

## СРАВНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ СЕМЯН И ЖМЫХА ЛЬНА ПО ПОВЕРХНОСТЯХ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Роман Кузьминский, Олег Соколовский, Виталий Василькевич, Роман Шеремета*  
*Львовский национальный аграрный университет*

*Ул. В. Великого 1, Дубляны, Украина. E-mail: romansheremeta@ukr.net*

*Roman Kuzminskyi, Oleg Sokolovskiy, Vitalyi Vasilkevych, Roman Sheremeta*  
*Lviv National Agrarian University*

*St. Vladimir the Great 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: romansheremeta@ukr.net*

**Аннотация.** Изложена методика и результаты исследований на приборе RST-01.PC коэффициента трения скольжения семян и жмыха льна масличных сортов по поверхностям различных материалов, применяемых для изготовления машин и оборудования в фармакологии, пищевой и перерабатывающей промышленности.

Установлено, что значения коэффициентов трения скольжения жмыха и семян льна по поверхности различных материалов существенно отличаются. Коэффициент сухого трения скольжения для жмыха льна выше, чем для семян льна. Наиболее существенная разница между значениями коэффициентов трения получена для условий трения скольжения по поверхности оцинкованной стали, а наименее существенная – для условий трения скольжения по поверхности необработанной стали.

**Ключевые слова:** семена льна, жмых, поверхности металлов, сухое трение, коэффициент трения скольжения.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

На эффективность процессов получения высококачественного растительного масла, предназначенного для использования в пищевой промышленности и фармакологии, существенно влияют конструктивно-технологические параметры машин и оборудования, в частности шнековых прессов. Эти параметры определяются с учётом физико-механических свойств сырья, в первую очередь с учётом значений коэффициентов трения сырья по рабочим поверхностям машин и оборудования.

С целью обеспечения высокого выхода растительного масла с семян льна используют двух- или трёхразовый отжим [15; 16] в частности шнековыми прессами [2; 3]. Если на первом этапе отжима сырьем для получения растительного масла являются семена льна, то на втором и третьем этапах – жмых. В условиях мелкотоварного производства двух- или трёхразовый отжим реализуют, используя один и тот же пресс [6; 16]. Конструктивные параметры такого пресса должны обеспечивать рациональные технологические режимы получения растительного масла как непосредственно с семян льна, так и с жмыха, образовавшегося после первого прохода. К сожалению, свойства жмыха семян льна масличных сортов изучены недостаточно, что делает невозможным теоретическое обоснование как конструктив-

ных параметров шнековых прессов, так и технологических режимов их работы на различных этапах переработки масличного сырья.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Исследованию физико-механических свойств масличного сырья посвящено много работ [1; 5–7; 9; 10; 12; 17]. В частности, для семян льна установлены размеры, коэффициенты внешнего и внутреннего трения [1; 4], исследованы технологические режимы и энергоёмкость процессов получения льняного масла из цельных и предварительно лущеных семян [18–21]. В то же время отсутствуют данные о значениях коэффициентов трения льняного жмыха по материалам, которые используются для изготовления машин и оборудования в фармакологии, пищевой и перерабатывающей промышленности.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задачей исследований было определить коэффициенты трения скольжения семян масличного льна и жмыха семян льна по поверхностям различных металлов.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

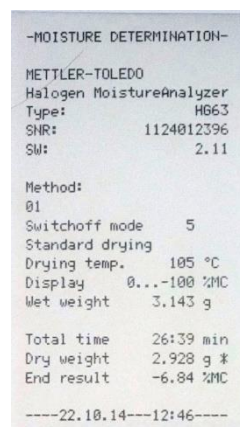
Исследовалось семя масличного льна и жмых, полученный после первого отжима семян масличного льна сорта Айсберг шнековым прессом ПО-50 [3].

Относительную влажность жмыха определяли на анализаторе влажности *Mettler Toledo HG 63* (рис. 1, а), который содержит два инструмента – точные электронные весы и нагревательный модуль с контролируемой температурой нагрева. Прибор выполняет измерения по термогравиметрическому принципу, то есть влажность определяется изменением веса образца в результате испарения влаги вследствие его нагревания.

Для измерений относительной влажности готовили образцы семян и жмыха массой 2...10 г. Подготовленный материал равномерно распределяли в чашке прибора, чтобы увеличить площадь поверхности образца и облегчить поглощение тепла. Далее выбирали температуру, до которой образец нагревается и при которой содержится до окончания опыта.

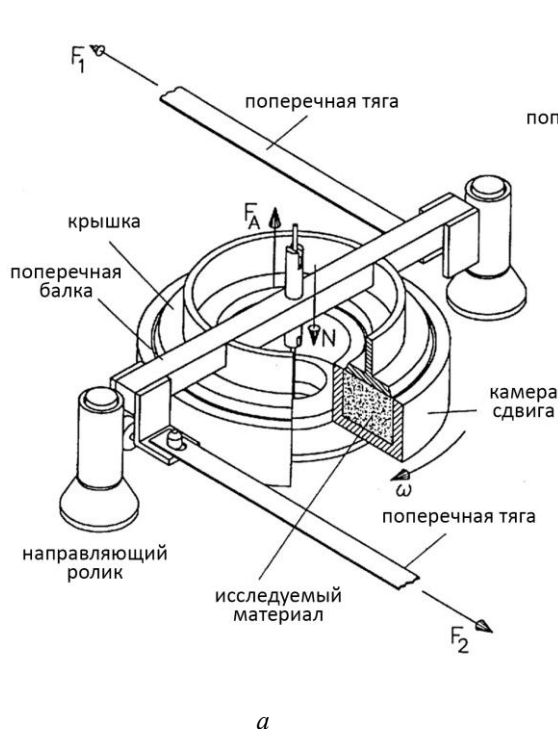


а

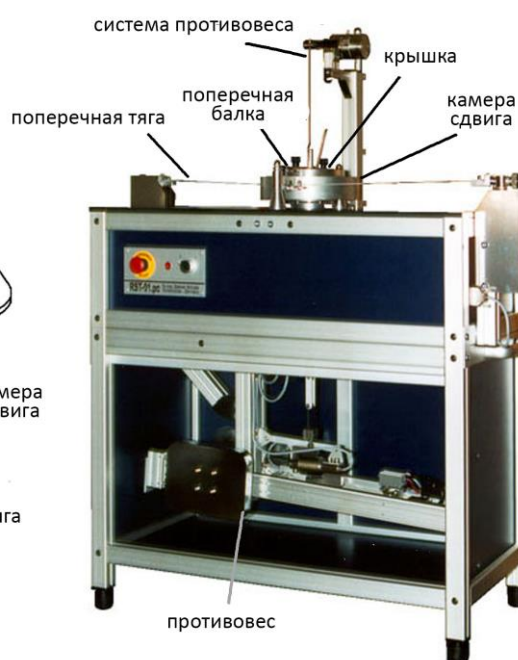


б

**Рис. 1.** Анализатор влажности Mettler Toledo HG 63 (а) и распечатанные результаты эксперимента (б).  
**Fig. 1.** The moisture analyzer Mettler Toledo HG 63 (a) and printed out results of the experiment (b).



а



б

**Рис. 2.** Прибор кольцевого сдвига Шульца RST-01.PC для определения коэффициента трения: (а – схема; б – общий вид)

**Fig. 2.** The Schultz's an annular shear device RST-01.PC for determining the coefficient of friction: (a – scheme; б – general view)

Во время сушки непрерывно контролировали массу образцов. Если в течение времени, заданного программой прибора, потеря массы образца во время сушки не превышала заранее заданного значения  $\Delta m$ , то испытания считали законченными, а результаты распечатывали (рис. 1, б).

По результатам измерений трех образцов относительная влажность семян льна составляла  $\psi = 10 \dots 13\%$ , а жмыха –  $\psi = 10 \dots 13\%$ .

Определение значений углов  $\varphi$  и коэффициентов трения скольжения  $f$  проведены на приборе RST-01.PC (рис. 2) в лаборатории Института агрофизики Польской академии наук (г. Люблин, Республика Польша).

Перед началом работы производили настройку программного обеспечения прибора Шульца RST-

01.PC: задавали количество различных значений нормальных нагрузок и давление для каждого значения. Для всех случаев было избрано пять различных значений нормальных нагрузок, которые соответствовали нормальным давлениям (нормальным напряжениям)  $\sigma_n = 1000$  Па,  $\sigma_n = 2000$  Па,  $\sigma_n = 4000$  Па,  $\sigma_n = 8000$  Па и  $\sigma_n = 16000$  Па. Поскольку площадь контакта материала с металлическими пластинами одинаковых размеров была известна, то для каждого значения давления автоматически рассчитывалась необходимая нормальная нагрузка  $N$ .

Перед началом каждого эксперимента на электронных весах Axis с точностью до 0,01 г определяли массу камеры сдвига с металлической пластиной, засыпали материал (семена льна или макуху) в камеру сдвига и определяли массу материала вместе с камерой (рис. 3). Данные взвешиваний также вноси-

ли в соответствующие текстовые поля программной среды прибора Шульца. Таким образом, учитывалось влияние массы семян или макухи, которая в каждом отдельном случае была неодинакова, а также влияние масс пластин различных материалов, которые в свою очередь также были неодинаковыми, на изменение нормальной нагрузки, что учитывалось во время расчёта углов и коэффициентов трения.



**Рис. 3.** Взвешивание исследуемого материала на электронных весах Axis

**Fig. 3.** Weighting the test material on the electronic balance Axis

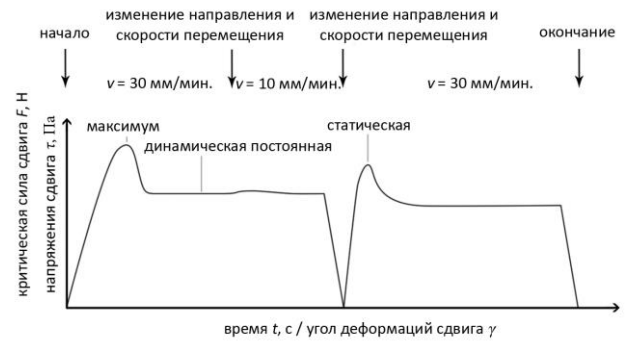
Далее работа прибора происходила в автоматическом режиме в такой последовательности. Камера с исследуемым материалом предварительно нагружалась нормальным усилием  $N$  для создания давления 500 Па с целью его уплотнения. Нормальную нагрузку  $N$  увеличивали до достижения очередного (из предварительно заданного списка) значения нормальных напряжений сжатия  $\sigma_n$ . Когда необходимая нормальная нагрузка была создана, камера сдвига начинала вращательное движение по часовой стрелке со скоростью 30 мм/мин., которое длилось 3 минуты.

По истечении этого времени направление движения изменяли на противоположенное с другой скоростью 10 мм/мин.

Во время эксперимента датчиками непрерывно фиксировали значения критической силы сдвига  $F(t)$ , рассчитывали критические напряжения  $\tau(t)$  и углы деформаций сдвига  $\gamma$ , которые им соответствовали. Результаты измерений и расчётов выводились на монитор (рис. 4) и записывались в отдельный файл результатов для заданного значения  $\sigma_n$ . Цикл изменения направления и скорости вращательного движения повторяли трижды для каждого значения  $\sigma_n$ .

В начальный момент движения, а также после восстановления движения в противоположенном направлении и с измененной скоростью, критиче-

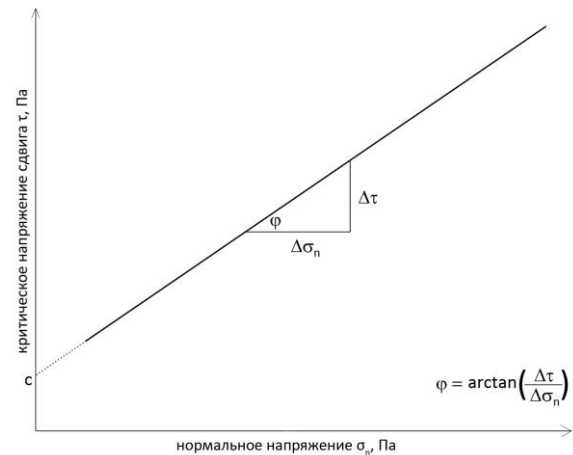
ское усилие сдвига  $F(t)$ , которое фиксировали датчики, и, соответственно, напряжения сдвига  $\tau(t)$ , которые рассчитывались, достигали максимальных значений, соответствующих трению покоя. После начала движения критические усилия сдвига  $F(t)$  и, соответственно, критические напряжения сдвига  $\tau(t)$  несколько уменьшались и стабилизировались на уровне, который соответствует трению скольжения (рис. 4).



**Рис. 4.** Изменение критической силы сдвига (напряжений сдвига  $\tau$ ) от угла деформации сдвига  $\gamma$  для сыпучих материалов

**Fig. 4.** Change of the critical shear force (shear stress  $\tau$ ) on the angle of shear deformation  $\gamma$  for bulk materials

После окончаний эксперимента для каждого из пяти принятых значений  $\sigma_n$  программное обеспечение прибора рассчитывало средние значения критических напряжений сдвига  $\tau$ , сохраняло результаты в файл, а на монитор выводился график (рис. 5) для расчёта угла трения  $\phi$  и коэффициента трения  $\mu$ .



**Рис. 5.** Зависимость средних критических напряжений сдвига  $\tau$  от нормального напряжения  $\sigma_n$

**Fig. 5.** The dependence of the average critical shear stress  $\tau$  from the normal pressure  $\sigma_n$

Для расчётов программное обеспечение прибора принимает линейный характер зависимости критических напряжений сдвига  $\tau$  от нормального давления  $\sigma_n$ . Экстраполяция линий регрессии для  $\sigma_n = 0$  дает  $(\tau = c) > 0$ .

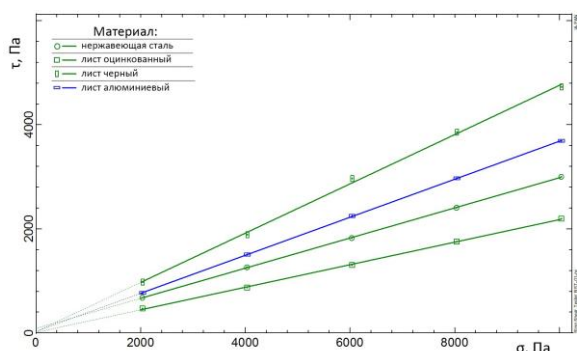
Величину  $c$ , которая характеризует плотность материала под некоторым начальным давлением (в нашем случае 500 Па), называют когезией [10].

Коэффициент  $\mu$  и угол трения  $\varphi$  определялись из соотношения:

$$\mu = \frac{\Delta\tau}{\Delta\sigma_n} \operatorname{tg}\varphi. \quad (1)$$

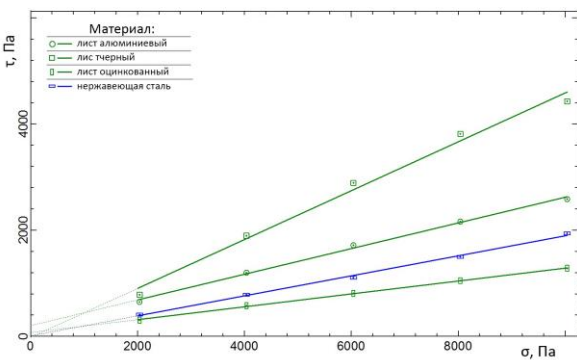
Поскольку рабочие органы шнековых прессов (шнек, зейер, питательный бункер, нагнетательный шнек), изготовлены из разных материалов, то в исследованиях использованы листовые поверхности необработанной стали, оцинкованной стали, нержавеющей стали и алюминия.

Результаты экспериментов обрабатывались программным обеспечением измерительного прибора *RST-01.PC* и выводились на устройства внешнего вывода в виде зависимостей (рис. 6, 7).



**Рис. 6.** Зависимости для определения углов трения скольжения жмыха льна по поверхностям разных материалов

**Fig. 6.** Dependencies to determine the angle of sliding friction of flax meal on the surfaces of different materials



**Рис. 7.** Зависимости для определения углов трения скольжения семян льна по поверхностям разных материалов

**Fig. 7.** Dependencies to determine the angle of sliding friction of flax seeds on the surfaces of different materials

Значения коэффициентов сухого трения скольжения семян и жмыха льна, полученные в результате экспериментальных исследований, приведены в табл. 1.

В первую очередь следует отметить, что в общем случае значения коэффициентов сухого трения скольжения для жмыха льна выше, чем для семян. Во-вторых, значения коэффициентов сухого трения скольжения жмыха и семян льна по поверхностям разных материалов существенно

отличаются. В частности, максимальные значения коэффициента трения скольжения получены для поверхности необработанной стали, а минимальные – для поверхности оцинкованной стали (табл. 1).

**Таблица 1.** Результаты определения значений коэффициента трения скольжения семян и жмыха льна

**Table 1.** The results of determining the values of the coefficient of sliding friction of flax seeds and their cakes

Поверхность листового материала	Материал			
	жмых льна		семена льна	
	Угол трения скольжения, $\varphi$	Коэффициент трения скольжения, $\mu$	Угол трения скольжения, $\varphi$	Коэффициент трения скольжения, $\mu$
Необработанная сталь	25,3°	0,47	24,7°	0,46
Алюминий	20,1°	0,36	13,6°	0,24
Нержавеющая сталь	16,1°	0,28	10,7°	0,19
Оцинкованная сталь	12,2°	0,21	6,9°	0,12

## ВЫВОДЫ

Значения коэффициентов трения скольжения жмыха и семян льна существенно различаются в зависимости от того, по поверхности какого материала происходит скольжение, что необходимо учитывать в проектных расчётах машин и оборудования. Коэффициент сухого трения скольжения для жмыха льна выше, чем для семян льна. Наиболее существенная разница между значениями коэффициентов трения получена для условий трения скольжения по поверхности оцинкованной стали, а наименее существенная – для условий трения скольжения по поверхности необработанной стали. Полученные результаты дают возможность рационального выбора материалов для рабочих органов машин, а также могут быть использованы для обоснования рациональных режимов многократного отжима масляного сырья шнековыми прессами.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузьминский Р.Д., Василькевич В.О. 2011. Определение коэффициента трения семян масляного льна по стальным поверхностям различной шероховатости. Сборник научных статей ЛГТУ: Сельскохозяйственные машины. Вып.21. Т.1, 222–228. (Украина).
2. Патент №42802 U Украины, МПК В30В 9/02. Масличный пресс с системой активированной подачи семян / Р.С. Шевчук, В.О. Василькевич, В.В. Томюк. – Заявл. 08.01.2009; опубл. 27.07.2009, бюл. №14, 4 с. (Украина).

3. Шевчук Р.С., Василькевич В.О., Томюк В.В. 2009. Шнековый маслоотжимной пресс. Тракторы и сельхозмашины. №10, 11–12.
4. Хайлис Г.А. 1994. Механика растительных материалов. – Киев: УААН. – 150. (Украина).
5. Bagherpour H., Minaei S., and Khoshtaghaza M.H., 2010. Selected physico-mechanical properties of lentil seed. *Int. Agrophys.*, 24, 81-84.
6. Bargale P.C., Singh J. 2000. Oil expression characteristics of rapeseed for a small capacity screw press / *Journal of Food Science Technology*. V. 37. 130–134.
7. Coskuner Y., Karababa E. 2007. Some Physical Properties of Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). *J. Food Eng.*, 78: 1067–1073.
8. Gharibzahedi S.M.T., EtemadV., Mirarab-Razi J., and Fos'hat M., 2010. Study on some engineering attributes of pine nut (*Pinus pinea*) to the design of processing equipment. *Res. Agr. Eng.*, 56(3), 99-106.
9. Izli N., Unal H., and Sincik M., 2009. Physical and mechanical properties of rapeseed at different moisture content. *Int. Agrophys.*, 23, 137-145.
10. Mohsenin, N.N. 1978. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York, 891.
11. Safieddin Ardebili M., Najafi G., Ghobadian B., Tavakkoli Hashjin T. 2012. Determination of Some Mechanical Properties of Castor Seed (*Ricinus communis* L.) to Design and Fabricate an Oil Extraction Machine / *J. Agr. Sci. Tech*. Vol. 14: 1219-1227.
12. Ogunniyi D. S. 2006. Castor Oil: A Vital Industrial Raw Material. *J. Biores. Tech.*, 97: 1086-1091.
13. Olaoye J. O. 2000. Some Physical Properties of Castor Nut Relevant to Design of Processing Equipment. *J. Agr. Eng. Res.*, 77(1): 113–118.
14. Safieddin Ardebili M., Najafi G., Ghobadian B., Tavakkoli Hashjin T. 2012. Determination of Some Mechanical Properties of Castor Seed (*Ricinus communis* L.) to Design and Fabricate an Oil Extraction Machine / *J. Agr. Sci. Tech*. Vol. 14: 1219-1227.
15. Singh J. Bargale P.C. 1990. Mechanical expression of oil from linseed (*linum usitatissimum* L) / *Journal of Oil Seeds Research*. V. 7, 106–110.
16. Singh J., Bargale P.C. 2000. Development of a small capacity doublestage compression screwpress for oil expression. *Journal of Food Engineering*. V. 43, 75–82.
17. Sacilik K., Ozturk R., and Keskin R., 2003. Some physical properties of hemp seed. *Biosyst. Eng.*, 86, 191-198.
18. Zheng Y.I., Wiesenborn D.P., Tostenson K., Kangas N. 2003. Screw pressing of whole and dehulled flax seed for organic oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. V.80, 1039-1045.
19. Zheng Y.I., Wiesenborn D.P., Tostenson K., Kangas N. 2005. Energy analysis in the screw pressing of whole and dehulled flaxseed. *Journal of Food Engineering*. V. 66, 193–202.
20. Ковалишин С., Паранюк В., Дадак В., Соколюк В. 2012. Оценка и выявление новых признаков делимости мелкосеменных смесей сельскохозяйственных культур. *Motrol – 2012. Commission of motorization and energetic in agriculture*. Vol. 14, №4. 160–164. (Украина).
21. Sokolovskiy O., Kuz'minskiy R., Sheremeta R. 2012. Effect of relative humidity on the geometrical parameters of the seeds of wheat and rye. *Motorization and power industry in agriculture. Motrol – 2012*. T. 14, 65–70.

COMPARISON OF THE SLIDING FRICTION  
COEFFICIENT OF LINSEED OF OIL VARIETIES  
AND LINSEED OIL CAKE OVER THE SURFACE  
OF DIFFERENT METALS

**Summary.** The technique and results of studies on the device RST-01.PC coefficient of sliding friction of seeds and linseed varieties of cake on the surface of various metals, used for the manufacture of machinery and equipment in the pharmaceutical, food and processing industries, are presented. It is found that the values of the coefficients of sliding friction of flax seeds and their oil cake on the surface of various materials differ significantly. The coefficient of dry sliding friction for flax cakes is higher than for the flax seeds. The most significant difference between the values of the friction coefficients obtained for the conditions of sliding friction on the surface of galvanized steel, and the least significant – for the conditions of sliding friction on the surface of raw steel.

**Key words:** flax seeds, cake, metal surfaces, dry friction, the coefficient of sliding friction.