УДК 338.43(471):633.521 CC BY DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-41-47

Определение коэффициентов трения стеблей льна по характеристикам шероховатости

Виктор Григорьевич Черников[1],
доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент Российской академии наук,
главный научный сотрудник,
vniiml1@mail.ru;
Роман Анатольевич Ростовцев[1],
доктор технических наук, профессор Российской академии наук, директор;
Роман Андреевич Попов[2],
кандидат технических наук;
Владислав Юрьевич Романенко[1],
кандидат технических наук;
Андрей Анатольевич Ростовцев[1],
инженер

[1]Федеральный научный центр лубяных культур, г. Тверь, Российская Федерация;
[2]Министерство сельского хозяйства Тверской области, г. Тверь, Российская Федерация

Реферат. При уборке льна-долгунца его стебли контактируют с рабочими органами льноуборочных машин. Выявили, что многообразие материалов для изготовления рабочих органов вызвало необходимость рассчитать коэффициенты трения при взаимодействии стеблей с этими материалами, так как сделать это опытным путем не всегда представляется возможным. Подтвердили возможность вычисления коэффициентов трения в комлевой, средней и верхушечной частях стебля. (*Цель исследования*) Рассчитать коэффициенты трения стеблей льна-долгунца по заданным характеристикам микрогеометрии их поверхности. (*Материалы и методы*) Исследования проводили на стандартном приборе профилограф-профилометр завода «Калибр», модель 201. В качестве исследуемого материала использовали лен-долгунец сорта Могилевский 2 в фазе бурой спелости, (влажность – 43,79 процента, общая длина стеблей – 78,9 сантиметра, урожайность льносоломы – 3,575 тонны с гектара). Растения льна-долгунца вытеребливали вручную на опытном поле в период уборки. В ходе подготовки опытных образцов стебель льна делили на три части – комлевую, среднюю и верхушечную. Каждую из частей стебля разделяли на две половины вдоль оси, затем одну из половин разворачивали и наклеивали на твердое основание (стальную пластину). Профилограммы частей стеблей льна обрабатывали по известным методикам. (*Результаты и обсуждение*) Получили коэффициенты трения стеблей разной влажности при их перемещении по стальной поверхности. Установили, что расчетные значения коэффициентов трения несколько превышают показатели, полученные в результате опыта. (*Выводы*) Установили, что с повышением влажности стеблей льна возрастает молекулярная составляющая коэффициента трения. Определили, что при влажности стеблей 20-45 процентов коэффициент трения колеблется в пределах от 0,38 до 0,98 процента.

Ключевые слова: льноуборочные машины, материалы рабочих органов, коэффициент трения стеблей льна, профилограмма.

Для цитирования: Черников В.Г., Ростовцев Р.А., Попов Р.А., Романенко В.Ю., Ростовцев А.А. Определение коэффициентов трения стеблей льна по характеристикам шероховатости // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. N1. С. 41-47. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-41-47.

Calculation of the Friction Coefficients of Flax Stems according to their Roughness Characteristics

Viktor G. Chernikov[1],
Dr.Sc.(Eng.), professor, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, chief researcher,
vniiml1@mail.ru;
Roman A. Rostovtsev[1],
Dr.Sc.(Eng.), professor of the Russian Academy of Sciences, director;
Roman A. Popov[2],
Ph.D.(Eng.), head of department;
Vladislav Yu. Romanenko[1],
Ph.D.(Eng.), head of laboratory;
Andrey A. Rostovtsev[1],
engineer

[1]Federal Research Center for Fibre Crops, Tver, Russian Federation;
[2]Ministry of Agriculture of the Tver Region, Tver, Russian Federation

Abstract. When harvesting flax, its stems get into contact with the working elements of flax harvesting machines. The authors have found that the diversity of materials used to manufacture the working elements made it necessary to calculate the friction coefficients in the interaction between the stems and these materials, since it is not always possible to do this experimentally. They confirmed the possibility of calculating the friction coefficients in the butt, middle and apical parts of the stem. (*Research purpose*) Calculation of the friction coefficients of flax stems according to the given microgeometry characteristics of their surface. (*Materials and methods*) The studies were carried out on a standard device, a profile meter-and-recorder made by the Kalibr plant, make 201. Common (fibre) flax of the Mogilevskiy 2 variety at the stage of brown ripeness, at a humidity - 43.79 percent, with total length of stems – 78, 9 cm and a flax straw yield of 3.575 tons per hectare were chosen for the experiments. The flax crop was harvested by hand on the experimental field during the harvesting period. During the preparation of experimental samples, the flax stem was divided into three parts - butt, middle and apical. Each of the stem parts was divided into two halves along the axis, then one of the halves was unrolled and pasted on a solid base (steel plate). Profile diagrams of flax stems parts of were processed with conventional methods. (*Results and discussion*) The authors have obtained the friction coefficients of the stems of different humidity as they moved along the steel surface. It has been established that the calculated values of the friction coefficients are slightly higher than those obtained as a result of experiments. (*Conclusions*) It has been established that as the humidity of flax stems increases, the molecular component of the friction coefficient increases too. It has been determined that when the moisture content of the stems is 20-45 percent, the friction coefficient values range from 0.38 to 0.98 percent.
Keywords: flax harvesting machines, materials of working elements, friction coefficient of flax stalks, profile diagram.

For citation: Chernikov V.G., Rostovtsev R.A., Popov R.A., Romanenko V.Yu., Rostovtsev A.A. Opredelenie koeffitsientov treniya stebley l'na po kharakteristikam sherokhovatosti [Calculation of the friction coefficients of flax stems according to their roughness characteristics]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N1. 41-47. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-41-47 (In Russian).

В процессе уборки льна-долгунца его стебли контактируют с различными материалами, из которых изготовлены рабочие органы льноуборочных машин. При этом между ними возникают силы трения, зависящие от характеристики микрогеометрии поверхности стеблей льна. Характер контактной деформации стеблей льна неодинаков, так как различные взаимодействующие материалы резко отличаются по величине модуля упругости. Как известно, поверхность любого геометрического тела имеет макро- и микронеровности.

При контакте тел выступы более твердой поверхности цепляют и расплющивают неровности сопряженной более мягкой поверхности. На свойство контакта влияют микрогеометрия твердой поверхности и механические свойства более мягкого тела. В этом плане остается малоизученным взаимодействие деталей машин и стеблей льна-долгунца.

Исследуя взаимодействия материалов важно знать коэффициент трения [1]. Есть немало научных работ, посвященных изучению этого показателя при контактировании стеблей льна с различными материалами. Но все они носят практический характер, то есть значения коэффициентов трения получены опытным путем и только для ограниченного круга материалов. В связи с использованием в сельскохозяйственном машиностроении новых альтернативных материалов при изготовлении рабочих органов возникла необходимость рассчитать коэффициенты трения при взаимодействии стеблей с этими материалами, так как сделать это опытным путем не всегда представляется возможным. Можно с достаточной точностью рассчитать значения этих показателей в каждой части стебля (комлевой, средней, верхушечной), зная характеристики микрогеометрии их поверхности.

Стебель льна совершает сложное движение по поверхности расстилочного стола с осуществлением поворота. По параметрам шероховатости и коэффициентам трения в разных частях стебля можно подобрать материал стола при его проектировании.

Цель исследования – рассчитать коэффициенты трения стеблей льна-долгунца по заданным характеристикам микрогеометрии их поверхности.

Материалы и методы. Исследования проводили на стандартном приборе профилограф-профилометр завода «Калибр», модель 201. Принцип его работы основан на щуповом методе определения шероховатости поверхности. По поверхности перемещается игла малого радиуса закругления 2-10 мкм. Колебания иглы в вертикальном направлении повторяют неровности профиля и преобразуются в электрические сигналы. Они усиливаются, записываются в виде профилограммы или поступают в интегрирующее устройство, которое выдает ха-

рактеристики профиля.

В профилографе игла скользит по шероховатой поверхности (*рис. 1*). Она соединена с якорем и может вместе с ним поворачиваться относительно призмы. При этом меняется зазор между сердечником и якорем, что приводит к изменению переменного тока в катушке. Ток через трансформатор поступает в усилитель, а оттуда на самописец и регистратор. Призма закреплена неподвижно относительно шаровой опоры. Поскольку шар имеет большой радиус кривизны, он скользит по вершинам микровыступов, опускаясь и поднимаясь в соответствии с имеющейся на поверхности микронеровностью.

Для проведения исследований на опытном поле в период уборки растения льна-долгунца вытеребливали вручную, после чего их доставляли в лабораторию, где определяли длину и диаметр каждого стебля по известным методикам (Характеристики микрогеометрии, определяющие взаимодействие шероховатых поверхностей. М.: НИИМАШ. 1973). В ходе подготовки опытных образцов стебель льна делили на три части – комлевую, среднюю и верхушечную. Каждую из частей стебля разделяли на две половины вдоль оси, затем одну из половин разворачивали и наклеивали на твердое основание (стальную пластину).

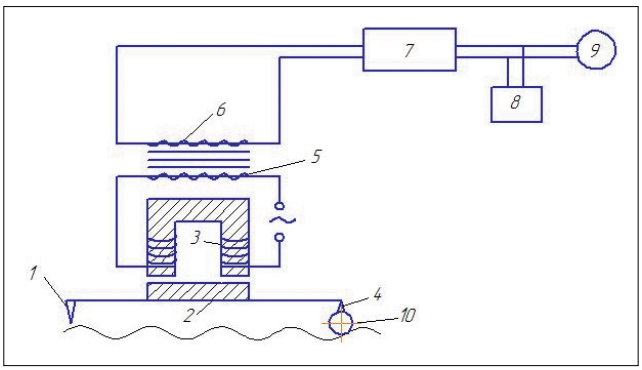

Рис. 1. Профилограф-профилометр завода «Калибр» мод. 201: 1 – игла; 2 – якорь; 3 – сердечник; 4 – призма; 5 – катушка; 6 – трансформатор; 7 – усилитель; 8 – самописец; 9 – регистратор; 10 – шаровая опора

Fig. 1. Profile recorder-and-meter made by the "Kalibr" plant, make 201: 1 – needle; 2 – armature; 3 – core; 4 – prism; 5 – coil; 6 – transformer; 7 – amplifier; 8 – recorder; 9 – recording device; 10 – ball bearing

В качестве исследуемого материала использовали лен-долгунец сорта Могилевский 2 в фазе бурой спелости, влажность – 43,79%, общая длина стеблей – 78,9 см, урожайность льносоломы – 3,575 т/га.

На профилографе-профилометре сняли профилограммы комлевой, средней и верхушечной части стеблей льна.

Результаты и обсуждение. Результаты микрогеометрии свидетельствуют о заметных различиях показателей в разных частях стебля (*таблица*).

Таблица / Table

Параметры микрогеометрии поверхности стебля льна-долгунца
Characteristics of the microgeometry of the flax stem surface

Показатели Indicators	Часть стебля / Stem part		
	комлевая butt	средняя middle	верхушечная apical
Среднее отклонение профиля R_a, мкм Average deviation of the profile R_a, μm	1,02	0,96	0,96
Расстояние от линии выступов до линии впадин, R_{max}, мкм Distance from the line of protrusions to the line of troughs, R_{max}, μm	7,02	6,50	11,25
Расстояние от линии выступов до средней линии, R_p, мкм Distance from the line of protrusions to the midline, R_p, μm	3,75	3,75	6,50
Радиус кривизны вершин выступов, $r_в$, мкм Curvature radius of the peaks of protrusions, r_b, μm	288,00	221,00	87,00
Относительная длина по средней линии, t_c, мкм Relative length along the midline, t_c, μm	0,44	0,47	0,47
Средний шаг неровностей, $t_н$, мкм Average step irregularities, t_n, μm	62,70	40,00	44,30
Параметры опорной кривой*: Reference curve parameters *: v	2,20	2,60	2,90
b	1,80	1,80	2,40
Комплексная характеристика, учитывающая остроту выступов и их распределение по высоте, Δ Complex characteristic taking into account the sharpness of protrusions and their height distribution, Δ	0,019	0,024	0,095

* v, b – параметры степенной аппроксимации начальной части опорной кривой
* v, b – parameters of power approximation of the initial part of the reference curve

Среднее арифмитическое отклонение профиля R_a определяли непосредственно по шкале профилографа-профилометра.

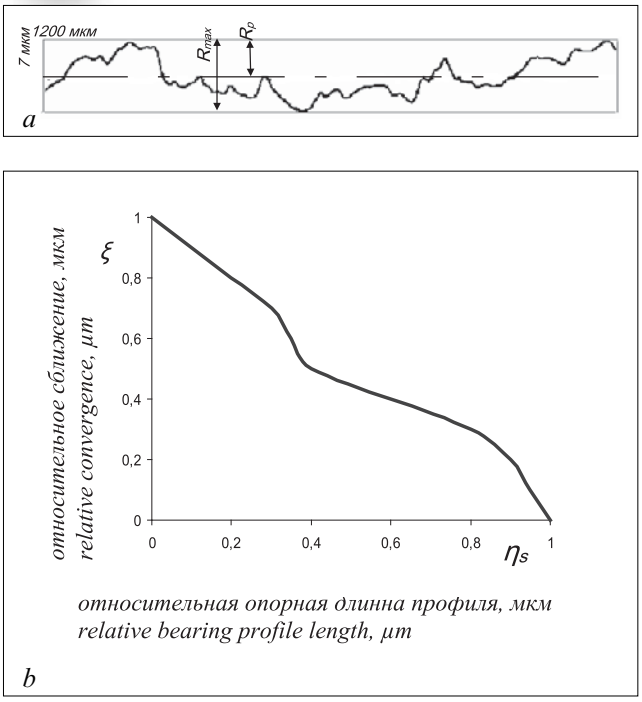

Рис. 2. Характерная профилограмма (a) и опорная кривая поверхности (b) комлевой части стебля льна-долгунца
Fig. 2. Characteristic profile diagram (a) and the support curve of the butt end surface (b) of the flax stem.

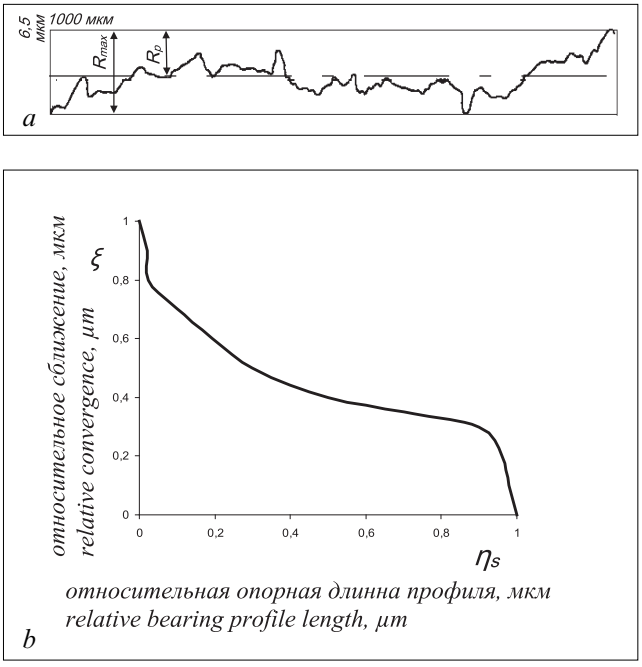

Рис. 3. Характерная профилограмма (a) и опорная кривая поверхности (b) средней части стебля льна-долгунца
Fig. 3. Characteristic profile diagram (a) and the support curve of the middle part surface (b) of the flax stem

Комплексную характеристику, учитывающую остроту выступов и их распределение по высоте, вычислили по формуле:

$$\Delta = R_{max}/r_a b^{1/v}, \quad (1)$$

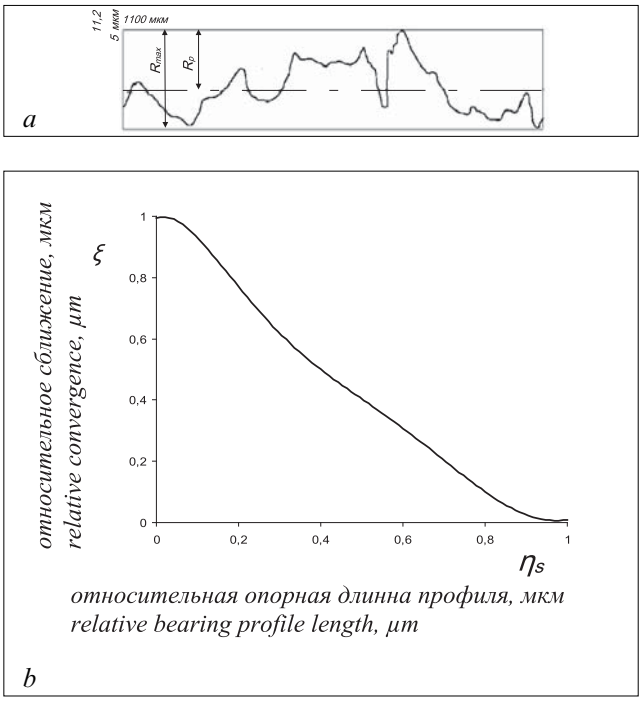

Рис. 4. Характерная профилограмма (a) и опорная кривая поверхности (b) верхушечной части стебля льна-долгунца (вертикальное увеличение в 20 раз больше горизонтального)
Fig. 4. Characteristic profile diagram (a) and the support curve of the apical part surface (b) of the flax stem (the vertical magnification is 20 times larger than the horizontal one)

где R_{max} – расстояние от линии выступов до линии впадин;

b и v – параметры степенной аппроксимации начальной части опорной кривой, построенной в относительных величинах.

Построим опорные кривые для комлевой, средней и верхушечной части стебля и определим их параметры b и v (*рис. 2-4*).

В ходе исследования выявили, что параметры шероховатости распределяются неравномерно по длине стебля.

Наибольшие значения отмечены в верхушечной его части, а в комлевой и средней они примерно одинаковы.

Наука о трении основывается на представлении о двойственной природе фрикционного взаимодействия: молекулярной и механической [2].

Коэффициент трения состоит из молекулярной (адгезионной) и механической (деформационной) составляющих:

$$f = f_м + f_д, \quad (2)$$

где $f_м$ – молекулярная составляющая коэффициента трения;

$f_д$ – механическая составляющая коэффициента трения.

Молекулярную составляющую коэффициента трения можно определить по формуле [3]:

$$f_м = CN_l^{-1/4} + \beta_0 \ , \quad (3)$$

где N_l – нормальная погонная нагрузка, Н/м;

C – величина, равная:

$$C = \frac{1{,}67 R^{1/4} (r_в / t_н)^{1/2}}{E_{1n}^{1/4} E_{2n}^{1/2}} \tau_0 \ , \quad (4)$$

где R – радиус стебля, мм;

τ_0 и β_0 – молекулярные константы трения;

E_{1n}, E_{2n} – приведенные модули упругости стеблей льна и контртела (модули контактной деформации), кПа. Необходимые справочные данные для ее расчета молекулярной составляющей подробно представлены в [3].

При расчете коэффициентов трения необходимо знать погонную нормальную нагрузку N_1, действующую со стороны ленты на поверхность при их взаимодействии. Исходя из того, что лента стеблей находится в свободном состоянии, то есть без давления на нее. Тогда N_1 будет определяться весом стеблевой массы:

$$N_1 = \frac{i_n \cdot m_c}{n_{cm} \cdot L_{cm}}, \quad (5)$$

где i_n – число стеблей на единице длины ленты, шт./м;

m_c – масса одного стебля, кг;

$n_{ст}$ – число стеблей в нижнем слое ленты, шт.;

$L_{ст}$ – общая длина стеблей в ленте, м.

Допустим, что при транспортировании ленты по расстилочному щиту стебли нижнего ряда по всей длине контактируют с его поверхностью. Тогда общую длину всех стеблей, находящихся в контакте, можно определить из уравнения:

$$L_{ст} = \lambda_0 \, i_{n0} \, l_{ст}, \quad (6)$$

где λ_0 – коэффициент, учитывающий плотность укладки стеблей в ленте;

i_{n0} – число стеблей на 1 м длины ленты при их укладке, шт./м;

$l_{ст}$ – средняя длина стеблей, м.

Лента стеблей формируется в теребильном аппарате, поперечном и зажимном транспортере льноуборочного комбайна. Важной характеристикой ленты считается число стеблей на единицу ее длины. На примере льноуборочного комбайна ЛК-4А рассчитаем число стеблей в формируемой им ленте. Число стеблей в ручьях теребильных секций:

$$i_n = B \cdot i_0 \cdot J \cdot \frac{V_M}{V_P}, \quad (7)$$

где B – ширина захвата теребильной секции, м;

i_0 – густота стеблестоя (число стеблей на i-м участке поля), шт./м;

J – число ручьев теребильных секций, из которых сформирована лента, шт.;

$V_М$ – скорость движения машины, м/с;

$V_р$ – скорость теребильных ремней, м/с.

Обозначим толщину ленты стеблей через h_1, тогда площадь поперечного сечения стеблей в ленте длиной 1 м будет равна h_1 м^2. Площадь сечения стебля равна πR^2. Коэффициент заполнения сечения стеблей в ленте, представляющий собой отношение живого сечения стеблей по всей площади сечения ленты длиной 1 м, будет равен:

$$\lambda_p = \frac{i_n \cdot \pi \cdot R^2}{h_1}. \quad (8)$$

Слой стеблей льна в свободном состоянии (без давления на него), характеризующийся коэффициентом заполнения сечения λ_0, находится в пределах 0,15-0,20 [4, 5].

Подставив λ_0 в (7) вместо $\lambda_р$ и решая полученное уравнение относительно h_1, получим:

$$h_1 = \frac{\pi \cdot i_n \cdot R^2}{\lambda_0}. \quad (9)$$

Толщина ленты характеризуется также числом рядов стеблей в ней при плотной их укладке вдоль ленты. Обозначим ее как $n_c = i_п / i_{по}$.

Тогда:

$$n_c = 2 i_n R. \quad (10)$$

Рассчитаем погонную нагрузку при контактировании ленты с расстилочным столом. Примем B = 0,38 м; $i_о$ = 1400 шт./м^2; J = 4; $V_М$ = 2,0 м/с; $V_р$ = 3,08 м/с; m_c = 0,0015 кг; R = 0,001 м; $l_{СТ}$ = 1 м.

Тогда погонная нагрузка N_1 = 22,3 Н/м.

Зная параметры микрогеометрии поверхности стебля льна-долгунца по всей его длине и параметры шероховатости стали как наиболее твердого материала пары, расчетным путем определим значения коэффициентов трения стеблей в комлевой, средней и верхушечной части при взаимодействии с гладкой стальной поверхностью.

Величины C, β_0 и $E_п$ зависят от влажности стеблей w.

Таким образом, воспользовавшись формулами (3) и (4), проведем оценку молекулярной составляющей коэффициента трения для стеблей влажностью 20; 32 и 45% (*рис. 5*).

При w = 20% :

f_1 = 0,60; f_2 = 0,63; f_3 = 0,38.

При w = 32% :

f_1 = 0,80 ; f_2 = 0,84 ; f_3 = 0,51.

При w = 45% :

f_1 = 0,94 ; f_2 = 0,98; f_3 = 0,82,

где f_1, f_2, f_3 – значения коэффициентов трения, соответственно, в комлевой, средней и верхушечной частях стебля.

Расчетные значения коэффициентов трения несколько превышают показатели, полученные в ре-

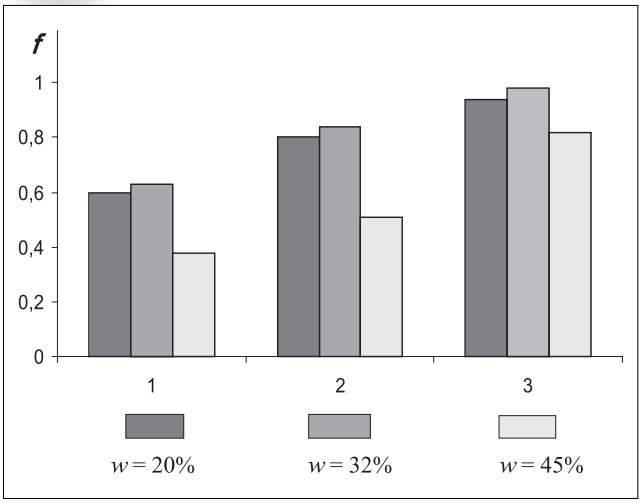

Рис. 5. Коэффициенты трения по длине стебля при различной влажности:
1 – комлевая часть стебля; 2 – средняя; 3 – верхушечная
Fig. 5. Diagram of changes in the friction coefficients along the stem length:
1 – butt end of the stem; 2 – middle part of the stem; 3 – apical end of the stem

зультате опыта [6-10]. Это объясняется тем, что после отсыхания листьев в местах их роста на стеблях остаются выпуклости, и при определении коэффициента трения опытным путем контакт стебля с контртелом осуществляется в первую очередь на этих выступах, вследствие чего уменьшаются площадь контакта и сам коэффициент.

В верхушечной части стебля наблюдается наибольшая шероховатость его поверхности, происходит взаимодействие выступов (микронеровностей) контактирующих поверхностей (при отсутствии нагрузки). Поэтому коэффициенты трения по длине стебля возрастают в сторону верхушечной части и достигают в ней наибольших значений. С повышением влажности стеблей коэффициент трения увеличивается, достигает максимума, а затем падает. Это связано с гидрофобностью поверхности стебля льна и образованием водяных менисков, то есть сил межмолекулярного взаимодействия атомов воды и поверхности контактирующих тел вокруг пятен контакта [3].

Выявленные в ходе рассчетов коэффициенты трения могут быть использованы при проектировании различных машин для возделывания и уборки льна-долгунца, в частности, расстилочных устройств.

Выводы. Провели обзор по исследованиям физико-механических свойств стеблей льна-долгунца.

По разработанной нами методике рассчитали коэффициенты трения стеблей различной влажности при их взаимодействии с поверхностью щита. Определили, что при влажности стеблей 20-45% их значения колеблются в пределах от 0,38 до 0,98.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов Р.А. Расчет коэффициентов трения при взаимодействии стеблей льна-долгунца с различными материалами // *Достижения науки и техники АПК*. 2006. N4. С. 20-21.

2. Буше Н.А., Демкин Н.Б., Чичинадзе А.В. и др. Основы трибологии (трение, износ, смазка). М.: Машиностроение. 2001. 663 с.

3. Беркович И.И., Крюков М.В., Родионов Л.В., Мородова Ю.И. Контактирование и трение стеблей льна в льноуборочных машинах // Механика и физика фрикционного контакта. Тверь: ТГТУ. 2003. С. 6-17.

4. Ковалев Н.Г., Хайлис Г.А., Ковалев М.М. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства). М.: ИК «Родник», *Аграрная наука*. 1998. 208 с.

5. Хайлис Г.А. Механика растительных материалов. Киев. 1994. 332 с.

6. Хайлис Г.А., Ковалев М.М. О свойствах сельскохозяйственных материалов, учитываемых при создании новой техники // *Тракторы и сельхозмашины*. 2013. N8. С. 3-4.

7. Черников В.Г., Ростовцев Р.А., Романенко В.Ю., Пучков Е.М. Влияние характеристик условий работы на надежность и точность выполнения технологических процессов льноуборочными машинами // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2016. N4. С. 9-11.

8. Черников В.Г. Коэффициент трения льносоломки и льнотресты // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1967. N12. С. 21-22.

9. Черников В.Г. Машины для уборки льна (конструкция, теория, расчет). М.: ИНФРА-М, 1999. 210 с.

10. Быков Н.Н., Ковалев М.М. Зависимость коэффициента трения стеблей льна от скорости скольжения // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1985 N12. С. 22-24.

REFERENCES

1. Popov R.A. Raschet koeffitsientov treniya pri vzaimodeystvii stebley l'na-dolguntsa s razlichnymi materialami [Calculation of friction coefficients in the interaction of common flax stems with various materials]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2006. N4. 20-21 (In Russian).

2. Bushe N.A., Demkin N.B., Chichinadze A.V., et al. Osnovy

tribologii (trenie, iznos, smazka) [Fundamentals of tribology (friction, wear, lubrication)]. Moscow: Mashinostroenie. 2001. 66 (In Russian).

3. Berkovich I.I., Kryukov M.V., Rodionov L.V., Morodova Yu.I. Kontaktirovanie i trenie stebley l'na v l'nouborochnykh mashinakh [Contacting and friction of flax stalks in flax harvesting machines]. Mekhanika i fizika friktsionnogo kontakta. Tver': TGTU. 2003. 6-17 (In Russian).

4. Kovalev N.G., Khaylis G.A., Kovalev M.M. Sel'skokhozyaystvennye materialy (vidy, sostav, svoystva) [Agricultural materials (types, composition, properties)]. Moscow: IK "Rodnik", *Agrarnaya nauka*. 1998. 208 (In Russian).

5. Khaylis G.A. Mekhanika rastitel'nykh materialov [Mechanics of plant materials]. Kiev: 1994. 332 (In Russian).

6. Khaylis G.A., Kovalev M.M. O svoystvakh sel'skokhozyaystvennykh materialov, uchityvaemykh pri sozdanii novoy tekhniki [On properties of agricultural materials relevant for developing new technology]. *Traktory i sel'khozmashiny*. 2013. N8. 3-4 (In Russian).

7. Chernikov V.G., Rostovtsev R.A., Romanenko V.Yu., Puchkov E.M. Vliyanie kharakteristik usloviy raboty na nadezhnost' i tochnost' vypolneniya tekhnologicheskikh protsessov l'nouborochnymi mashinami [Influence of the characteristics of working conditions on the reliability and accuracy of technological processes performed by flax harvesting machines]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2016. N4. 9-11 (In Russian).

8. Chernikov V.G. Koeffitsient treniya l'nosolomki i l'notresty [The coefficient of friction of flax and flax straw]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennye mashiny*. 1967. N12. 21-22 (In Russian).

9. Chernikov V.G. Mashiny dlya uborki l'na (konstruktsiya, teoriya, raschet) [Flax harvesting machines (construction, theory, calculation)]. Moscow: INFRA-M. 1999. 210 (In Russian).

10. Bykov N.N., Kovalev M.M. Zavisimost' koeffitsiyenta treniya stebley l'na ot skorosti skol'zheniya [Relationship between the friction coefficient of flax stalks and the sliding speed]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 1985. N12. 22-24 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 14.12.2018
The paper was submitted to the Editorial Office on 14.12.2018

Статья принята к публикации 04.02.2019
The paper was accepted for publication on 04.02.2019

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

осуществляет подготовку

на бюджетные и платные места в аспирантуру и магистратуру

высшее образование – программа подготовки научно-педагогических кадров

Лицензия №2498 от 15.02.2016

Государственная аккредитация №2475 от 19 января 2017 года

Адрес института: 109428, Москва, 1-й Институтский проезд, 5.

Телефон для справок: 8 (499) 709-33-68