

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОРТИРОВОЧНОГО УСТРОЙСТВА ПРИ ОЧИСТКЕ СЕМЯН ЛЮЦЕРНЫ

**ЛИ АФАНАСИЙ**, докт. техн. наук, старший научный сотрудник<sup>1</sup>

E-mail: as\_lee@mail.ru

**АЛДОШИН НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ**, докт. техн. наук, профессор<sup>2</sup>

E-mail: cxm.msau@yandex.ru

**ПЛЯКА ВАЛЕРИЙ ИВАНОВИЧ**, канд. техн. наук, доцент<sup>2</sup>

E-mail: cxm.msau@yandex.ru

<sup>1</sup> Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства; 100000, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Кары Ниязова, 39

<sup>2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Целью исследования являлось повышение эффективности работы диэлектрического сортировочного устройства для очистки семян люцерны путём совершенствования конструкции дозатора очищаемого вороха. С помощью общих законов механики, математического моделирования и статистики выполнены теоретические исследования по моделированию движения вороха в диэлектрическом сортировочном устройстве при очистке семян люцерны. Компоненты вороха семян люцерны имеют различные технологические свойства, что определяет различие их траекторий при движении в устройстве. Определены условия отрыва и характер движения частицы семенного вороха по кожуху и скатной доске. Установлено, что при диаметре барабана 120 мм и угловой скорости 5,22 рад/с угол отрыва частицы семенного вороха от поверхности дозирующего барабана будет равен 80°. Поэтому дозируемый ворох необходимо локализовать и направлять на поверхность диэлектрического барабана с помощью дополнительного приспособления, состоящего из кожуха и скатной доски. Для этих условий с целью обеспечения равномерной подачи очищаемого вороха на диэлектрический барабан сортировочного устройства определены координаты соединения кожуха со скатной доской:  $x_c = 24,63$  мм и  $y_c = -58,02$  мм, при этом угол наклона скатной доски к горизонтальной плоскости составит  $\alpha = \arctg 0,4245$ .

**Ключевые слова:** семена люцерны, бобы, диэлектрическое сортировочное устройство, дозатор.

**Формат цитирования:** Ли А., Алдошин Н.В., Пляка В.И. Моделирование работы диэлектрического сортировочного устройства при очистке семян люцерны // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. № 6(94). С. 10-13. DOI: 10.34677/1728-7936-2019-6-10-13.

## MODELING THE OPERATION OF A DIELECTRIC SORTING DEVICE FOR THE PURIFICATION OF ALFALFA SEEDS

**AFANASIY LI**, DSc (Eng), Senior Research Engineer<sup>1</sup>

E-mail: as\_lee@mail.ru

**NIKOLAI V. ALDOSHIN**, DSc (Eng), Professor<sup>2</sup>

E-mail: cxm.msau@yandex.ru

**VALERYI. PLYAKA**, PhD (Eng), Associate Professor<sup>2</sup>

E-mail: cxm.msau@yandex.ru

<sup>1</sup> Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers; 100000, Uzbekistan, Tashkent, Kara Niyazova Str., 39

<sup>2</sup> Russian Timiryazev State Agrarian University; 127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

The study aimed at increasing the efficiency of a dielectric sorting device for cleaning alfalfa seeds by improving the design of a cleaned heap batcher. Using the general laws of mechanics, mathematical modeling and statistics, the authors carried out theoretical studies to model the movement of a heap in a dielectric sorting device when cleaning alfalfa seeds. The components of the heap of alfalfa seeds have various technological properties, which determine the difference in their trajectories during their movement inside the device. The authors determined separation conditions and the travel pattern of seed heap components passing through a casing and a chute board. It was found that at a drum diameter of 120 mm and an angular velocity of 5.22 rad/s, the separation angle of the seed heap components from the metering drum surface will amount to 80°. Therefore, the metered heap must be localized and directed to the dielectric drum

surface using an additional device consisting of a casing and a chute board. Under these conditions, in order to ensure uniform supply of the cleaned heap to the dielectric drum of a sorting device, the connection coordinates of the casing with the chute board were determined as:  $x_c = 24.63$  mm and  $y_c = -58.02$  mm, while the inclination angle of the chute board to the horizontal plane is  $\alpha = \arctg 0.4245$ .

**Key words:** alfalfa seeds, beans, dielectric sorting device, metering device.

**For citation:** Li A., Aldoshin N.V., Plyaka V.I. Modeling the operation of a dielectric sorting device for the purification of alfalfa seeds. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2019; 6(94): 10-13. DOI: 10.34677/1728-7936-2019-6-10-13 (In Rus.).

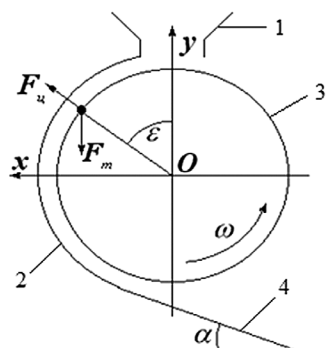
**Введение.** В сельскохозяйственном производстве проводятся широкомасштабные мероприятия по снижению затрат труда и энергии, экономии ресурсов, переработки сельскохозяйственной продукции на основе прогрессивных технологий и разработки энергосберегающих машин, в частности, особое внимание уделяется разработкам новых технических средств, обеспечивающих качественное выполнение технологических процессов очистки семян люцерны при минимальных затратах материальных средств. В этом направлении важным считается разработка диэлектрического сортировочного устройства, позволяющего очистить семена люцерны от карантинных включений.

Учитывая, что на сегодняшний день «...более 30 млн гектаров засевают люцерной по всему миру», то важна разработка энергосберегающих технологий и технических средств, направленных на снижение безвозвратных потерь семян при уборке и повышение качественной переработки семенного вороха. В этом аспекте разработка сортировочного устройства для очистки семян люцерны и внедрение его в сельскохозяйственное производство является важной и востребованной задачей.

**Цель исследований** – повышение эффективности работы диэлектрического сортировочного устройства для очистки семян люцерны, путем совершенствования конструкции дозатора очищаемого вороха.

**Материал и методы.** Теоретические исследования выполнены с использованием общих законов механики, математического моделирования и статистики.

**Результаты и обсуждение.** В результате периодических воздействий дозатора на ограничитель часть семенного вороха из бункера попадает в пространство между барабаном и кожухом. Ворох движется по желобкам дозирующего барабана с угловой скоростью  $\omega$  (рис. 1).



**Рис. 1. К определению условий отрыва частицы семенного вороха:**

1 – бункер; 2 – кожух; 3 – барабан дозатора; 4 – скатная доска

**Fig. 1. Determination of the separation conditions of seed heap components:**

1 – a hopper; 2 – a casing; 3 – a measuring drum; 4 – a chute board

Семенной ворох, находящийся в желобках дозирующего барабана, будем рассматривать как частицу с массой  $m$ . Тогда при движении частицы по кромке дозирующего барабана на неё действуют центробежная сила  $F_u$  и сила тяжести  $F_T$  [1, 2].

Отрыв частицы семенного вороха от поверхности дозирующего барабана произойдёт при условии [3, 4]:

$$F_u \geq F_T \cos \varepsilon, \tag{1}$$

где  $F_u$  – центробежная сила, Н;  $F_T$  – сила тяжести, Н;  $\varepsilon$  – угол отрыва частицы семенного вороха, градус.

После подстановки соответствующих выражений в формулу (1) получим следующее неравенство:

$$m \frac{d}{2} \omega^2 \geq mg \cos \varepsilon, \tag{2}$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ .

После преобразования неравенство (2) примет вид:

$$\cos \varepsilon \leq \frac{d \omega^2}{2g}. \tag{3}$$

Отсюда угол отрыва частицы семенного вороха от поверхности дозирующего барабана равен:

$$\varepsilon \geq \arccos \frac{d \omega^2}{2g} \text{ или } \varepsilon = \arccos \frac{d \omega^2}{2g}. \tag{4}$$

При известных значениях входящих параметров  $d = 120$  мм и  $\omega = 5,22$  рад/с угол отрыва частицы семенного вороха от поверхности дозирующего барабана равен  $80^\circ$ .

Следовательно, целесообразно дозируемый ворох локализовать, т.е. улавливать и направлять на поверхность диэлектрического барабана с помощью дополнительного приспособления – кожуха со скатной доской. Необходимо определить координаты соединения кожуха со скатной доской.

Определим время  $t_o$  движения частицы семенного вороха вместе с дозирующим барабаном:

$$t_o = \frac{\varepsilon}{\omega}. \tag{5}$$

При достижении частицы вороха угла отрыва  $\varepsilon$  она отрывается от поверхности дозирующего барабана и переходит в свободный полёт с начальной скоростью  $\omega \frac{d}{2}$  и через некоторое время падает на поверхность кожуха. Радиус кожуха составляет:

$$r_k = \left( \frac{d}{2} + b \right) / \cos \alpha_o. \tag{6}$$

При известных значениях входящих параметров:  $d = 120$  мм,  $b = 3$  мм и  $\alpha_o = 2^\circ$  радиус кожуха равен:  $r_k = 63,04$  мм.

Систему прямоугольных координат  $Oxy$  проведём так, чтобы начало системы совпало с центром дозирующего барабана, ось ординаты направлена вертикально вверх, а ось абсцисс горизонтально по направлению движения частицы. Тогда уравнения движения частицы вороха можно записать в следующем виде:

$$\begin{cases} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = -g. \end{cases} \quad (7)$$

Решая дифференциальное уравнение (7), получим уравнение, описывающее движение частицы семенного вороха в свободном полете:

$$\begin{cases} x = C_1 t + C_2 \\ y = -g \frac{t^2}{2} + C_3 t + C_4. \end{cases} \quad (8)$$

Начальными условиями для решения дифференциального уравнения являются:

$$\begin{cases} x(0) = \frac{d}{2} \sin \varepsilon \\ y(0) = \frac{d}{2} \cos \varepsilon \\ \dot{x}(0) = \frac{d}{2} \omega \cos \varepsilon \\ \dot{y}(0) = -\frac{d}{2} \omega \sin \varepsilon. \end{cases} \quad (9)$$

Используя начальные условия, найдём решения дифференциальных уравнений движения частицы вороха после отрыва её от поверхности дозирующего барабана в направлении кожуха.

$$\begin{cases} x = \frac{d}{2} \omega t \cos \varepsilon + \frac{d}{2} \sin \varepsilon \\ y = -g \frac{t^2}{2} - \frac{d}{2} \omega t \sin \varepsilon + \frac{d}{2} \cos \varepsilon. \end{cases} \quad (10)$$

Частица вороха достигнет поверхности кожуха в тот момент времени  $t_k$ , когда ее координаты будут удовлетворять уравнению:

$$x^2 + y^2 = r_k^2. \quad (11)$$

Дифференцируя уравнения из (10), получим:

$$\begin{cases} \dot{x} = \frac{d}{2} \omega \cos \varepsilon \\ \dot{y} = -gt - \frac{d}{2} \omega \sin \varepsilon. \end{cases} \quad (12)$$

Для определения  $t_k$  необходимо подставить выражения из (10) в формулу (11). Полученное алгебраическое уравнение 4-й степени можно решить численными методами. В качестве решения нужно выбирать положительный наименьший корень. Подставляя значение  $t_k$  в формулы (10), определим координаты  $(x_k, y_k)$  точки кожуха, с которой начнётся движение частицы по поверхности кожуха. На частицу вороха действуют: центробежная сила  $F_u$ , сила тяжести  $F_m$  и сила трения  $F_{mp}$  (рис. 2).

Путь  $S$  движения частицы вороха по поверхности кожуха от точки  $(x_k, y_k)$  до точки  $(x_c, y_c)$ , в которой кожух

плавно переходит в скатную доску, связан с углом  $\varepsilon$ , следующей формулой:

$$s = r_k (\varepsilon_1 - \varepsilon_2), \quad (13)$$

где  $\varepsilon_1 \leq \varepsilon_i \leq \varepsilon_2$ ,  $\varepsilon_1 = \arctg \frac{x_k}{y_k}$ ,  $0 < \varepsilon_1 \leq \pi$ ,

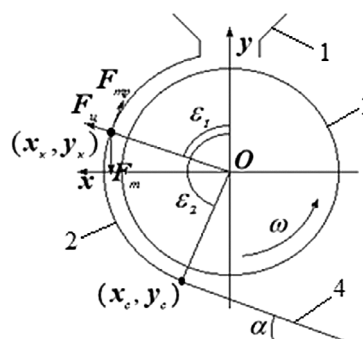
$$\varepsilon_2 = \arctg \frac{x_c}{y_c} \quad 0 < \varepsilon_2 \leq \pi,$$

$$F_T = mg, \quad (14)$$

$$F_u = m \frac{\dot{s}^2}{r_k}, \quad (15)$$

$$F_{mp} = (F_u - F_T \cos \varepsilon_i) f, \quad (16)$$

где  $f$  – коэффициент трения частицы семенного вороха по поверхности кожуха и скатной доски.



**Рис. 2. К определению движения частицы по кожуху и скатной доске**  
1 – бункер; 2 – кожух; 3 – барабан дозатора; 4 – скатная доска

**Fig. 2. Determination of a particle travel pattern along the casing and the chute board:**  
1 – a hopper; 2 – a casing; 3 – a dispenser drum; 4 – a chute board

Из формулы (13) следует:

$$\varepsilon_i = \frac{s + r_k \varepsilon_1}{r_k}. \quad (17)$$

Тогда уравнение движения запишется следующим образом:

$$m\ddot{s} = F_T \sin \varepsilon_i - F_{mp}. \quad (18)$$

Учитывая формулы (14) – (17), получим дифференциальное уравнение движения частицы по кожуху:

$$\ddot{s} = g \left( \sin \frac{s + r_k \varepsilon_1}{r_k} + f \cos \frac{s + r_k \varepsilon_1}{r_k} \right) - f \frac{\dot{s}^2}{r_k}. \quad (19)$$

Начальные условия найдём, согласно формулам (12) и (13):

$$\begin{cases} s(0) = 0 \\ \dot{s}(0) = \left| \frac{d}{2} \omega \cos \varepsilon \cos \varepsilon_1 + \left( -gt_k - \frac{d}{2} \omega \sin \varepsilon \right) \sin \varepsilon_1 \right|. \end{cases} \quad (20)$$

Решение дифференциального уравнения (19) с начальными условиями (20) аналитически невозможно, поэтому

оно решается численными методами «Рунге-Кутта-Фельберга» с автоматическим выбором шага [5].

Угол установки скатной доски  $\alpha$  выбираем из условия его равенства углу трения частицы о скатную доску, т.е.  $\operatorname{tg} \alpha = f$ .

Тогда уравнение прямой, частью которой является скатная доска, будет выглядеть следующим образом:

$$y = fx + C, \quad (21)$$

где  $C < 0$  – неизвестная константа.

В точке касания скатной доски к кожуху нижнеприведённая система должна иметь единственное решение.

$$\begin{cases} y = fx + C \\ x^2 + y^2 = r_k^2 \end{cases} \quad (22)$$

Решаем систему:

$$x^2 + (fx + C)^2 = r_k^2, \quad (23)$$

$$(1 + f^2)x^2 + 2fCx + C^2 - r_k^2 = 0.$$

Дискриминант равен нулю:

$$f^2C^2 - (1 + f^2)(C^2 - r_k^2) = 0, \quad (24)$$

$$C = -r_k \sqrt{1 + f^2}. \quad (25)$$

Подставив значения:  $r_k = 63,04$  мм и  $f = 0,4245$  в формулу (25), получим значение параметра  $C = -68,48$  мм.

Найдём координаты точки  $(x_c, y_c)$ :

$$x_c = \frac{-fC}{(1 + f^2)} \text{ и } y_c = fx_c + C. \quad (26)$$

Подставляя значение  $C = -68,48$  мм и  $f = 0,4245$  в формулу (26), найдём координаты точек:

$$x_c = 24,63 \text{ мм, } y_c = -58,02 \text{ мм.}$$

Полученные значения  $x_c$  и  $y_c$  позволяют определить точки соединения скатной доски с кожухом дозирующего барабана.

### Выводы

Компоненты вороха семян люцерны, в зависимости от массы и размера, отрывающиеся от поверхности дозирующего барабана в каждый момент времени, имеют различные траектории. Поэтому дозируемый ворох необходимо локализовать и направить на поверхность диэлектрического барабана с помощью дополнительного приспособления, состоящего из кожуха со скатной доской.

### Критерии авторства

Ли А., Алдошин Н.В., Пляка В.И. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Ли А., Алдошин Н.В., Пляка В.И. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 1.08.2019

Опубликована 20.12.2019

Полученные значения  $x_c = 24,63$  мм и  $y_c = -58,02$  мм определяют точки соединения скатной доски с кожухом дозирующего барабана. При этом угол наклона скатной доски к горизонтальной плоскости составит  $\alpha = \operatorname{arctg} 0,4245$ .

### Библиографический список

1. Ли А. Технологические процессы уборки и технические средства очистки семян люцерны. Ташкент: Navroz, 2015. 162 с.
2. Ли А.С., Алланиязов С.У., Хасанов Д. Исследование движения семенного вороха от дозатора до поверхности диэлектрического барабана // Новейшие направления развития аграрной науки в работах молодых учёных: Труды IV Международной научной конференции молодых учёных. Новосибирск, 2010. С. 378-383.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1990. 720 с.
4. Справочник по элементарной математике, механике и физике. М.: Акалис, 1995. 215 с.
5. Дьяконов В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке Бейсик для персональных ЭВМ. М.: Наука, 1987. 239 с.

### References

1. Li A. Tekhnologicheskiye protsessy uborki i tekhnicheskiye sredstva ochistki semyan lyutserny [Technological processes of cleaning and technical means of cleaning alfalfa seeds]. Tashkent, 2015: 162. (In Russian)
2. Li A.S., Allaniyazov S.U., Khasanov D. Issledovaniye dvizheniya semennogo vorokha ot dozatora do poverkhnosti dielektricheskogo barabana [Study of the seed heap travel from the metering device to the dielectric drum surface] // Noveyshiye napravleniya razvitiya agrarnoy nauki v rabotakh molodykh uchonykh: Trudy IV Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh. Novosibirsk, 2010: 378-383. (In Russian)
3. Korn G., Korn T. Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov [Handbook of mathematics for scientists and engineers]. Moscow, 1990: 720. (In Russian)
4. Spravochnik po elementarnoy matematike, mekhanike i fizike [Handbook of elementary mathematics, mechanics and physics]. Moscow, 1995: 215. (In Russian)
5. D'yakonov V.P. Spravochnik po algoritmam i programam na yazyke Beysik dlya personal'nykh EVM [Reference book on algorithms and programs in BASIC for personal computers]. Moscow, 1987: 239. (In Russian)

### Contribution

Li A., Aldoshin N.V., Plyaka V.I. performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. Li A., Aldoshin N.V., Plyaka V.I. have copyrights for the paper and are responsible for plagiarism.

### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on August 1, 2019

Published 20.12.2019