

УДК 631.53.024
AGRIS F03

https://doi.org/10.33619/2414-2948/65/26

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ СЕМЯН ХЛОПЧАТНИКА НА УНИФИКАЦИОННОЙ РАБОЧЕЙ МАШИНЕ

©*Мамаджанов Б. Д.*, канд. техн. наук, Андижанский машиностроительный институт,
г. Андижан, Узбекистан, *bm02717272@gmail.com*

©*Шукуралиев А. Ш.*, Андижанский машиностроительный институт,
г. Андижан, Узбекистан, *superyigit77@mail.ru*

ANALYSIS OF COTTON SEED SEPARATION PROCESS ON A UNIFIED WORKING MACHINE

©*Mamadjanov B.*, Ph.D., Andijan Machine-Building Institute,
Andijan, Uzbekistan, *bm02717272@gmail.com*

©*Shukuraliev A.*, Andijan Machine-Building Institute, Andijan, Uzbekistan, *superyigit77@mail.ru*

Аннотация. Многочисленными исследованиями доказана высокая эффективность применения электрических методов разделения семян сельскохозяйственных культур при их очистке и сепарации, при изучении разнокачественности семян и предпосевной обработке и т. д. В статье приведены результаты исследований разделения семян на цилиндрическом рабочем органе. Приведена математическая модель процесса разделения семян.

Abstract. Numerous studies have proved the high efficiency of using electric methods for separating seeds of agricultural crops during their cleaning and separation, when studying the different quality of seeds and pre-sowing treatment. The article presents the results of research on the separation of seeds on a cylindrical working organ. A mathematical model of the seed separation process is presented.

Ключевые слова: диэлектрик, электроды, электрическое поле, дифференциал, воздушный зазор, напряжение.

Keywords: dielectric, electrodes, electric field, differential, air gap, voltage.

Многочисленными исследованиями доказана высокая эффективность применения электрических методов разделения семян сельскохозяйственных культур при их очистке и сепарации, при изучении разнокачественности семян и предпосевной обработке и т.д. Для этих целей в сельскохозяйственном производстве используют либо метод разделения семян в электрическом поле коронного разряда, либо электростатический метод, либо метод диэлектрической сепарации [1].

Последний из указанных методов может быть реализован на цилиндрическом рабочем органе. Теория разделения частиц сыпучих смесей на цилиндрической поверхности рассмотрена в работах [2–4]. Однако в этих работах не рассматривались силы, действующие на семя и обусловленные наличием электрических полей.

Если на цилиндрической поверхности размещена система разноименно заряженных электродов, корректирующих положение диэлектрической частицы (семени), то на нее будет

действовать система сил: сила тяжести P , сила нормального давления Na , сила трения $F_{т\ p}$, центробежная сила $F_{ц}$, пондеромоторная сила F_3 , обусловленная поляризацией семян [5]. На рис.1 изображена векторная диаграмма сил, действующих на семя.

Пондеромоторная сила \vec{F}_3 зависит от отношения диэлектрической проницаемости частицы $\epsilon_{ч}$ к диэлектрической проницаемости среды $\epsilon_r \cdot \frac{\epsilon_{ч}}{\epsilon_r}$ [5].

Если $\epsilon_{ч}/\epsilon_r > 1$, то \vec{F}_3 прижимает частицу к электродам.

При $\epsilon_{ч}/\epsilon_r < 1$, то \vec{F}_3 направлена от электродов.

Поскольку диэлектрическая проницаемость воздуха всегда меньше диэлектрической проницаемости частицы ($\epsilon_{ч} > \epsilon_r$), то \vec{F}_3 направлена всегда в сторону электродов и ее можно рассматривать как центростремительную.

Центробежная сила $\vec{F}_{ц}$ стремится оторвать семя от рабочей поверхности (Рисунок 1); она определяется известным выражением:

$$\vec{F}_{ц} = m\omega^2 R \quad (1)$$

где m — масса семени, кг; ω — угловая скорость вращения цилиндрической поверхности, рад · сек⁻¹; R — радиус цилиндрического рабочего органа, м.

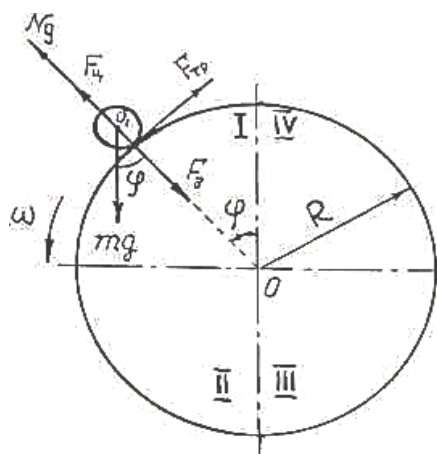


Рисунок 1. Диаграмма сил, действующих на семя, расположенное на цилиндрическом рабочем органе со знакопеременными электродами

Как следует из (1), величина центробежной силы зависит от массы семени, квадрата угловой скорости и величины радиуса цилиндрического рабочего органа. Из Рисунок 1 видно, что сила \vec{F}_3 стремится удержать семя на рабочем органе, а $\vec{F}_{ц}$ — оторвать. Увеличение радиуса рабочего органа приводит к увеличению центробежной силы $\vec{F}_{ц}$. Для того, чтобы удержать семя на рабочем органе, необходимо также увеличить пондеромоторную силу \vec{F}_3 , т. е. повысить напряжение на электродах.

Учитывая вышеизложенное, в работе [1] было доказано, что оптимальный диаметр рабочего органа диэлектрической калибровочно-сортировальной машины находится в пределах $D = 0,3 \dots 0,4$ м.

При постоянной частоте вращения рабочего органа и неизменной величине напряжения силы $\vec{F}_{ц}$ и \vec{F}_3 постоянны. Известно, что сила тяжести равна:

$$P = mg \quad (2)$$

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

В отличие от сил $\vec{F}_ц$ и $\vec{F}_э$ действие силы тяжести на семя зависит от угла φ , при котором семя находится на поверхности рабочего органа.

В связи с этим в I-ом и IV-ом квадрантах (Рисунок 1) сила тяжести способствует прижатию семян к цилиндрической поверхности, во II и III квадрантах — отрыву.

На Рисунке 2 изображена зависимость изменения действия нормальной составляющей силы тяжести от угла поворота φ рабочего органа при его равномерном вращении.

При $\varphi = 0$ сила тяжести способствует максимальному прижатию семян к электродам. По мере же поворота рабочего органа действие силы тяжести, способствующее прижатию семян к его поверхности, уменьшается по закону косинуса.

В диапазоне $\frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq \frac{3}{2}\pi$ (в него входят части зон сепарации и очистки) нормальная составляющая силы тяжести работает на отрыв частицы от цилиндрической поверхности, достигая своего максимального отрицательного значения (с точки зрения отрыва) при угле $\varphi = \pi$

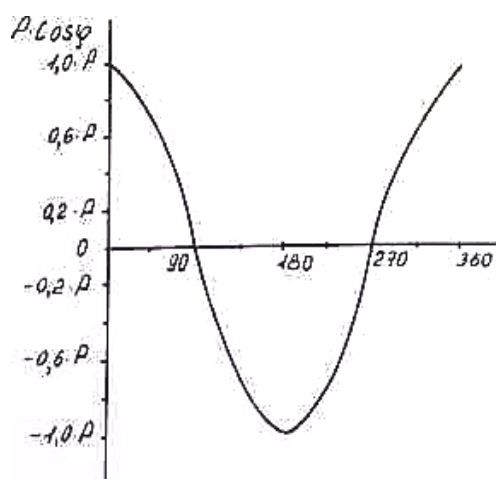


Рисунок 2. Изменение нормальной составляющей силы тяжести в зависимости от угла поворота рабочего органа

Таким образом, при всех прочих равных условиях на цилиндрическом рабочем органе с системой электродов, корректирующих положение семени, разделение семенной смеси происходит по очень важному показателю — массе.

Сила нормального давления N_a может быть определена по формуле, выведенной на основании диаграммы сил (Рисунок 1):

$$\vec{N}_a = \vec{F}_э + \vec{P} \cos \varphi - \vec{F}_ц \quad (3)$$

при $\vec{N}_a = 0$ произойдет отделение семени от рабочей поверхности.

Рассмотрим процесс разделения семян на участке действия электрического поля.

Диаграмма сил, действующих на семя в зоне электросепарации, изображена на Рисунке 3. Здесь введены следующие обозначения:

$$\vec{F}_{э0+}, \vec{F}_{э0-}$$

силы взаимодействия поляризационных зарядов семени с соответствующими зарядами на основных электродах; $\vec{F}_{эд}$ — результирующая электрическая сила взаимодействия поляризационных зарядов с соответствующими зарядами на дополнительных электродах. Обычно

$$|\vec{F}_{э0-}| = |\vec{F}_{э0+}| = F_{э0} / |\vec{F}_{эд-}| = |\vec{F}_{эд+}| = F_{эд} / . \quad (4)$$

Из Рисунка 3 видно, что общая сила взаимодействия семени с электродами складывается из сил взаимодействия с основными $\vec{F}_{э0}$ и $\vec{F}_{дэ}$ и дополнительными электродами:

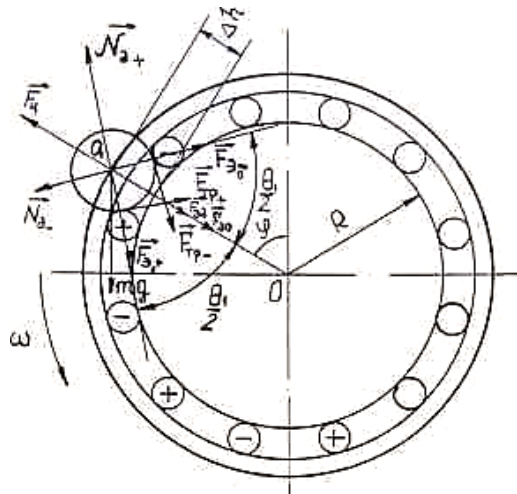


Рисунок 3. Векторная диаграмма сил, действующих на семя в зоне электросепарации рабочего органа

$$\begin{aligned} \vec{F}_{э} &= \vec{F}_{э0} + \vec{F}_{дэ} & (5) \\ \vec{F}_{э0} &= 2\vec{F}_{э0} \cdot \cos \frac{\theta_1}{2} \equiv 2F_{э0+} \cdot \cos \frac{\theta_1}{2} \equiv 2\widehat{F}_{э0} \cos \frac{\theta_1}{2} \\ \vec{F}_{дэ} &= 2\vec{F}_{дэ} \cdot \cos \frac{\theta_2}{2} \equiv 2F_{дэ+} \cdot \cos \frac{\theta_2}{2} \equiv 2\widehat{F}_{дэ} \cos \frac{\theta_2}{2} \end{aligned}$$

θ_1 — угол между направлениями действия сил $\vec{F}_{э0-}$ и $\vec{F}_{э0+}$ на семя со стороны основных электродов, рад;

θ_2 — угол между направлениями действия сил $\vec{F}_{дэ-}$ и $\vec{F}_{дэ+}$ на семя со стороны дополнительных электродов, рад.

Углы θ_1 и θ_2 характеризуют геометрическое соотношение размеров семени и электродов. И в зависимости от размеров отдельных частей этой системы углы θ_1 и θ_2 могут изменяться в широких пределах.

$\vec{F}_{тро}, \vec{F}_{трд}$ силы трения семени об основные и дополнительные электроды. Общая сила трения семени об электроды рабочего органа равна

$$\widehat{F}_{тр} = \widehat{F}_{тро} + \widehat{F}_{трд} \quad (6)$$

$\vec{N}_{до}, \vec{N}_{дд}$ — силы нормального давления основных и дополнительных электродов на семя. Общая сила нормального давления электродов на семя:

$$\vec{N}_a = \vec{N}_{до} + \vec{N}_{дд} \quad (7)$$

При сепарации семян на рабочем органе имеет место условие:

$$\vec{N}/\partial \neq \vec{N}_{do}/\partial \quad (8)$$

Для рабочего органа (Рисунок 3) центробежную силу, действующую на семя, можно определить по формуле:

$$\vec{F}_{ц}/ = m\omega^2(R + \Delta h) \quad (9)$$

Векторная диаграмма сил (Рисунок 3), действующих на семя, находящееся в системе разноименно заряженных электродов, построена в неинерциальной системе отсчета, наиболее удобной для описания процесса сепарации.

Основываясь на принципе суперпозиции сил разной физической природы и законах Ньютона, можно написать уравнения, описывающие процесс разделения семян в зоне электросепарации в предположении, что в момент перед отрывом сумма всех действующих сил равна нулю, и семя перемещается в пространстве вместе с рабочим органом

В этом случае уравнения, записанные в проекциях на оси ОО1 и перпендикулярной к ней, будут иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} m\omega^2(R + \Delta h) - 2\widehat{F}_{o\partial} \cos \frac{\theta 1}{2} - 2\widehat{F}_{d\partial} \cos \frac{\theta 1}{2} - \\ - 2\widehat{F}_{TPo} \sin \frac{\theta 1}{2} - 2\widehat{F}_{TPd} \sin \frac{\theta 2}{2} - mg \cdot \cos \varphi + \\ + \left(\vec{N}_{do+} + \vec{N}_{do-} \right) \cdot \cos \frac{\theta 1}{2} + \left(\vec{N}_{dd+} + \vec{N}_{dd-} \right) \cdot \cos \frac{\theta 2}{2} = 0 \\ mg \cdot \sin \varphi + \vec{N}_{do+} \cdot \sin \frac{\theta}{2} - \vec{N}_{do-} \cdot \sin \frac{\theta 1}{2} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

При составлении уравнений учтено, что до отрыва выполняются следующие условия:

$$\begin{aligned} \vec{F}_{TPo+}/ = \vec{F}_{TPo-}/ = \widehat{F}_{TPo+}/; \vec{F}_{TPd+}/ = \vec{F}_{TPd-}/ = \widehat{F}_{TPd+}/ \quad (11) \\ \vec{F}_{\partial o+}/ = \vec{F}_{\partial o-}/ = \widehat{F}_{\partial o+}/; \vec{F}_{d\partial+}/ = \vec{F}_{d\partial-}/ = \widehat{F}_{d\partial+}/ \\ \vec{N}_{do+}/ = \vec{N}_{do-}/; \vec{N}_{dd+}/ = \vec{N}_{dd-}/ \end{aligned}$$

Уравнения (10) с учетом условия (11) представляют собой математическую модель процесса разделения семян на рабочем органе диэлектрического сепаратора с системой электродов, корректирующих положение семян.

Анализ (10) показывает, что процесс разделения зависит от корректирующего воздействия электродов на положение семян, от их межэлектродных расстояний и диаметра электродов.

Анализ (10) также показывает, что разделение семян на разработанном рабочем органе осуществляется не только по механическим (массе, размерам), но и электрическим

свойствам (диэлектрической проницаемости, электропроводности), которые связаны с биохимическим составом семян [2, 5].

Параметром разделения семян на рабочем органе с системой электродов является угол отрыва, который в зоне электросепарации (Рисунок 3) определяется равенством нулю моментов сил, действующих на семя (Рисунок 4).

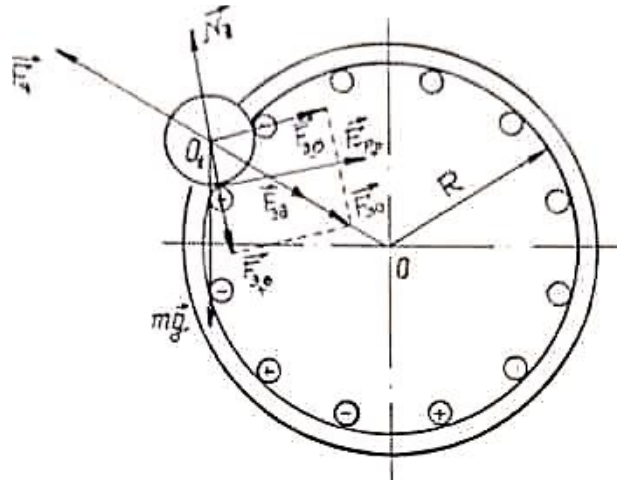


Рисунок 4. Векторная диаграмма сил, действующих на семя в момент отрыва от рабочего органа с электродами, корректирующими положение семян

$$mg \frac{d_u}{2} \sin\left(\varphi - \frac{\theta_1}{2}\right) - \overrightarrow{F_{o_э}} \cdot \frac{d_u}{2} \cos\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\theta_1}{2}\right) \quad (12)$$

$$-\overrightarrow{F_{o_э}} \cdot \frac{d_u}{2} \cos\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\theta_1}{2}\right) + \overrightarrow{F_{дц}} \cdot \frac{d_u}{2} \cdot \sin \frac{\theta_1}{2} = 0$$

где d_u — диаметр частицы, м. После некоторых преобразований (12) и с учетом (5) получена формула, позволяющая определить угол отрыва семян от рабочего органа:

$$\varphi = \frac{\theta_1}{2} + \arcsin \left[\frac{F_{oэ} + F_{дэ} - F_{дц}}{mg} \right] \sin \frac{\theta}{2} \quad (13)$$

Уравнение (13) позволяет определять параметр разделения семенной смеси в зоне электросепарации рабочего органа и показывает, что угол отрыва семян, а значит и процесс разделения, можно регулировать изменением напряжения на системе электродов, корректирующих положение семян на рабочем органе (т. е. изменяя $\overrightarrow{F_{oэ}}$ и $\overrightarrow{F_{дэ}}$).

Угол отрыва зависит от многих параметров: свойств семян, конструктивных параметров рабочего органа и системы электродов, технологических параметров установки.

Выводы и рекомендации:

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы и рекомендации:

–разработанная математическая модель процесса разделения семян на рабочем органе с системой электродов, корректирующих положение семян показала, что процесс электросепарации зависит от наличия корректирующих электродов, их размеров и

межэлектродных расстояний;

–установлено, что направления электрических (пондеромоторных) сил, создаваемых электродами, корректирующими положение семян, совпадают при условии сортирования семян крупносемянных культур (хлопчатник, горох, фасоль и т. п.);

–полученный параметр разделения (угол отрыва) в зоне электросепарации позволил установить, что процессом разделения можно управлять регулированием напряжения на электродах, корректирующих положение семян на рабочем органе.

Список литературы:

1. Мамаджанов Б. Д. Диэлектрическая калибровочно-сортировальная машина для оголенных семян хлопчатника: дисс. ... канд. техн. наук. М., 1992. 200 с.
2. Тиц З. Л., Анискин В. И., Баснакьян Г. А. Машины для послеуборочной поточной обработки семян: Теория и расчет машин, технология и автоматизация процессов. М.: Машиностроение, 1967. 447 с.
3. Василенко П. М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. Киев, 1960. 283 с.
4. Авдеев Н. Е. Центробежные сепараторы для зерна. М.: Колос, 1975. 152 с.
5. Тамм И. Е. Основы теории электричества. М.: Наука, 1966. 624 с.

References:

1. Mamadzhanov, B. D. (1992). Dielektricheskaya kalibrovочно-sortiroval'naya mashina dlya ogolennykh semyan khlopchatnika: Ph.D. diss. Moscow. (in Russian).
2. Tits, Z. L., Aniskin, V. I., & Basnakyann, G. A. (1967). Mashiny dlya posleuborochnoi potochnoi obrabotki semyan: Teoriya i raschet mashin, tekhnologiya i avtomatizatsiya protsessov. Moscow. (in Russian).
3. Vasilenko, P. M. (1960). Teoriya dvizheniya chastitsy po sherokhovatym poverkhnostyam sel'skokhozyaistvennykh mashin. Kiev. (in Russian).
4. Avdeev, N. E. (1975). Tsentrobezhnye separatory dlya zerna. Moscow. (in Russian).
5. Tamm, I. E. (1966). Osnovy teorii elektrichestva. Moscow. (in Russian).

*Работа поступила
в редакцию 01.03.2021 г.*

*Принята к публикации
09.03.2021 г.*

Ссылка для цитирования:

Мамаджанов Б. Д., Шукуралиев А. Ш. Анализ процесса разделения семян хлопчатника на унификационной рабочей машине // Бюллетень науки и практики. 2021. Т. 7. №4. С. 236-242. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/65/26>

Cite as (APA):

Mamadjanov, B., & Shukuraliev, A. (2021). Analysis of Cotton seed Separation Process on a Unified Working Machine. *Bulletin of Science and Practice*, 7(4), 236-242. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/65/26>