухкритериальная оптимизация процесса мятя [Текст] / Л.В. Мочалов, Е.С. Хомяков, В.Г. Дроздов // Изв. Вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015. № 2(356) С. 23...25.
5. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач [Текст] / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин.–М: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 256
6. Справочник по заводской первичной обработке льна [Текст] : справочник / Под общ. ред. В.Н. Храмцова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 512 с.
7. Левитский И.Н. Новое в обескостривании лубоволокнистых материалов [Текст] : в 1 т. / И.Н. Левитский. – Кострома : Управление по делам печати и массовой информации Администрации Костромской области, 1994.
8. Сорокин Н.К., Харитонов А.А., Полторацких А.Н. О степени влияния некоторых факторов мятя и трепания на результаты механической обработки льняной стланцевой льнотресты [Текст] / Н.К. Сорокин, А.А. Харитонов, А.Н. Полторацких // Изв. вузов. Технология текстил. промышленности. – 1977, № 1. С. 29...32.