

АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ РАСТЯНУТОСТИ ЛЕНТЫ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА ПРИ УБОРКЕ КОМБАЙНОВОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ

В. С. АСТАХОВ, С. В. КУРЗЕНКОВ, О. В. ГОРДЕЕНКО

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: sergkrz@tut.by

(Поступила в редакцию 30.03.2022)

Формирование растянутости ленты льна происходит при проведении каждой операции, проводимой во время уборки льна-долгунца, и чем больше операций производится, тем больше формируется растянутость ленты льна. Наиболее существенное влияние растянутость ленты льна оказывает на процесс отделения (очес, обмолот) семенной части урожая от стеблей. Первым технологическим процессом в уборочном цикле, оказывающем влияние на растянутость, является теребление, которое осуществляется вне зависимости от применяемой технологии. При уборке льна-долгунца по комбайновой технологии процесс отделения семян производится сразу после теребления.

В статье рассмотрены теоретические аспекты формирования растянутости ленты стеблей льна в процессе уборки теребильными аппаратами с продольными криволинейными ручьями типа ЛК-4А и «Двина-4М». Проведен анализ схем взаимодействия рабочих органов со стеблями, определены факторы образующие составляющие растянутости и приведены аналитические зависимости. Установлено, что на величину растянутости ленты льна оказывают влияние конструктивные параметры делителей и теребильного аппарата, а также высота теребления и кинематического показателя работы агрегата.

Получена математическая модель, позволяющая определить растянутость ленты стеблей льна, формируемой в процессе теребления при изменяющихся технологических параметрах, таких как высота стеблестоя (высота стеблей), высота теребления и показателя скоростного режима. Приведен пример реализации методики в математическом пакете MathCad, позволяющий моделировать различные ситуации состояния стеблестоя и скорости движения сельскохозяйственной машины.

Аналитические зависимости, рассмотренные в данной статье, войдут в основу методики расчета и проектирования льнотеребильков и льноуборочных комбайнов с теребильным аппаратом с продольными криволинейными ручьями.

Ключевые слова: лен, теребильный аппарат, растянутость ленты льна, лента стеблей льна, делитель, уборка льна.

The formation of the stretching of the flax tape occurs during each operation carried out during the harvesting of fiber flax, and the more operations are performed, the more the stretching of the flax tape is formed. The stretching of the flax tape has the most significant effect on the process of separation (toiling, threshing) of the seed part of the crop from the stems. The first technological process in the harvesting cycle that affects the stretch is pulling, which is carried out regardless of the technology used. When harvesting fiber flax using combine technology, the process of separating seeds is carried out immediately after pulling.

The article deals with theoretical aspects of the formation of the stretching of the flax stem tape in the process of harvesting by pulling devices with longitudinal curvilinear streams of the LK-4A and Dvina-4M types. The analysis of the interaction schemes of the working bodies with the stems was carried out, the factors forming the components of the stretching were determined and analytical dependencies were given. It has been established that the design parameters of the dividers and the pulling apparatus, as well as the height of pulling and the kinematic index of the unit's operation, influence the magnitude of the stretching of the flax tape.

A mathematical model has been obtained that makes it possible to determine the stretching of the flax stem tape formed in the process of pulling with changing technological parameters, such as the height of the stem (stem height), the height of the pull and the speed limit. An example of the implementation of the technique in the mathematical package MathCad is given, which allows simulating various situations of the state of the stalk and the speed of the agricultural machine.

The analytical dependencies considered in this article will form the basis of the methodology for calculating and designing flax pullers and flax harvesters with a pulling device with longitudinal curvilinear streams.

Key words: flax, pulling apparatus, stretching of the flax tape, flax stem tape, divider, flax harvesting.

Введение

Получение длинного волокна всегда было главной целью льноводства и наиболее значимым источником прибыли многих сельскохозяйственных предприятий. Анализ состояния льноводческой отрасли показал, что в рейтинге неблагоприятных обстоятельств одно из лидирующих мест занимают чрезмерно большие потери волокнистой части при ее выделении из тресты на льнозаводе [1]. Чаще всего неудовлетворительный результат становится следствием избыточной растянутости стеблей в ленте (слое), которая формируется в результате целого ряда таких производственных факторов, как использование семян низких репродукций, грубые нарушения технологии предпосевной обработки почвы, особенности механических воздействий на стеблестой теребильными секциями и другими рабочими органами льноуборочных машин. Повышенная растянутость стеблей в слое является отрицательным фактором, который при переработке тресты на льнозаводе снижает выход длинного волокна на 5–6 % [2].

Уборка льна-долгунца в Республике Беларусь производится различными технологиями [3, 4], однако для всех их характерны типовые операции, такие как теребление, очес (обмолот) семенной части, вспушивание, оборачивание лент, их прессование. Одним из негативных показателей работы льноуборочной техники является формирование растянутости ленты льна. Растянутость снопа льно-солоты (льнотресты) – отношение средней сноповой длины к средней горстевой длине [3, 5]. Растя-

нутость ленты льна усложняет последующие процессы, в частности очес (обмолот) ленты льна, ее прессование и трепание в линии первичной переработки [6]. Как показывает практика, наибольший вред качеству лент стеблей приносят обязательные технологические операции по приготовлению и уборке льнотресты, которые многократно и неминуемо увеличивают растянутость лент льна. Формирование растянутости ленты льна происходит при проведении каждой операции, проводимой во время уборки льна-долгунца, и чем больше операций производится, тем больше формируется растянутость ленты льна [3, 7]. Делители и теребильные ручьи, в процессе уборки льна, работают в самых разнообразных условиях. Наиболее неблагоприятные условия работы делителей и теребильного аппарата возникают при тереблении изреженного и короткостебельного льна в стадии конца зеленой спелости и начале ранней желтой спелости, а также в условиях полегания стеблестоя [5, 6, 8].

Таким образом, очевидно, что растянутость ленты льна увеличивается после проведения каждой операции уборочного процесса. Для качественного анализа влияния рабочего процесса льноуборочной техники необходимо определить составляющие процессы и факторы, оказывающие влияние на растянутость ленты льна. Определить теоретическую зависимость растянутости ленты льна от данных факторов.

Основная часть

Вопросы теории образования растянутости ленты льна в теребильном ручье рассматривались и раньше в работах по исследованию подвода стеблей в ручей и их зажатия ремнями [9, 10, 11], а также в расчетах теребильных аппаратов и выбора скорости движения теребильных лент изложены в работах немецких исследователей Войчак и Винтер [12] и польского исследователя М. Янияк [13]. Однако их рассмотрение проводилось опосредовано и под влиянием того или иного рабочего органа. Это не позволяет оценить совокупную растянутость, которая формируется в результате работы сельскохозяйственной машины.

Первым технологическим процессом в уборочном цикле, оказывающим влияние на растянутость, является теребление, которое осуществляется вне зависимости от применяемой технологии.

Теребильные аппараты состоят из нескольких теребильных секций. Каждая теребильная секция образована парой прижатых друг к другу бесконечных ремней, или ремнем и обрешеченным диском которые захватывают стебли льна, зажимают их и выдергивают из почвы [14]. Две сомкнутые друг с другом смежные ветви ремней (или часть поверхности диска и прижатая к ней ветвь ремня), между которыми зажимаются стебли, образуют теребильный ручей. В зависимости от направления теребильных ручьев в одних машинах стебли льна теребятся в продольной плоскости или в плоскости, близкой к продольной; в других машинах теребление льна производится в поперечной плоскости.

Спереди теребильные аппараты снабжены делителями стеблестоя льна, изготовленными, как правило, из прутковой стали. Делители производят разделение стеблестоя льна на отдельные полосы и подводят стебли к ремням теребильных секций. В льнотеребилках применяются делители различной геометрической формы и конструкции: одноярусные (треугольные) и двухъярусные (пятиугольные) [15].

При работе теребильного аппарата наклоняемые делителями стебли, сходя с прутков, попадают в зону действия теребильных ремней (рис. 1, а). Ширина этой зоны $2B_1$, а границы находятся в точках B_1 и B_2 , где и начинается подвод стеблей в ручей ремнями.

Относительный сдвиг в ленте формируется в первую очередь при взаимодействии стеблей с делителями и при взаимодействии стеблей с теребильным аппаратом. При взаимодействии стеблей с делителями происходит наклон стеблей, непосредственно взаимодействующих с делителем в продольном направлении по ходу движения машины и в поперечном направлении к точке K . При этом наибольшему наклону подвержены стебли льна, наиболее удаленные от точки K зажима теребильными ремнями и наименьшему наклону подвержены стебли, расположенные в центре теребильной секции.

В общем виде растянутость ленты льна можно представить как:

$$\lambda = \frac{l_{ст} + \Delta l}{l_{ст}} = 1 + \frac{\Delta l}{l_{ст}}, \quad (1)$$

где $l_{ст}$ – длина стебля льна, м; Δl – смещение (относительный сдвиг) стеблей в ленте льна, м.

Относительный сдвиг стеблей $\Delta l_{ст}$ связан с тем, что затягивание стеблей в теребильный ручей происходит на разной высоте. Растянутость ленты льна, формируемая работой делителей, образуется следующим образом. В процессе движения сельскохозяйственной машины, делители надвигаются на стеблестой, упираются боковыми стеблеподводами в него и, преодолевая сопротивление отдельных стеблей изгибу, подводят их в центр, тем самым наклоняют. При этом боковые стеблеподводы взаимодействуют сначала со стеблями наиболее близко к ним расположенными, а затем по мере продвижения – со стеблями, расположенными ближе к центру. Такое воздействие делителей на стебли льна

приводит к тому, что они отклоняются от своей оси, как в направлении движений сельскохозяйственной машины (угол γ_x) (рис. 1, в), так и перпендикулярно движению – в центр между двумя смежными делителями (угол γ_y) (рис. 1, б). В свою очередь стебли льна, расположенные в центре между двумя смежными делителями воздействию последних, практически не подвергнуты и имеют минимальное отклонение от своей оси. В таком случае стебли, расположенные в центре теребивильной секции, затягиваются в точке A' , а крайние стебли – в точке A (рис. 1, б), что и формирует относительный сдвиг.

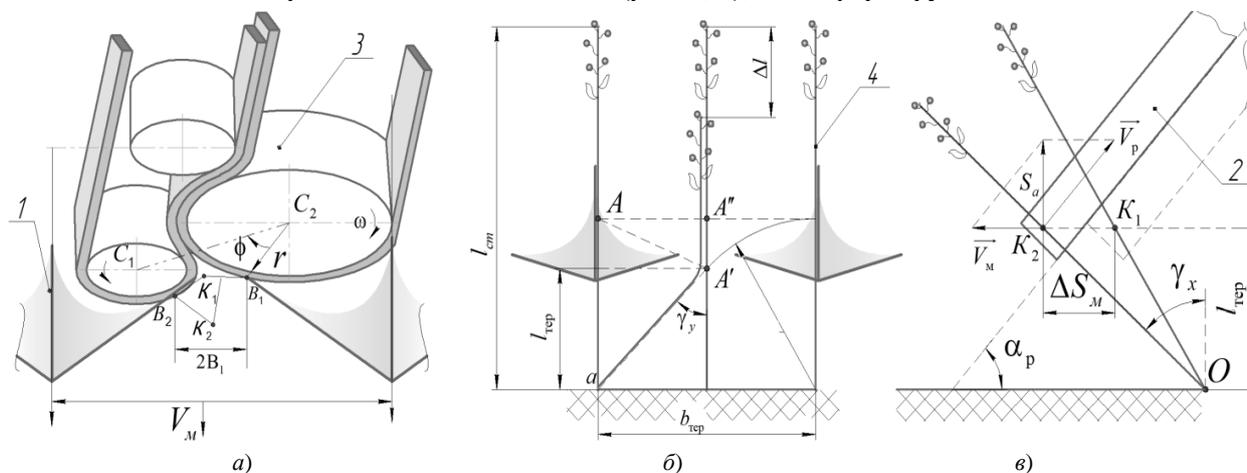


Рис. 1. Схема теребления стеблей льна из почвы аппаратом с продольными ручьями: а – вид сверху; б – вид спереди; в – вид сбоку; 1 – делитель; 2 – теребивильный ремень; 3 – ролик; 4 – стебель льна

Так как ремни, обтягивающие шкивы C_1 и C_2 , совершают сложные движения, а именно, переносное (поступательное вместе с машиной) и относительное (вращательное вместе со шкивами вокруг осей C_1 и C_2) (рис. 1, а), то траектории точек ремней относительно земли зависят от отношения скоростей машины и теребивильных ремней. Это отношение является показателем скоростного режима ζ .

$$\zeta = \frac{v_m}{v_p \cdot \cos \alpha_p} \text{ или } \zeta = \frac{S_m}{S_p \cdot \cos \alpha_p}, \quad (2)$$

где ζ – показатель скоростного режима; v_m – скорость движения машины, м/с; v_p – скорость теребивильных ремней, м/с; S_m – расстояние, пройденное машиной за единицу времени t , м/с; S_p – расстояние, преодолеваемое точкой теребивильного ручья за единицу времени t , м/с; α_p – угол наклона теребивильного ручья, град.

Проводя анализ затягивания стеблей ремнями, согласно Г. А. Хайлиса [16], можно установить, что при малых значениях показателя скоростного режима траектории точек ремней будут иметь вид B_1K_1 и B_2K_1 , а при больших значениях этого показателя – B_1K_2 и B_2K_2 . Воздействие ремней на стебли может вызвать дополнительный наклон крайних стеблей и увеличение растянутости пучка вытеребленных стеблей. Дополнительный наклон будет весьма мал при малых значениях показателя и значительным при больших значениях λ . Ввиду этого растянутость вытеребленных стеблей увеличивается с ростом скоростного режима, что ведет к снижению чистоты теребления. Таким образом, для оценки растянутости формируемой в процессе теребления ленты льна необходимо рассмотреть два положения: стебель, находящийся в середине теребивильной секции (неподверженный отклонению) и стебель, расположенный у вершины делителя, отклоняемый в процессе работы от своей первоначальной оси на некоторый угол γ (рис. 2, а). Величину Δl можно представить как:

$$\Delta l = OA' - OA, \quad (3)$$

а величину OA' определить по формуле:

$$OA' = \frac{OA}{\cos \gamma}, \quad (4)$$

где γ – угол наклона стебля льна наиболее удаленного от центра теребления, рад.

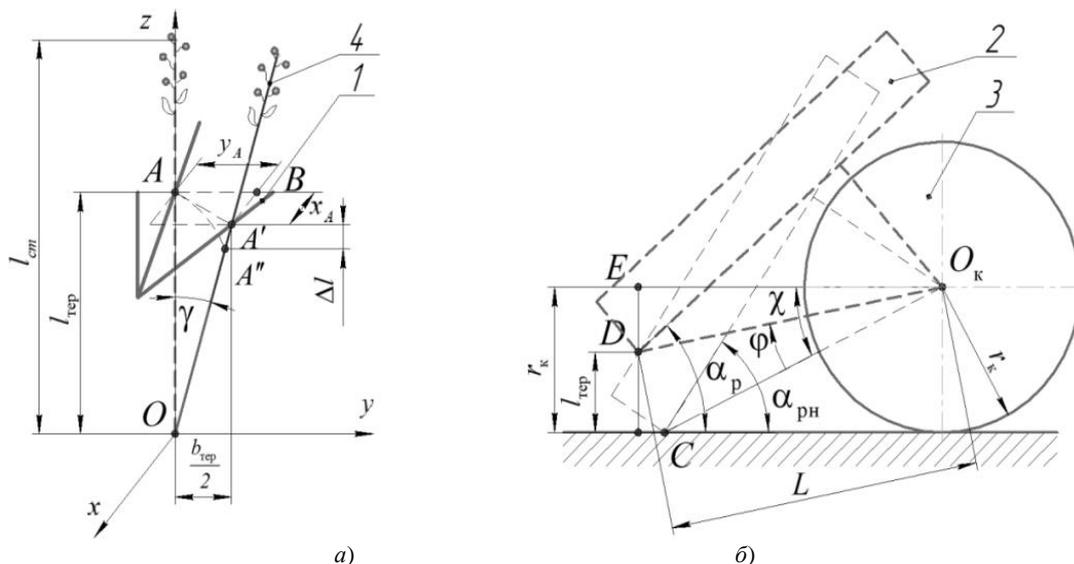


Рис. 2. Схема к определению параметров относительного сдвига стеблей в ленте льна: а – схема привязки делителя со стеблем льна к пространственной системе координат; б – теребивный аппарат в двух положениях (вид сбоку); 1 – делитель; 2 – теребивный аппарат; 3 – полевое колесо; 4 – стебель льна

В свою очередь тангенс угла γ можно найти как:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{AA'}{OA}. \quad (5)$$

Из прямоугольного треугольника $AA'B$ катетами x_A и y_A найдем AA'

$$AA' = \sqrt{x_A^2 + y_A^2}, \quad (6)$$

где x_A – величина смещения точки A , принадлежащей стеблю льна, при взаимодействии ремнем теребивного аппарата на протяжении времени t с момента начала взаимодействия, до момента затягивания стебля льна в теребивный ручей, м; y_A – величина смещения точки A , принадлежащей стеблю льна при взаимодействии с боковым стеблеподводом делителя, м.

Максимальное его значение не превышает половины захвата одной теребивной секции $b_{\text{тер}}/2$.

Время t с момента начала взаимодействия теребивного аппарата со стеблем, до начала его затягивания в теребивный ручей можно определить как (рис. 1, а)

$$t = \frac{\phi}{\omega} = \frac{\phi \cdot r_{\text{ш}}}{v_{\text{р}}}, \quad (7)$$

где ϕ – угол поворота шкива теребивного аппарата до затягивания стебля в теребивный ручей, рад; ω – угловая скорость вращения шкива теребивного аппарата, рад/с; $r_{\text{ш}}$ – радиус ведомого шкива теребивного аппарата, м; $v_{\text{р}}$ – скорость движения теребивного ремня, м/с.

В свою очередь величина x_A зависит от скоростного режима сельскохозяйственной машины. Поскольку при условии отсутствия проскальзывания и номинальной частоте вращения вала отбора мощности скорость ремней теребивного аппарата постоянная, то фактором, определяющим величину x_A является скорость самой сельскохозяйственной машины. Тогда x_A можно определить по формуле:

$$x_A = S_M = v_M \cdot t, \quad (8)$$

где v_M – скорость движения сельскохозяйственной машины, м/с; S_M – путь, пройденный с.-х. машиной за время t , м.

Из схемы (рис. 2, а) видно, что величина OA соответствует высоте теребления $l_{\text{тер}}$, которая должна составлять 1/3 длины стебля льна. С учетом зависимостей (4), (5), (6), (7) и (8) после некоторых преобразований выражение (3) примет вид:

$$\Delta l = \frac{l_{\text{ст}}}{\cos \left(\arctg \left(\frac{\sqrt{S_M^2 + \frac{b_{\text{тер}}^2}{4}}}{l_{\text{тер}}} \right) \right)} - l_{\text{ст}} = l_{\text{ст}} \left(\frac{\sqrt{S_M^2 + \frac{b_{\text{тер}}^2}{4} + l_{\text{тер}}^2}}{l_{\text{тер}}} - 1 \right). \quad (9)$$

Как видим из выражения (9), на величину относительного сдвига стеблей в ленте льна при терблении оказывает воздействие конструктивные параметры (ширина захвата тербильной секции) и технологические (угол наклона тербильного аппарата и высота тербления). Также следует отметить присутствие показателя скоростного режима в виде S_m .

Анализируя зависимость (2), следует отметить влияние угла установки тербильного аппарата α_p на показатель кинематического режима. В свою очередь угол установки тербильного аппарата α_p зависит от высоты тербления $l_{тер}$. Связь между этими показателями можно выявить, проанализировав схему (рис. 2, б). Поскольку поднятие и опускание тербильного аппарата происходит вращением полурамы тербильного аппарата вокруг оси полевого колеса O_k , то высоту тербления $l_{тер}$ можно определить по зависимости:

$$l_{тер} = r_k - L \cdot \sin(\chi - \varphi), \quad (10)$$

где r_k – радиус полевого колеса, м; L – расстояние от оси вращения полевого колеса до точки начала затягивания стеблей льна в тербильный ручей, м; χ – угол определяющий наклон отрезка Сок к горизонту в крайнем нижнем положении тербильного аппарата, рад.; φ – угол подъема тербильного аппарата, град.

Угол установки тербильного аппарата можно определить как:

$$\alpha_p = \alpha_{рн} - \varphi, \quad (11)$$

где $\alpha_{рн}$ – угол наклона тербильного аппарата к горизонту в крайнем нижнем положении, град. Для тербильного аппарата льноуборочного комбайна типа ЛК-4А и «Двина-4М» $\alpha_{рн} = 58 \dots 62$ град.

С учетом (11) выражение (10) примет вид:

$$l_{тер} = r_k - L \cdot \sin(\chi + \alpha_p - \alpha_{рн}), \quad (12)$$

где α_p – фактический угол наклона тербильного аппарата к горизонту (установленный во время тербления), град.

Продемонстрируем пример расчета растянутости ленты льна, формируемой на этапе тербления в математическом пакете MathCad. Предположим, что длина стебля льна $l_{ст} = 1,0$ м, ширина захвата одной тербильной секции $b_{тер} = 0,37$ м, высота установки тербильного аппарата (высота тербления) $l_{тер} = l_{ст}/3$, номинальная скорость движения тербильных ремней при условии проскальзывания $v_p = 2,6$ м/с, а рабочая скорость сельскохозяйственной машины $v_m = 2,5$ м/с. В качестве конструктивных параметров примем параметры льноуборочного комбайна «Двина-4М»: радиус ведомого шкива тербильного аппарата $r_{ш} = 0,124$ м, радиус полевого колеса льноуборочного комбайна $r_k = 0,3$ м, расстояние от оси полевого колеса тербильного аппарата до нижней части тербильного аппарата $L = 0,96$ м.

Согласно принятым параметрам, угол наклона тербильного аппарата к горизонту выраженное из выражения (11) составит $\alpha_p = 60 - \arcsin\left(\frac{r_k}{L}\right) + \arcsin\left(\frac{r_k - l_{тер}}{L}\right) = 0,695$ рад. или 39,84 град. а показате

ль кинематического режима $\zeta = \frac{v_m}{v_p \cdot \cos \alpha_p} = \frac{2,5}{2,6 \cdot \cos(39,84)} = 1,252$.

Время взаимодействия тербильного аппарата до момента затягивания стеблей льна в тербильный ручей согласно (7) составит $t = \frac{\varphi \cdot r_{ш}}{v_p} = \frac{1,05 \cdot 0,125}{2,6} = 0,017$ с, а величина относительного сдвига

стеблей льна при формировании ленты в тербильном ручье по зависимости (9) составит $\Delta l = 0,151$ м.

Растянутость ленты льна в таком случае, согласно (1) составит $\lambda = 1 + \frac{\Delta l_{ст}}{l_{ст}} = 1 + \frac{0,151}{1} = 1,151$.

Вариант оформления исходных данных и расчетной части в математическом пакете MathCad показан на рис. 3. Результаты модели (1) с учетом (2), (7), (9), (11) и (12) позволяют определить растянутость ленты стеблей льна формируемой в процессе тербления при изменяющихся технологических параметрах таких, как высота стеблестоя (высота стеблей) $l_{ст}$, высота тербления $l_{тер}$, показателя скоростного режима ζ .

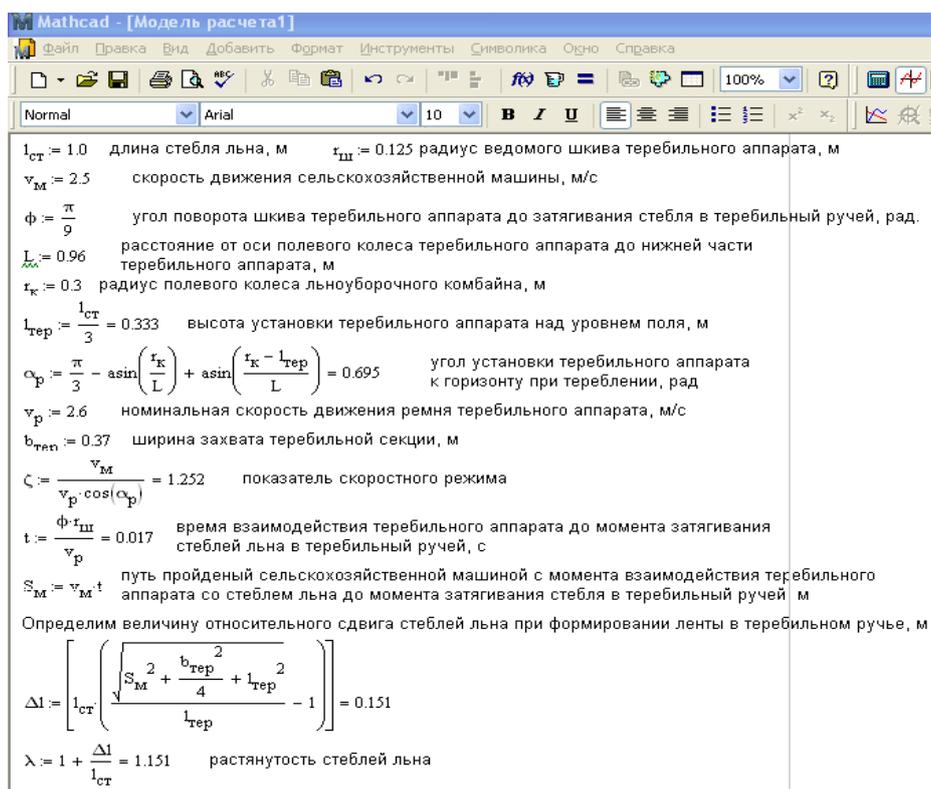


Рис. 3. Блок исходных данных и расчетной части в математическом пакете MathCad определения растянутости ленты стеблей льна.

Заключение

Получены аналитические зависимости, позволяющие определять растянутость ленты стеблей льна, формируемой на этапе теребления теребильным аппаратом с продольными криволинейными ручьями типа ЛК-4А и «Двина-4М». Установлено, что величина растянутости ленты льна главным образом зависит от работы делителей, работы теребильного аппарата и скоростного режима льноуборочного комбайна. При разработке новой техники следует стремиться к снижению ширины захвата одной секцией теребильного аппарата, а также уменьшению угла подвода стеблей льна в теребильный ручей делителем.

Аналитические зависимости, рассмотренные в данной статье, войдут в основу методики расчета и проектирования льнотеребилков и льноуборочных комбайнов с теребильным аппаратом с продольными криволинейными ручьями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаршунов, В. А. Состояние льноводческой отрасли Республики Беларусь и пути повышения ее эффективности / В. А. Шаршунов, А. С. Алексеенко, М. В. Цайц // Вестник Белорус. госуд. сельскохозяйств. академии. – 2019. – № 2. – С. 267–271.
2. Черников, В. Г. Изыскание и исследование рабочих органов для подъема и выравнивания лент льнотресты: дис. ... канд. техн. наук / В. Г. Черников. – Торжок, 1969. – 168 с.
3. Основы расчета рабочих органов машин и оборудования для производства семян льна / В. А. Шаршунов, В. Е. Кругленья, А. Н. Кудрявцев [и др.]. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. – 156 с.
4. Шаршунов, В. А. Анализ механизированных технологий уборки и первичной переработки льна / В. А. Шаршунов, А. С. Алексеенко, М. В. Цайц, В. А. Левчук. – Вестник БГСХА. – 2017. – № 2. – С. 137–141.
5. ГОСТ 33734-2016. Межгосударственный стандарт. Техника сельскохозяйственная. Комбайны и машины для уборки льна. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2017. – 73 с.
6. Зинцов, А. Н. О повышении эффективности комблепдобивания стеблей в лентах льна-долгунца / А. Н. Зинцов // Вестник АПК Верхневолжья. – 2017. – № 1 – С. 67–72.
7. Ковалев, М. М. Раздельная уборка льна: влияние оборачивания на растянутость стеблей и потери семян / М. М. Ковалев, В. И. Дмитриев, М. М. Русакова // Достижения науки и техники АПК. – 2007. – № 4. – С. 6–8.
8. Зинцов, А. Н. Разработка и исследование процесса уменьшения растянутости стеблей льна-долгунца в ленте / А. Н. Зинцов, В. Н. Соколов // Аграрный вестник Нечерноземья. – 2021. – № 4(4). – С. 29–35.
9. Румшинский, Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л. З. Румшинский. – М., 1971. – 192 с.
10. Ковалев, В. Б. Прогрессивная технология уборки и реализации льна / В. Б. Ковалев // Лен и конопля. – 1983. – № 2. – С. 18–21.
11. Комаристов, В. Е. Сельскохозяйственные машины / В. Е. Комаристов, Н. Ф. Дунай. – М.: Колос, 1984. – 478 с.
12. Winter, R. Die Flachsraufmaschinen und ihre technologischen und konstruktiven Probleme / Deutsche Agrartechnik. – № 7. – 1956.
13. Janiak Mieczyslaw. Wskazowki do konstrukcji i obliczen podstawowy-chzespolow roboczych wyrzywaczy lnu, Maszyny Rolnicze rok II, 1960, № 2 Warszawa.
14. Халанский, В. М. Сельскохозяйственные машины / В. М. Халанский, И. В. Горбачев. – М.: Колос С, 2004. – 624 с.
15. Маят, А. С. Теория, конструкция и расчет делителей льноуборочных машин // Труды ВНИИМСХ (ВИМ). – Москва, 1970. – Том 46. – С. 304–335.
16. Хайлис, Г. А. Элементы теории и расчета льноуборочных машин / Г. А. Хайлис. – М.: Машгиз, 1963. – 151 с.