

2. Растянутасть стеблей в ленте льна после прохода обрачивателя составила 1,2, что позволяет уже с момента уборки льна не допускать ее увеличения.

Литература

1. Ипатов, А.М. Теоретические основы механической обработки стеблей лубяных культур: учеб. пособие для вузов / А.М. Ипатов. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – С. 46-47.
2. Первичная обработка лубяных волокон: учеб. для студентов вузов текстильной промышленности / В.В. Марков [и др.]. – М.: Легкая индустрия, 1974. – С. 228-229.

УДК 677.1.021

**И.Е. Бобровская, Е.В. Кислов,
Н.Г. Винченюк**

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЯ ЛЬНОТРЕСТЫ КАК ОБЪЕКТА ДЛЯ УТОНЕНИЯ В СЛОЕФОРМИРУЮЩЕЙ МАШИНЕ НА ОСНОВЕ ФОРМЫ СТЕБЛЯ

Введение

Известно [1], что стебель представляет собой сильно вытянутый конус, и поэтому принято считать его форму цилиндрической [2]. Такое допущение вполне оправдано при рассмотрении отдельного стебля. Однако, если рассматривать слой льнотресты, представляющий собой массив стеблей, как объект для утонения в слоеформирующей машине, где важное значение имеет толщина слоя, то форма стебля начинает оказывать заметное влияние на протекание процесса, и пренебрежение ею может отрицательно отразиться на равномерности толщины получаемого слоя, а следовательно на результатах работы всей технологической линии – на выходе длинного волокна.

Одним из принципов утонения слоя стеблей льна в слоеформирующей машине является то, что порции стеблей, располагающиеся во впадине подающего диска, должны переходить во впадины последующих дисков дробными равными частями (делиться на равные части) [3]. Исходя из этого заполнение стеблями соответствующих впадин дисков по линиям утонения должно осуществляться с одинаковой плотностью по площади впадины. Поскольку зубчатые диски разных линий утонения в разных конструкциях машин отстоят друг от друга на различном расстоянии (в зависимости от количества линий утонения), то и их взаимодействие осуществляется с разными участками слоя льнотресты. Поэтому исследование толщины слоя по его поперечному сечению имеет большое значение.

Целью данной работы являлось построение математических моделей формы стебля льна и на ее основе поперечного сечения слоя льнотресты, поступающего в слоеформирующую машину.

Объекты и методы исследований

Объектом исследований являлся слой льнотресты как массив стеблей с учетом их различной длины, растянутости и диаметра. Методами исследований являлись регрессионный анализ, имитационное моделирование и вычислительный эксперимент. Исходные данные получали путем экспериментальных исследований.

Учитывая, что слой состоит из отдельных стеблей, геометрическая форма стебля имеет немаловажное значение для слоя в целом. Поэтому первоначально нами была смоделирована форма отдельного стебля льна.

Модель отдельного стебля, на наш взгляд, должна представлять зависимость диаметра d в различных сечениях стебля от расстояния l этого сечения от конца стебля со стороны комля, то есть $d = f(l)$. Учитывая, что стебли льна очень сильно различаются как по длине (от 0,4 до 1,4 м) [4], так и по диаметру (от 0,8 до 2,1 мм и более) [2], однозначно описать уравнением этого вида всю гамму стеблей не представляется возможным. Поэтому мы использовали относительные размеры стебля. То есть $a = l/L$ – относительное (к длине стебля L) расстояние от комля до сечения, в котором определяется относительный диаметр $b = d/D$, где d – диаметр стебля на расстоянии l от комля; D – диаметр стебля в определенном его сечении. Таким образом, стебель произвольной длины и диаметра можно описать уравнением вида $b = f(a)$.

Для экспериментальных исследований формы стебля льна из льнотресты различных номеров и мест произрастания использовались пробы стеблей различной длины (от 0,63 до 1,07 м) и диаметра (от 0,8 до 2,2 мм), общее количество проб равнялось 100. Каждая проба подбиралась из десяти стеблей приблизительно одинаковой длины и диаметра. Длина каждой пробы замерялась, а затем разбивалась на 10 участков, в результате чего шаг изменения относительного расстояния от комля до замеряемых сечений составлял $0,1L$. Замеры диаметра стеблей производились стеблемером модели С2 по известной методике [5]: D – на расстоянии $1/3$ от комля и d_i – на границах участков. Полученные данные пересчитывали в относительные величины и усредняли относительные значения диаметра по участкам.

По полученным данным с помощью пакета прикладных программ Statistica определяли аналитическую зависимость вида $b = f(a)$, аппроксимирующую экспериментальные данные. Расчеты показали, что наилучшим образом форма стебля льна аппроксимируется полиномом шестой степени, коэффициент детерминации в этом случае составляет $R^2 = 0,997$. Многочлен после исключения членов с незначимыми коэффициентами имеет вид:

$$b = 18,3a - 117,6a^2 + 365,6a^3 - 597,3a^4 + 487,4a^5 - 156,4a^6. \quad (1)$$

Уравнение (1) есть статистическое уравнение стебля льна, позволяющее по его длине и по одному значению его диаметра найти значение диаметра в любом его поперечном сечении. В качестве длины стебля для упрощения и

унификации измерений целесообразно принимать среднегорстевую длину стеблей, определяемую по [6], и диаметр стебля на расстоянии 1/3 от комля.

Усредненные значения опытных данных и результаты расчетов по (1) приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Усредненные значения опытных данных и результаты расчетов

	Относительный диаметр b стебля на относительном расстоянии a от комля										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Опыт	0,00	0,99	1,03	1,02	0,98	0,89	0,77	0,72	0,62	0,52	0,00
Расчет	0,00	0,96	1,07	1,01	0,96	0,91	0,81	0,69	0,62	0,54	0,00

Если учесть, что стебель в поперечном сечении представляет собой круг, то для наглядного представления формы любого стебля его уравнение удобнее представить в цилиндрической системе координат, возвратившись к абсолютным значениям его длины и диаметра, то есть $P = f(\varphi, \rho, z)$ [7],

$$\text{где } \varphi = \varphi (\varphi < 2\pi);$$

$$z = l (0 \leq l \leq L);$$

$$\rho = \frac{D}{2} \left(\frac{18,3l}{L} - \frac{117,6l^2}{L^2} + \frac{365,6l^3}{L^3} - \frac{579,3l^4}{L^4} + \frac{487,4l^5}{L^5} - \frac{156,4l^6}{L^6} \right).$$

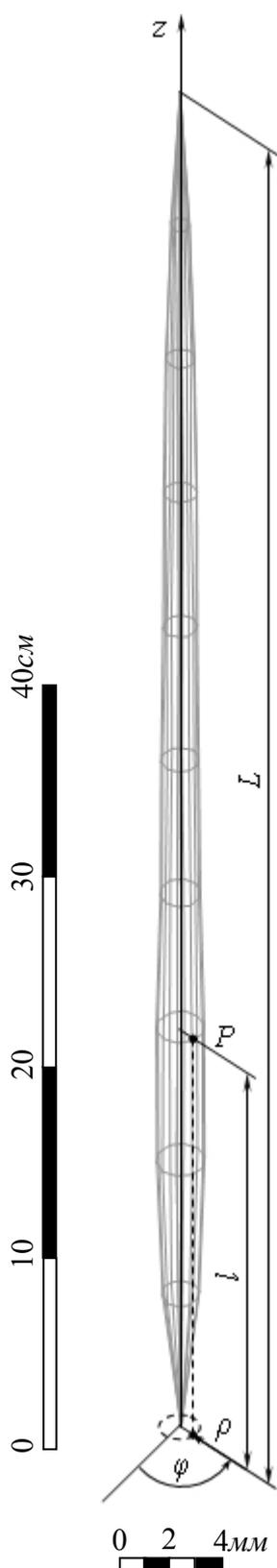
Построенная с использованием программы Calc 3D Pro [8] на основе полученного уравнения трехмерная модель стебля длиной 70 см и диаметром на расстоянии 1/3 от комля 1,8 мм представлена на рисунке 111. Для наглядности выбран различный по длине и диаметру масштаб модели стебля.

С помощью полученного уравнения стебля льна можно определить количественно, как форма стебля отразится на неравномерности по толщине слоя в его поперечном сечении. Поэтому на следующем этапе нами решалась задача построения модели слоя льнотресты, максимально приближенной к реальному слою и количественно описывающей эту неравномерность. При этом слой моделировали с учетом растянутости стеблей и неравномерности стеблей по длине и диаметру.

Известно, что в слое льнотресты стебли смещены относительно друг друга, то есть слой имеет растянутость. Стандартом [6] предусмотрена максимальная величина растянутости стеблей в слое до 1,3 раза. При этом известно, что длина стеблей в слое, их растянутость по комлям подчиняются нормальному закону распределения.

Для моделирования профиля слоя по его поперечному сечению, прежде всего, задавались исходные параметры, в качестве которых были использованы:

- средняя длина стеблей;
- отклонение от средней длины;
- растянутость слоя;



**Рисунок 111 –
Графическая
интерпретация
уравнения стебля**

- средний диаметр стеблей;
- толщина слоя.

Для упрощения расчетов толщина слоя выражалась количеством стеблей, предполагалось, что смежные стебли контактируют друг с другом по всей своей длине.

Из [9] известно, что стебли в слое по длине и растянутости (в нашем случае расстояние от конца стебля до линии, соответствующей центру распределения комлей в слое) подчиняются нормальному распределению. Проверка экспериментальных данных диаметров стеблей на расстоянии $1/3$ от комля по критерию Пирсона также показала, что это распределение имеет нормальный характер. Известно, что нормальное распределение характеризуется средним значением случайной величины и ее среднеквадратическим отклонением. Обычно эти характеристики находят по результатам обработки экспериментальных данных опытов. В нашем случае решалась обратная задача – по среднему значению случайной величины и ее среднему квадратичному отклонению сгенерировать на компьютере массив случайных величин, подчиняющихся нормальному распределению с параметрами, характерными для реального слоя.

Так как для решения поставленных выше задач пришлось иметь дело с большим массивом данных, определяемых количеством стеблей, а также производить сложные математические операции, в качестве программной среды был использован Microsoft Excel (ME) с входящим в его состав приложением Visual Basic for Application (VBA), являющимся достаточно мощным языком программирования.

Имеющиеся в пакете ME и VBA функции для генерирования случайных чисел при многократном их вызове позволяют получить массив равномерно распределенных случайных чисел. В [10] изложен алгоритм моделирования, позволяющий преобразовать пары таких чисел в массив независимых случайных величин, подчиняющихся нормальному закону распределения.

При использовании этого алгоритма формулы для расчета случайных значений длины стебля l_i , растянутости стеблей по комлям δ_i и диаметра d_i стеблей в слое приводятся к виду:

$$l_i = \bar{l} + \sigma_{li} \sqrt{-2 \ln \gamma_{1l}} \cos 2\pi\gamma_{2l}; \quad (2)$$

$$\delta_i = \bar{\delta} + \sigma_{\delta i} \sqrt{-2 \ln \gamma_{1\delta}} \cos 2\pi\gamma_{2\delta}; \quad (3)$$

$$d_i = \bar{d} + \sigma_{di} \sqrt{-2 \ln \gamma_{1d}} \cos 2\pi\gamma_{2d}, \quad (4)$$

где \bar{l} , $\bar{\delta}$, \bar{d} – средние значения длины стебля, растянутости по комлям и диаметра для i -того стебля фрагмента слоя соответственно;

γ_{1i} , γ_{2i} – случайные числа, сгенерированные компьютером.

Для моделирования растянутости слоя целесообразно принять среднее значение растянутости массива стеблей равным нулю, что соответствует тому, что большая часть стеблей будет лежать на линии, являющейся центром нормального распределения величины σ_δ . Отклонение растянутости на основании известной зависимости [9, стр. 59] определяется:

$$\sigma_\delta = \frac{(L_c - l_a)}{4},$$

где L_c – ширина слоя;

l_a – горстевая длина стеблей;

δ – растянутость слоя, определяемая по [6].

По полученным в результате расчета по (2–4) значениям длины стеблей l_i , их растянутости δ_i и диаметра d_i , задав при этом толщину слоя, выраженную в стеблях, строили модель их расположения в поперечном сечении слоя. Стебель представляли в виде отрезка прямой с координатами комля X_{ki} , Y_{ki} и вершины X_{ei} , Y_{ei} . Ось OY в данном случае соответствовала описанному выше центру нормального распределения значений расчетных растянутостей массива стеблей. Для исключения отрицательных значений X_{ki} использовали параллельный перенос оси OY в положение OY' , отстоящее на расстоянии, соответствующем минимальному отрицательному значению координаты X_{ki} . На рисунке 112 показано распределение стеблей по поперечному сечению слоя без учета формы стеблей, где по оси OY' представлена толщина слоя, по оси OX – его ширина.

Для построения окончательной модели слоя в полученное распределение подставляли диаметр стебля, рассчитанный по (1), с интервалом 1 см по ширине слоя и суммировали значения диаметров для всех попадающих в этот интервал стеблей. Алгоритм расчета был реализован в цикле программы.

В качестве примера приведены результаты исследования с помощью созданной модели слоя со следующими параметрами:

- средняя длина стеблей – 75 см;

- отклонение от средней длины стеблей – 10 см;
- растянутость стебля – 1,2;
- толщина слоя (в стеблях) – 30;
- средний диаметр стеблей – 1,5 мм.

Построенный по результатам расчета с помощью программы профиль поперечного сечения слоя при условии полного соприкосновения стеблей друг с другом по всей длине представлен на рисунке 113.

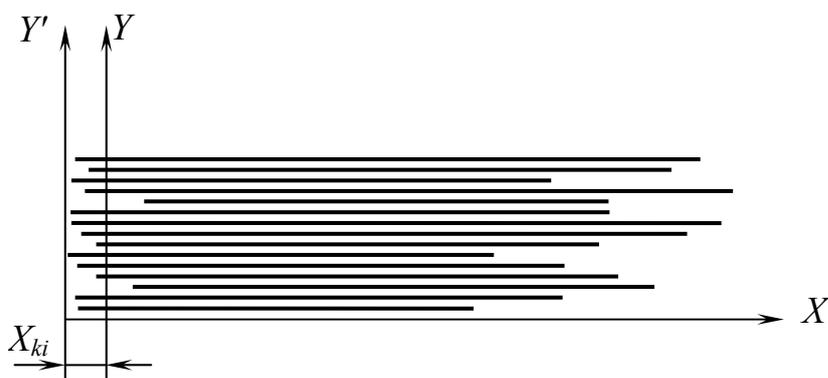


Рисунок 112 – Схематическое изображение модели слоя без учета формы стеблей

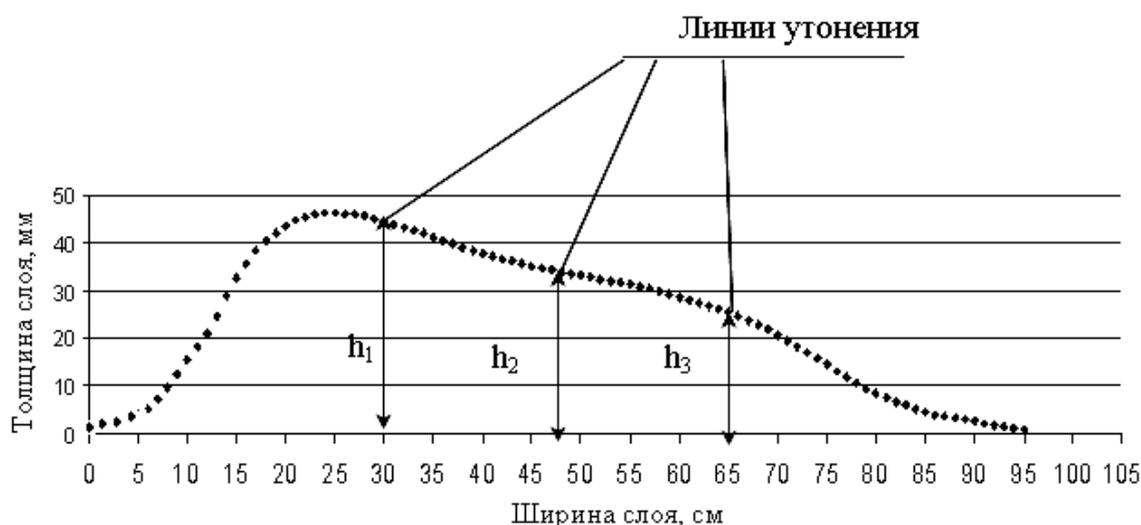


Рисунок 113 – Поперечное сечение слоя

Результаты исследований

Из рисунка 113 видно, что слой в поперечном сечении имеет неодинаковую толщину, при этом его толщина по ширине слоя различается довольно существенно. Полученная модель хорошо согласуется с приведенными в [11] результатами исследований профиля отдельных горстей льнотресты, выполненных с помощью измерительного стенда.

Если рассматривать такой слой как объект для утонения в слоеформирующей машине, то можно отметить, что из-за различной толщины разные участки слоя будут заполнять впадины одноименных зубчатых дисков разных линий утонения неодинаково. Для ранее выпускавшихся слоеформирующих

машин (МФС–1Л, ПЛ) с двумя линиями утонения, отстоящими на небольшом расстоянии друг от друга, это принципиального значения не имело. В разработанной в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» слоеформирующей машине МС–7 для лучшего разделения стеблей в комлевой и вершинной частях слоя предусмотрены три ступени утонения, расположенные на расстоянии 175 мм друг от друга. Следовательно, при условии расположения слоя симметрично осевой линии машины толщина слоя в линиях дисков будет соответствовать координатам точек 30; 47,5; 65 см соответственно. То есть во впадине диска первой линии утонения толщина слоя будет равна $h_1 = 44,58$ мм; второй линии – $h_2 = 34,34$ мм (77% от h_1); третьей – $h_3 = 25,54$ мм (57% от h_1). Как видно, разница между первой и третьей впадинами существенна. Учитывая, что такое же распределение будет и по длине слоя, это различие возрастает во второй степени полученных значений. То есть первая впадина заполнена полностью, вторая – на 59% своей площади, третья – только на 32%.

Поскольку не соблюдается требуемое условие равномерного заполнения впадин, технология процесса слоеформирования будет нарушена. В результате этого впадины дисков правой линии утонения оказываются недогруженными, что приводит к перераспределению стеблей по площади впадины слоеутоняющего диска, образованию пустого пространства во впадине. В результате отбор стеблей зубьями последующего диска будет неравномерным.

Возможны два пути устранения этого недостатка:

- изготовление дисков одного вала с различными по площади впадинами;
- расположение опорных полозков на разных уровнях для каждой линии утонения.

Исходя из соображений взаимозаменяемости и унификации машины второй вариант был сочтен более предпочтительным.

Заключение

1. На основании экспериментальных исследований и регрессионного анализа результатов построена математическая модель стебля льна, которая позволила сделать заключение о нецилиндричности стебля.

2. Разработан алгоритм моделирования слоя льнотресты в его поперечном сечении, в основу которого положен метод моделирования нормально распределенной случайной величины, и разработана программа для его реализации.

3. С использованием разработанной программы построена модель слоя стеблей с учетом случайно-вероятностного характера длины стеблей, их диаметра и растянутости слоя, а также учитывающая форму отдельного стебля слоя.

4. Установлено негативное влияние профиля слоя льнотресты на утонение слоя с количеством линий утонения более двух и увеличенным расстоянием между ними.

5. Разработаны предложения по устранению этого влияния, в соответствии с которыми опорные ползки должны быть расположены на разных уровнях для каждой линии утонения.

Литература

1. Лен-долгунец / Б.М. Баранов [и др.]. – М.: Сельхозгиз, 1957. – С. 59
2. Лен-долгунец / Под общ. ред. М.М. Труша. – М.: Колос, 1976. – С. 21.
3. Дьячков, В.А. Теоретические основы проектирования слоеформирующих машин мяльно-трепальных агрегатов / В.А. Дьячков. – Кострома: Изд-во КГТУ, 2003. – С. 35.
4. Ковалев, Н.Г. Сельскохозяйственные материалы / Н.Г. Ковалев, Г.А. Хайлис, М.М. Ковалев // *Аграрная наука*. – М.: ИК «Родник», 1998. – С. 55.
5. Справочник льновода / Н.Г. Коренский [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: Ураджай, 1987. – С. 29.
6. Треста льняная. Требования при заготовках: СТБ 1194-2007. – Введ. 2007.07.2001. – Минск: Госстандарт, 1999. – 14 с.
7. 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. – С. 198.
8. Mathematical graph and charting software for geometry and statistics [Electronic resource] / Mode of access: <http://www.calc3d.com>. – Date of access: 30.06.2009.
9. Ипатов, А.М. Теоретические основы механической обработки стеблей лубяных культур: учеб. пособие для вузов / А.М. Ипатов. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 144 с.
10. Соболев, И.М. Метод Монте-Карло / И.М. Соболев. – 4-е изд. – Наука: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. – 62 с.
11. Виноградова, А.Е. Способ определения структурных параметров стеблей льнотресты при оценке ее качества / А.Е. Виноградова, Е.Л. Пашин // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института по переработке лубяных культур*. – 2003. – №2. – С. 110-113.

УДК 631.358:633.521

**И.Е. Бобровская,
В.М. Науменко, Е.В. Кислов**
*(РУП «НПЦ НАН Беларуси
по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

**ИССЛЕДОВАНИЕ
ВЗАИМНОГО ДВИЖЕНИЯ
ЗУБЧАТЫХ ДИСКОВ В
СЛОЕФОРМИРУЮЩЕЙ
МАШИНЕ**

Введение

Применяемые на льнозаводах слоеформирующие машины (МФС–1Л, ПЛ) предназначены для создания равномерного по плотности слоя льнотресты толщиной 2–3 стебля, необходимого для наиболее эффективного выполнения последующих операций мятья и трепания. Эти машины работают по принципу деления порций стеблей, располагающихся во впадинах предыдущих дисков, на несколько частей при переходе в последующие диски. Причем эти части должны быть равными. Исследованиями [1,2] установлено, что названные машины не обеспечивают равенство получаемых в результате деления порций стеблей.

В работе [3] сформулирован один из принципов, соблюдение которого необходимо для определения профиля зуба дисков слоеформирующей маши-