

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕБЛЕЙ И ЛЕНТ ЛЬНА

А. В. ЧАЙЧИЦ, канд. техн. наук, доцент
В. А. ЛЕВЧУК, канд. техн. наук, доцент
М. В. ЦАЙЦ, магистр техн. наук, ст. преподаватель
А. В. ШИК, студент

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
Горки, Республика Беларусь

Введение. Научно обоснованное совершенствование и создание новых технических средств для механизации процессов в льноводстве требует глубокого изучения физико-механических и технологических свойств стеблей и лент льна. Необходимость изучения механико-технологических свойств этой культуры диктуется дополнительно ее высокой чувствительностью к механическим воздействиям и легкой повреждаемостью при взаимодействии с рабочими органами льноуборочных машин. В связи с этим, разработка новых технических средств с рациональными параметрами для механизации технологических процессов в льноводстве тесно связано со свойствами льна-долгунца. Эти свойства характеризуются совокупностью показателей, учитывающих строение растения, его сопротивление воздействию на него нагрузкам, поведение его при различных деформациях и разрушении, содержание влаги, трение о рабочие поверхности [9, 10, 12, 15, 19–22].

Основная часть. М. И. Шлыковым [24] и В. Крагельским [6] проведены исследования по определению большого числа показателей стеблестоя льна. Ими были определены усилия выдергивания стеблей и обрыва коробочек, необходимая для этого работа, а также многие другие существенные показатели. Исследованием свойств стеблей при растяжении занимались Н. М. Чиликин, И. В. Крагельский [6], Г. А. Хайлис [16], Н. Н. Быков [1], С. В. Курзенков, В. А. Левчук и М. В. Цайц [7]. Ими были проведены исследования по удлинению стеблей в ленте под действием продольных сил обмолачивающего аппарата. Коэффициент, учитывающий удлинение стеблей в ленте льна k [14], можно определить по зависимости

$$k = -0,002 \cdot L_{06}^2 + 0,0162 \cdot L_{06} + 1,0385, \quad (1)$$

где L_{06} – длина участка стебля льна от места зажима до вершины.

В ходе исследования относительного удлинения стеблей льно-тресты установлено, что на участке стебля от 0,05 до 0,20 м при растяжении под углом его относительное удлинение имеет линейную зависимость от величины участка Δ_2 подверженного растяжению и описывается уравнением [7]:

$$\varepsilon_{\text{ст}} = -0,187 \cdot \Delta_2 + 0,0523, \quad (2)$$

Исследованиям конусности стеблей льна посвящена работа М. М. Ковалева [4]. Им получены эмпирические зависимости общей конусности стеблей льна от диаметра комлевой части и технической длины стеблей:

$$k_c = 0,58 \cdot d_{\text{нс}} + 0,0004, \quad (3)$$

где $d_{\text{нс}}$ – диаметра комлевой части стеблей льна, м.

$$k_c = -7 \cdot 10^{-8} \cdot l_{\text{ст}} + 0,002, \quad (4)$$

где $l_{\text{ст}}$ – техническая длина стеблей льна, м.

Исследования повторных сжатий стеблей льна с чередующимися ослаблениями проводились Г. А. Хайлисом [16]. Им было установлено, что изменения свойств ленты стеблей после прекращения воздействия на нее необратимы. Это обусловлено тем, что стебли не обладают достаточной упругостью [18]

Уравнение для первой кривой сжатия определено как:

$$q_c = q_{\text{вг}} \cdot \left(e^{a_{\Gamma} \cdot \varepsilon} - 1 \right), \quad (5)$$

где q_c – удельное сопротивление стеблей сжатию, Н/м;

$q_{\text{вг}}$ – внутреннее давление, соответствующее начальному прижатию стеблей друг к другу вследствие действия сил тяжести стеблей, сцепления между ними и предварительного их сжатия, Н/м;

a_{Γ} – коэффициент, характеризующий свойства стеблей и их начальное состояние;

ε – относительное сжатие стеблей.

А. Н. Зинцов предложил зависимость к определению влияния угла перекоса ξ стеблей льна в ленте на плотность $\rho_{\text{ст}}$ ленты льна [2]:

$$\rho_{\text{ст}} = \frac{n_{\text{ст}}}{L_{\text{л}} \cdot L \cdot \cos \xi}, \quad (6)$$

где $n_{\text{ст}}$ – количество стеблей на участке ленты длиной $L_{\text{л}}$, ст./м (ленты);

$L_{д}$ – длина участка стеблей льна, м;

L – общая длина стебля льна, м;

ξ – угол перекося стеблей, град.

Зависимость удельного $p_{д}$ сопротивления стеблей сжатию от их плотности [5]:

$$p_{д} = p_{вг} \cdot \left[\exp \left[a_{г} \cdot \left(1 - \frac{\lambda_0}{\lambda} \right) \right] - 1 \right], \quad (7)$$

где $p_{вг}$ и $a_{г}$ – константы, характеризующие свойства стеблей и их начальное состояние:

– для сухих стеблей $p_{вг} = 0,012$ кН/м, $a_{г} = 8,4 \dots 8,7$;

– для свежесжатых стеблей $p_{вг} = 0,015$ кН/м, $a_{г} = 7,3 \dots 7,8$;

λ , λ_0 – коэффициенты заполнения сечения в сжатом и свободном состоянии, определяемые как

$$\lambda = \frac{\pi \cdot d_c^2 \cdot i_{сн}}{4 \cdot l \cdot (L_0 - s)}, \quad \lambda_0 = \frac{\pi \cdot d_c^2 \cdot i_{сн}}{4 \cdot l \cdot L_0}, \quad (8)$$

где l – ширина камеры сжатия, м;

d_c – средний диаметр стеблей, м;

$i_{сн}$ – число стеблей в снопе, шт.;

L_0 – первоначальная длина камеры сжатия, м;

s – ход поршня на участке l , м.

Кроме того, давление $p_{б}$ стеблей на боковые стенки камеры при их параллельном сжатии в канале с жесткими стенками можно определить из формулы [5]

$$p_{б} = p_{б.н} + \zeta \cdot p_{д}, \quad (9)$$

где $p_{б.н}$ – начальное боковое давление, имеющее место при $p_{д} = 0$, Н/м²;

$p_{д}$ – продольное давление в канале, Н/м²;

ζ – коэффициент бокового распора, равный у сухих стеблей 0,2–0,4 и у свежесжатых 0,3–0,6, имеющий тенденцию к росту при увеличении относительного сжатия стеблей, их диаметра, влажности и засоренности.

Число $i_{п}$ стеблей на одном погонном метре ленты льна в поле определяется по формуле

$$i_{п} = B_{м} \cdot i_0, \quad (10)$$

где $B_{м}$ – ширина захвата машины, м;

i_0 – число стеблей на квадратном метре поля (густота стеблестоя), шт./м².

Вес одного погонного метра ленты льна найдем как

$$m_{\Pi} = m_c \cdot i_{\Pi} \cdot g, \quad (11)$$

где m_c – масса одного стебля, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Число i_{Π} стеблей на одном погонном метре ленты льна в каком-либо транспортере льноуборочной машины при выполнении определенной технологической операции, пользуются формулой [3]

$$i_{\Pi} = B_M \cdot i_0 \cdot v_M / v_{\text{ТР}}, \quad (12)$$

где v_M – скорость машины, м/с ;

$v_{\text{ТР}}$ – скорость ремней транспортера, в котором определяется число стеблей на одном погонном метре, м/с .

Толщина ленты льна [18]:

$$h_{\text{сл}} = \pi \cdot i_{\Pi} \cdot r_c^2 / \lambda_{\text{л}0}, \quad (13)$$

где r_c – средний радиус стеблей льна в ленте, м ;

$\lambda_{\text{л}0}$ – коэффициент неплотности укладки стеблей в ленте (согласно [3], равный 0,15–0,20).

В. И. Соснов [13] исследовал устойчивость стеблей льна при продольном изгибе. Им установлено, что на величину критической нагрузки, при которой наступает потеря отрезками стеблей устойчивости, в значительной степени влияет диаметр стебля. В. О. Шейченко [23] исследовал явление отгиба ленты льна и определил условия, при которых происходит отрыв семенных коробочек от стеблей. С. Г. Порфирьев, В. Г. Игнатова [11] исследовали динамику созревания льна-долгунца, изменение урожайности, влажности и спелости стеблей и коробочек и др. Имеются многочисленные исследования по определению значений коэффициента трения стеблей о различные поверхности. основополагающие теоретические и экспериментальные исследования трения волокнистых веществ выполнены. И. В. Крагельским [6] разработана теория упруго-вязкого контакта трения волокнистых веществ, проведена классификация методов и приборов для определения коэффициента трения, определены коэффициенты трения покоя стеблей льна в зависимости от влажности и давления.

Закономерности изменения коэффициента трения от скорости скольжения и давления по резине и стали для свежескоченных и сухих стеблей установлены автором работы совместно с Н. Н. Быковым [1]. К основным свойствам коробочек льна, имеющим прикладное значение, относятся: жесткость коробочки c_k и плодоножки c_{Π} при растяжении и сжатии, коэффициенты трения коробочек по различным

поверхностям сопротивление плодоножек сдвигу, прочность коробочки и плодоножки и некоторые другие.

Разрушение коробочки начинается при деформации сжатия [8]:

$$L_k = 1,5-1,6 \text{ мм.} \quad (14)$$

Зависимости деформации сжатия Δ_k , мм от усилия P_0 , описываемые эмпирическим уравнением [18]

$$\Delta_k = c_k \cdot P_0 + a_k, \quad (15)$$

где c_k – жесткость коробочки, мм/Н;

a_k – коэффициент, учитывающий смятие чашелистиков и ворсистого покрова коробочки, мм.

Следует отметить, что коэффициент вязкости семенной коробочки зависит от времени воздействия и в среднем составляет для коробочек в полной спелости $\eta = 0,104 \pm 0,004 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Заключение. Для производства рабочих органов, взаимодействующих со стеблями льна, лучше всего использовать листовую сталь, так как коэффициент трения стеблей льна с листовой сталью меньше, чем с остальными материалами, а, соответственно, меньше воздействие на стебли льна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быков, Н. Н. Исследование технологического процесса и устройств для зажима стеблей в льноуборочных комбайнах: дис. ... канд. техн. наук / Н. Н. Быков. – Торжок, 1969. – 163 с.
2. Зинцов, А. Н. Обоснование и разработка процессов и машин для раздельной уборки льна-долгунца: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / А. Н. Зинцов. – Кострома, 2007. – 347 с.
3. Ковалев, М. М. Плющильные аппараты льноуборочных машин (конструкция, теория и расчет) / М. М. Ковалев, В. П. Козлов. – Тверь, 2002. – 208 с.
4. Ковалев, М. М. Технологии и машины для комбинированной уборки льна долгунца: дис. ... д-ра техн. наук / М. М. Ковалев. – Тверь, 2010. – 615 с.
5. Ковалев, Н. Г. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства) / Н. Г. Ковалев, Г. А. Хайлис, М. М. Ковалев. – Москва: Родник, 1998. – 208 с.
6. Крагельский, И. В. Физико-механические свойства лубяного сырья / И. В. Крагельский. – Москва: Гизлегпром, 1935. – 299 с.
7. Курзенков, С. В. Обоснование скорости зажимного транспортера обмолачивающего устройства линии первичной переработки льна / С. В. Курзенков, В. А. Левчук, М. В. Цайц // Агропанорама. – 2022. – № 1 (149). – С. 14–19.
8. Логинов, В. Е. Исследование зажима стеблей льна в зажимном транспортере с плоскими ремнями / В. Е. Логинов // Сб. тр. аспирантов и молодых науч. сотр. / ВНИИ льна. – Москва, 1966. – С. 131–137.
9. Повышение эффективности получения семян льна-долгунца при комбайновой уборке / В. А. Шаршунов [и др.] // Вестн. НГИЭИ. – 2023. – № 7 (146). – С. 44–59.
10. Поисковые эксперименты процесса выделения минеральных примесей из вороха льноостры транспортером с волнообразной колеблющейся сетчатой лентой / В. А. Шаршунов [и др.] // Агропанорама. – 2023. – № 3 (157). – С. 8–13.

11. Порфирьев, С. Г. Закономерность созревания льна-долгунца и сроки его уборки / С. Г. Порфирьев, В. Г. Игнатов // Повышение производительности и качества работы с.-х. машин в условиях НЗ РСФР: труды ВСХИЗО. – 1986. – Вып. 204. – С. 76–83.

12. Результаты производственных испытания и экономическая оценка применения роторного бильно-вычесывающего устройства на льноуборочном комбайне / В. А. Шаршунов [и др.] // Весці НАН Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2023. – Т. 61, № 4. – С. 324–336.

13. Соснов, В. И. Устойчивость комлевой части стеблей льняной тресты при продольном изгибе / В. И. Соснов // Труды ВНИИ льна. – 1974. – Вып. XII. – С. 190–195.

14. Теоретическое обоснование радиусов ротора и защитного кольца роторного бильно-вычесывающего устройства / В. А. Шаршунов [и др.] // Агропанорама. – 2023. – № 3 (157). – С. 14–21.

15. Теоретическое обоснование параметров роторного бильно-вычесывающего устройства льна / М. В. Цайц [и др.] // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2023. – № 1 (22). – С. 272–279.

16. Хайлис, Г. А. Механика растительных материалов / Г. А. Хайлис. – Киев: УААН, 2002. – 374 с.

17. Хайлис, Г. А. Теория и расчет льноуборочных машин / Г. А. Хайлис // Труды Великолукского сельхозинститута. – 1973. – Вып. XXVI. – 334 с.

18. Хайлис, Г. А. Элементы теории и расчет льноуборочных машин / Г. А. Хайлис. – Москва: Машгиз, 1963. – 149 с.

19. Цайц, М. В. К вопросу сообразности применения растянутости ленты льна как фактора при исследовании обмолачивающих и очесывающих устройств / М. В. Цайц // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России. – Красноярс, 2022. – С. 163–167.

20. Цайц, М. В. Обоснование параметров и режимов работы роторного бильно-вычесывающего устройства для обмола льна / М. В. Цайц // Вестн. БГСХА. – 2023. – № 2. – С. 167–172.

21. Цайц, М. В. Сравнительный анализ размерно-массовых характеристик вороха льна-долгунца / М. В. Цайц // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2022. – Вып. 7. – С. 285–289.

22. Чайчиц, А. Н. Определение расятнутости ленты льна: теоретические аспекты / А. Н. Чайчиц, М. В. Цайц, Ю. А. Домчев // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2022. – Вып. 7. – С. 290–293.

23. Шейченко, В. О. Обґрунтування параметрів та режиму роботи льнообрального апарата з поперечними рівкаками: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / В. О. Шевченко. – Дослічницьке, 2006. – 126 с.

24. Шлыков, М. И. Льноуборочный комбайн (теория, расчет, конструкция) / М. И. Шлыков. – Москва: Машгиз, 1949. – 300 с.

Аннотация. Обобщены результаты теоретических и эмпирических результатов исследований свойств льна как объекта уборки. Приведены исследования по определению показателей стеблестоя льна, параметров ленты стеблей льна и свойств семенных коробочек.

Ключевые слова: очес, деформация семенных коробочек, толщина ленты льна, плотность ленты стеблей льна, удельное сопротивление, коэффициент удлинения стебля, относительное удлинение льнотресты.