

УДК 631.9, 620.17

UDC 631.9, 620.17

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства

05.20.01 Technologies and means of agricultural mechanization

**МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ  
СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА**

**METHODS AND RESULTS OF THE SEED  
MATERIAL FRICTION COEFFICIENT  
DETERMINING USING AN AUTOMATED  
DEVICE**

Маркво Илья Анатольевич  
SPIN-код: 6091-6641  
*ФГБОУ ВО «Донской государственный  
технический университет», Ростов-на-Дону,  
Россия*

Markvo Ilya Anatolyevich  
SPIN-code: 6091-6641  
*Federal State Budgetary Educational Institution of  
Higher Education «Don State Technical University»*

Новиков Виталий Иванович  
SPIN-код: 6118-2261  
*ФГБОУ ВО «Донской государственный  
технический университет», Ростов-на-Дону,  
Россия*

Novikov Vitaly Ivanovich  
SPIN-code: 6118-2261  
*Federal State Budgetary Educational Institution of  
Higher Education «Don State Technical University»*

Зубрилина Елена Михайловна  
канд. техн. наук, доцент  
SPIN-код: 3173-8875  
*ФГБОУ ВО «Донской государственный  
технический университет», Ростов-на-Дону,  
Россия*

Zubrilina Elena Mikhailovna  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
SPIN-code: 3173-8875  
*Federal State Budgetary Educational Institution of  
Higher Education «Don State Technical University»*

Бескопыльный Алексей Николаевич  
д-р техн. наук, профессор  
SPIN-код: 1147-0478  
*ФГБОУ ВО «Донской государственный  
технический университет», Ростов-на-Дону,  
Россия*

Beskopylny Alexey Nikolaevich  
Doctor of Technical Sciences, Professor  
SPIN-code: 1147-0478  
*Federal State Budgetary Educational Institution of  
Higher Education «Don State Technical University»*

Высочкина Любовь Игоревна  
канд. техн. наук, доцент  
SPIN-код: 3608-6717  
*ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный  
аграрный университет», Ставрополь, Россия*

Vysochkina Lyubov Igorevna  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
SPIN-code: 3608-6717  
*Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia*

В статье рассмотрена методика автоматизированного определения коэффициента трения на примере семян пропашных культур о поверхности различных видов, включая современные полимерные и композиционные материалы. Выявлено, что коэффициент трения характеризует фрикционные свойства семян, возникающие в процессе механического воздействия при уборке, транспортировании, хранении и переработке, а также изменяется с течением времени в зависимости от состояния поверхностей, времени контакта, влажности, скорости относительного перемещения и других параметров. Обозначена проблема, заключающаяся в отсутствии значений коэффициентов трения покоя и динамических коэффициентов трения для полимерных и композиционных материалов,

The article describes the automated method of friction coefficient determination of row crops seeds using different types of surface, including modern polymer and composite materials. It is revealed that the friction coefficient characterizes the friction properties of seeds arising in the process of mechanical action during harvesting, transportation, storage and processing, as well as changes over time depending on the state of the surfaces, contact time, humidity, relative velocity and other parameters. The problem of lack of friction coefficients values for rest and dynamic friction coefficients for the polymeric and composite materials which are actively applied today at industrial production of agricultural machinery is designated. The design and general view of the device which helps to determine friction coefficient excluding the human factor (operator error) are presented. The

активно применяемых сегодня при промышленном производстве сельскохозяйственной техники. Представлена конструкция и общий вид устройства, позволяющего осуществлять определение коэффициента трения, исключая человеческий фактор (ошибка оператора). Описан принцип действия разработанного прибора и приведена методика обработки экспериментальных данных. Получены экспериментальные данные и проведена статистическая обработка для выявления статического и динамического коэффициентов трения посевного материала. Построены интегральные ( $F(\sigma)$ ) и дифференциальные ( $f(\sigma)$ ) кривые распределения средних значений коэффициента трения для пар «вид семенного материала – тип фрикционной поверхности»

Ключевые слова: КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ, ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, СЕЯЛКА ТОЧНОГО ВЫСЕВА, ПРОПАШНЫЕ КУЛЬТУРЫ, СЕМЯПРОВОД

operation principle of the developed device is described and the processing method of experimental data is given. Experimental data were obtained and statistical processing was carried out to identify the static and dynamic friction coefficients of seeds. Integral ( $F(\sigma)$ ) and differential ( $f(\sigma)$ ) graph for the distribution of friction coefficient average values for pairs "type of seed material – type of friction surface" are constructed

Keywords: FRICTION COEFFICIENT, MEASUREMENT PROCESS AUTOMATION, POLYMERIC MATERIALS, COMPOSITE MATERIALS, PRECISION SEEDER, ROW CROPS, SEEDTUBE

Doi: 10.21515/1990-4665-147-002

Эффективность технологий возделывания зерновых и пропашных культур, являющихся основой сельскохозяйственного производства большинства развитых стран, в значительной степени зависит от агротехнических показателей, сроков их посева, технологий и технических средств механизации и автоматизации. Поэтому совершенствование посевной техники, ее конструктивная доводка, повышение эксплуатационных и технологических показателей всегда было и остается по сей день актуальной задачей [1]. Текущее состояние сельскохозяйственного машиностроения говорит об увеличении доли деталей и механизмов, изготовленных из различных полимерных и композиционных материалов, в том числе в сеялках.

Задачи исследования:

- обосновать целесообразность исследований по определению фрикционных свойств семян пропашных культур в процессе транспортирования по современным видам материалов (полимерные и

композиционные)

- спроектировать и изготовить прототип устройства, обеспечивающего заданную точность результатов измерений по определению коэффициента трения посевного материала о различные типы поверхностей;

- определить среднее значение статического коэффициента трения о поверхности из полимерных и композиционных материалов и сравнить с материалами, используемыми на данный момент при промышленном производстве сельскохозяйственной техники, а также рассчитать динамический коэффициент трения.

Коэффициент трения характеризует фрикционные свойства семян, возникающие в ходе выполнения операций технологических процессов (транспортирование, посев, уборка, хранение, переработка) и изменяющихся внешних и внутренних факторов, воздействующих на них (состояния поверхности, время контакта, влажность, скорость относительного перемещения и другие) [2]. Однако в литературных источниках отсутствует информация по коэффициентам трения посевного материала о полимерные и композиционные поверхности.

При разработке конструкции пропашной сеялки с семяпроводом из полимерного материала [3] наш коллектив столкнулся с такой же проблемой. Существует ряд установок [4, 5, 6], определяющих коэффициент трения, в основе которых заложена типовая методика определения коэффициента трения покоя на установке «наклонная плоскость». Существенным недостатком всех этих устройств является необходимость механической настройки рабочей поверхности и, как следствие, возможное наличие ошибок. В связи с этим для исследования коэффициентов трения посевного материала различных пропашных культур о разные виды поверхностей нами было разработано автоматизированное устройство для определения коэффициента трения семян (рисунок 1).

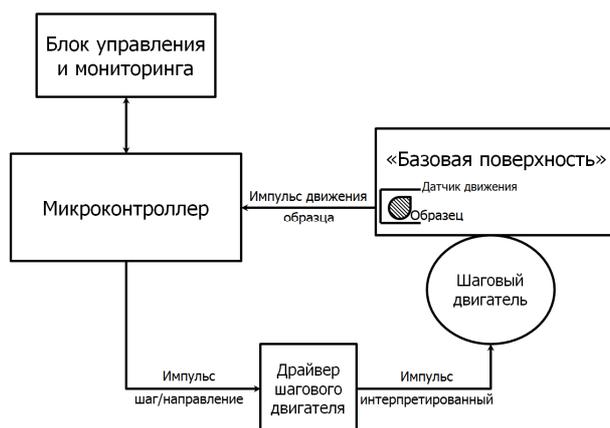


Рисунок 1. Схема функциональная устройство для определения коэффициента трения семян

Устройство (рисунок 1) состоит из основания с расположенным на нем шаговым двигателем с возможностью точной настройки угла поворота. Двигатель соединён поворотным механизмом с рабочим столом, на который устанавливается и закрепляется (для фиксации момента начала движения) исследуемая поверхность («базовая поверхность»). На основании расположен блок управления и мониторинга с индикационной панелью. Конструктивно шаговый двигатель с возможностью точной настройки угла поворота жёстко закреплён на основании винтовым креплением, блок управления и мониторинга с индикационной панелью также жёстко закреплён на основании винтовым креплением и имеет электрическое соединение с шаговым двигателем и емкостным датчиком для фиксации момента начала движения.

Принцип действия разработанного прибора CF-1 [7] (рисунок 2) также основан на стандартной методике определения коэффициента трения покоя на установке «наклонная плоскость» [8]. Применение в конструкции шагового двигателя и отсчётного устройства, выполненного на микроконтроллере, позволило исключить человеческий фактор (ошибка оператора) при определении угла наклона исследуемой поверхности, а за счёт программно заложенного алгоритма вычислять коэффициент трения.

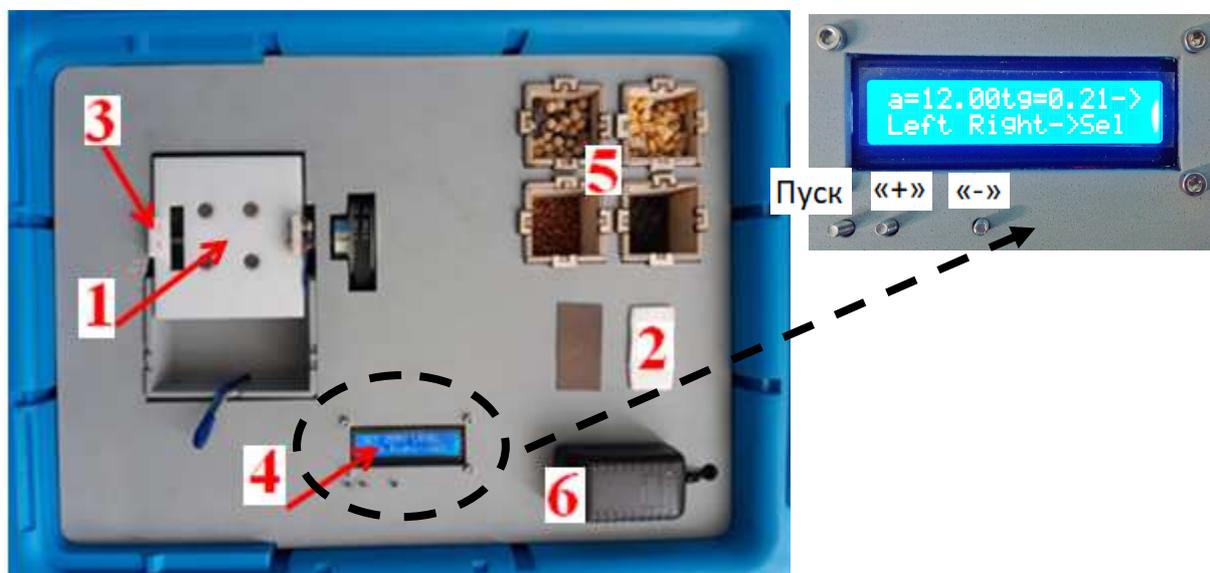
Для определения коэффициента трения на приборе CF-1 необходимо:

1) включить устройство для автоматизированного определения коэффициентов трения семян по средствам блока питания 6;

2) выставить рабочий стол 1 параллельно основанию при помощи уровня, для этого уровень положить на рабочий стол и кнопками «+» или «-» блок управления и мониторинга с индикационной панелью 4 выставить начальное нулевое положение;

3) закрепить исследуемую поверхность 2 на рабочий стол 1;

4) установить на поверхность 2 исследуемый материал 5;



- 1 – рабочий стол; 2 – исследуемая поверхность; 3 – датчик движения;  
 4 – блок управления и мониторинга с индикационной панелью;  
 5 – исследуемые образцы (например, семена различных пропашных культур); 6 – блок питания прибора

Рисунок 2. Общий вид прибора CF-1

5) исследуемый материал 5 (в качестве материала для исследования были взяты семена пропашных культур) следует поместить непосредственно перед датчиком 3 и убедиться в том, что датчик зафиксировал наличие образца (в рассматриваемом примере – семя), в качестве индикации «горят» два зелёных светодиода; если индикация отсутствует, то необходимо отрегулировать чувствительность срабатывания датчика поворотом винта на датчике движения 3;

6) нажать кнопку «Пуск» на блоке управления и мониторинга;

7) считать показания с индикационной панели 4: угол поворота  $a$ , при котором исследуемое семя начало движение и статический коэффициент трения  $f_{cm}$  (коэффициент трения покоя), равный тангенсу угла поворота.

Далее обработка данных осуществляется по известной методике [9]. Полученные экспериментальные результаты ранжируются, составляется вариационный ряд средних значений.

При построении гистограммы начало рассеивания определяется по формуле:

$$C = \bar{x}_1 - 0,5 \cdot \left( \frac{\bar{x}_{\max} - \bar{x}_{\min}}{n} \right), \quad (1)$$

где  $\bar{x}_1$  – значение параметра в первой точке информации.

После определения значений опытных вероятностей, накопленных опытных вероятностей, среднего значения и среднее квадратического отклонения, находится коэффициент вариации в интервале варьирования значений показателя по формуле:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X} - C}, \quad (2)$$

где  $\sigma$  - среднее квадратическое отклонение,

$\bar{X}$  - среднее значение коэффициента трения семян о рабочую поверхность равно

$$\bar{X} = \sum_1^n \bar{x}_{cpi} \cdot P_i, \quad (3)$$

где  $\bar{x}_{cpi}$  – значение коэффициента трения в середине  $i$ -го интервала (середина  $i$ -го интервала),

$P_i$  – опытная вероятность в  $i$ -ом интервале.

В дальнейшем проводится проверка информации на наличие

выпадающих точек и выбирается теоретический закон распределения по значению коэффициента вариации (в основном в качестве теоретического используют закон нормального распределения ( $V < 0,3$ ) и закон распределения Вейбулла ( $V > 0,5$ )). В случае, когда коэффициент вариации в интервале варьирования находится в диапазоне от 0,3 до 0,5, окончательный выбор теоретического закона распределения выполняют с помощью критерия согласия.

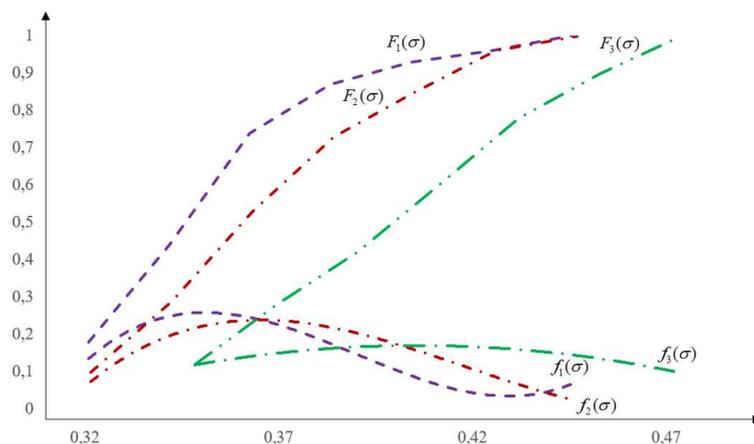
В дальнейшем осуществляется графическое построение опытного распределения, дифференциальной и интегральной функций распределения значений коэффициентов трения.

На приборе CF-1 нами был проведён лабораторный опыт по определению значений коэффициентов трения разного вида семенного материала о различные рабочие поверхности. Эксперимент проводился на некалиброванных семенах кукурузы, гороха и подсолнечника средней фракции. В качестве рабочих поверхностей были взяты:

- инженерный ударопрочный пластик ABS (акрилонитрилбутадиенстирол);
- многослойный полипропилен (ГОСТ 32415-2013);
- многослойный полипропилен, армированный стекловолокном (ГОСТ 32415-2013).

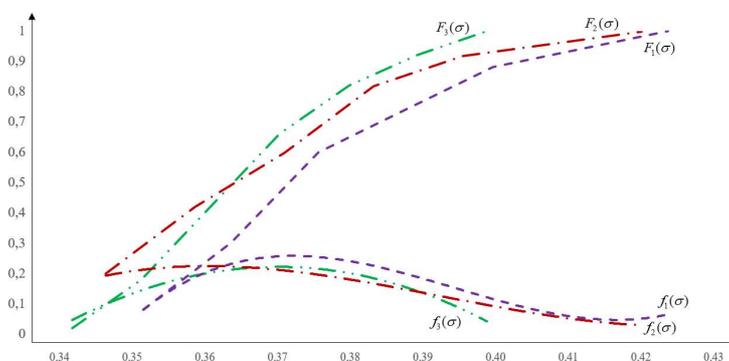
Каждый опыт проводился с трёхкратной повторностью, число семян в каждой повторности — 50 шт.

Полученные данные были обработаны программно-статистическим комплексом Microsoft Office и построены интегральная ( $F(\sigma)$ ) и дифференциальная ( $f(\sigma)$ ) кривые распределения средних значений коэффициента трения для соответствующих пар «вид семенного материала – тип поверхности» (рисунок 3-5). Дифференциальные кривые определялись с использованием функции создания тренда, полученные уравнения представлены в соответствующих таблицах.



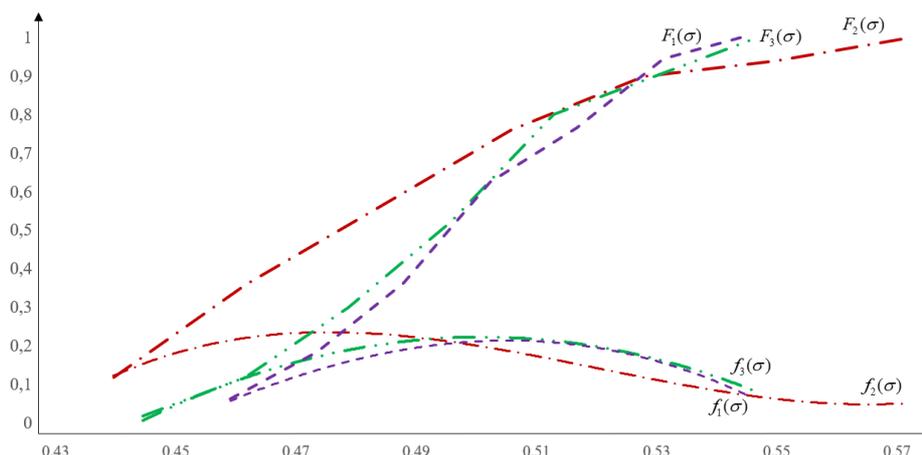
Условное обозначение	тип поверхности	
	полученные, с использованием функции создания тренда, уравнения	
— — — — —	пластик ABS	
	$y = 0,0083x^3 - 0,1083x^2 + 0,3805x - 0,1457$	
- - - - -	многослойный полипропилен	
	$y = 0,0039x^3 - 0,0655x^2 + 0,2935x - 0,1571$	
- . . . -	многослойный армированный полипропилен	
	$y = -0,0069x^2 + 0,0517x + 0,0743$	

Рисунок 3. Интегральная ( $F(\sigma)$ ) и дифференциальная ( $f(\sigma)$ ) кривые распределения средних значений коэффициента трения для пары «кукуруза – тип поверхности»



Условное обозначение	тип поверхности	
	полученные, с использованием функции создания тренда, уравнения	
— — — — —	пластик ABS	
	$y = 0,0034x^3 - 0,0509x^2 + 0,1953x$	
- - - - -	многослойный полипропилен	
	$y = 0,0028x^3 - 0,0395x^2 + 0,1306x + 0,1$	
- . . . -	многослойный армированный полипропилен	
	$y = -0,0198x^2 + 0,1574x - 0,0914$	

Рисунок 4. Интегральная ( $F(\sigma)$ ) и дифференциальная ( $f(\sigma)$ ) кривые распределения средних значений коэффициента трения для пары «горох – тип поверхности»



Условное обозначение	тип поверхности	
	полученные, с использованием функции создания тренда, уравнения	
— — — — —	пластик ABS	
	$y = -0,0006x^3 - 0,01x^2 + 0,1134x - 0,0486$	
- - - - -	многослойный полипропилен	
	$y = 0,0056x^3 - 0,0776x^2 + 0,2925x - 0,0971$	
- · - · -	многослойный армированный полипропилен	
	$y = -0,0198x^2 + 0,1702x - 0,1429$	

Рисунок 5. Интегральная ( $F(\sigma)$ ) и дифференциальная ( $f(\sigma)$ ) кривые распределения средних значений коэффициента трения для пары «подсолнечник – тип поверхности»

По результатам лабораторных исследований получены числовые значения коэффициентов трения семян о поверхности и определены коэффициента динамического трения  $f_{\sigma}$  для семян пропашных культур с усреднённым значением  $f_{\sigma} = 0,65f_{cm}$  [10] (таблица 1).

**Таблица 1. Значения статических и динамических коэффициентов трения ( $f_{cm} / f_{\sigma}$ )**

Вид семенного материала	Тип фрикционной поверхности		
	пластик ABS	многослойный полипропилен	многослойный полипропилен, армированный стекловолокном
Кукуруза	0,35 / 0,23	0,36 / 0,23	0,38 / 0,25
Горох	0,38 / 0,25	0,37 / 0,24	0,37 / 0,24
Подсолнечник	0,48 / 0,31	0,51 / 0,33	0,54 / 0,35

Устройство для определения коэффициенты трения семян (прибор СФ-1) позволяет автоматически и с заданной точностью измерений определять

коэффициенты трения различных типов семенного материала о различные поверхности с высокой производительностью. Результаты экспериментальных исследований использованы при разработке математической модели процесса управления качеством высева, а также при обосновании выбора материалов отдельных элементов конструкции экспериментальной модели высевающего аппарата.

#### Литература

1 Маркво И.А., Зубрилина Е.М., Новиков В.И. Анализ тенденций развития и необходимых направлений модернизации в сфере производства сеялок точного высева с пневмосемяпроводами // Вестник АПК Ставрополя. - 2018. - Том №4 (32). - С. 18-25.

2 Бузенков Г. М., Ма С. А. Машины для посева сельскохозяйственных культур. - М.: Машиностроение, 1976.

3 Пат. № 175130 Российская Федерация, МПК А01С 7/04. Пневматический высевающий аппарат / Зубрилина Е. М., Маркво И. А., Набокина М. А., Каргина А. В., М. Г. Бородаева ; заявитель и патентообладатель Маркво И. А.. № 2016141247 ; заявл. 19.10.2016 ; опубл. 22.11.2017, Бюл. № 33.

4 Пат. № 573739 СССР, G 01 N 19/02. Устройство для определения коэффициента трения семян / Заика П. М., Мазнев Г. Е., Бакум В. В., Бакум В. Ф. ; заявитель и патентообладатель Харьковский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. № 2147817/15 ; заявл. 23.06.1975 ; опубл. 25.09.1977, Бюл. № 35.

5 Пат. № 1270643 СССР, G 01 N 3/56. Установка для определения предельного угла подъема сыпучего материала / Мазнев Г. Е., Задниченко С. В. ; заявитель и патентообладатель Харьковский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. № 3854579/25-28 ; заявл. 07.12.1984 ; опубл. 15.11.1986, Бюл. № 42.

6 Зубрилина Е. М., Маркво И. А., Минеев А. А., Павлов П. П. Устройство для автоматизированного определения коэффициентов трения семян // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: сб. ст.10-й между-ой науч.-практич. конф. в рамках 20-й между-ой агропром. выст. «Интерагромаш-2017». - Ростов-на-Дону: 2017. - С. 155-156.

7 Пат. № 2679761 Российская Федерация, МПК G01N 19/02. Устройство для определения коэффициента трения семян / Е. М. Зубрилина, П. П. Павлов, И. А. Маркво, А. А. Минеев, В. И. Новиков ; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет», (ДГТУ). № 2018111987 ; заявл. 03.04.2018 ; опубл. 12.02.2019, Бюл. № 5.

8 Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. - М.: Машиностроение, 1977.

9 Основы надежности машин / Зубрилина Е. М., Жевора Ю. И., Лебедев А. Т., Лебедев А. Т. и др. - Ставрополь: АГРУС, 2010. – 120 с.

10 Зубрилина Е. М., Спирочкин А. А. Определение коэффициента трения семян по семяпроводу // Молодые аграрии Ставрополя: 75-я научно-практическая студенческая конференция. - Ставрополь: 2011. - С. 107-110.

## References

- 1 Markvo I.A., Zubrilina E.M., Novikov V.I. Analiz tendencij razvitija i neobhodimyh napravlenij modernizacii v sfere proizvodstva sejalok tochnogo vyseva s pnevmosemjaпроводами // Vestnik APK Stavropol'ja. - 2018. - Tom #4 (32). - S. 18-25.
- 2 Buzenkov G. M., Ma S. A. Mashiny dlja poseva sel'skohozjajstvennyh kul'tur. - M.: Mashinostroenie, 1976.
- 3 Pat. # 175130 Rossijskaja Federacija, MPK A01S 7/04. Pnevmaticheskij vysevajushhij apparat / Zubrilina E. M., Markvo I. A., Nabokina M. A., Kargina A. V., M. G. Borodaeva ; zajavitel' i patentoobladatel' Markvo I. A.. # 2016141247 ; zajavl. 19.10.2016 ; opubl. 22.11.2017, Bjul. # 33.
- 4 Pat. # 573739 SSSR, G 01 N 19/02. Ustrojstvo dlja opredelenija koeficienta trenija semjan / Zaika P. M., Maznev G. E., Bakum V. V., Bakum V. F. ; zajavitel' i patentoobladatel' Har'kovskij institut mehanizacii i jelektrifikacii sel'skogo hozjajstva. # 2147817/15 ; zajavl. 23.06.1975 ; opubl. 25.09.1917, Bjul. # 35.
- 5 Pat. # 1270643 SSSR, G 01 N 3/56. Ustanovka dlja opredelenija prndnl'nogo ugla pod"joma sypuchego materiala / Maznev G. E., Zadnichenko S. V. ; zajavitel' i patentoobladatel' Har'kovskij institut mehanizacii i jelektrifikacii sel'skogo hozjajstva. # 3854579/25-28 ; zajavl. 07.12.1984 ; opubl. 15.11.1986, Bjul. # 42.
- 6 Zubrilina E. M., Markvo I. A., Mineev A. A., Pavlov P. P. Ustrojstvo dlja avtomatizirovannogo opredelenija koeficientov trenija semjan // Sostojanie i perspektivy razvitija sel'skohozjajstvennogo mashinostroenija: sb. st.10-j mezhd-oj nauch.-praktich. konf. v ramkah 20-j mezhd-oj agroprom. vyst. «Interagromash-2017». - Rostov-na-Donu: 2017. - S. 155-156.
- 7 Pat. # 2679761 Rossijskaja Federacija, MPK G01N 19/02. Ustrojstvo dlja opredelenija koeficienta trenija semjan / E. M. Zubrilina, P. P. Pavlov, I. A. Markvo, A. A. Mineev, V. I. Novikov ; zajavitel' i patentoobladatel' federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovanija «Donskoj gosudarstvennyj tehničeskij universitet», (DGTU). # 2018111987 ; zajavl. 03.04.2018 ; opubl. 12.02.2019, Bjul. # 5.
- 8 Kragel'skij I. V., Dobychin M. N., Kombalov V. S. Osnovy raschetov na trenie i iznos. - M.: Mashinostroenie, 1977.
- 9 Osnovy nadezhnosti mashin / Zubrilina E. M., Zhevora Ju. I., Lebedev A. T., Lebedev A. T. i dr. - Stavropol': AGRUS, 2010. – 120 s.
- 10 Zubrilina E. M., Spirochkin A. A. Opredelenie koeficienta trenija semjan po semjaprovodu // Molodye agrarii Stavropol'ja: 75-ja nauchno-praktičeskaja studenčeskaja konferencija. - Stavropol': 2011. - S. 107-110.