

# ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 631.362.36:633

**ТАРУШКИН ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ**, докт. техн. наук, профессор

E-mail: s777z@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

## ВОЗДЕЙСТВИЕ НА СЕМЕНА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ, СОЗДАВАЕМОГО РАЗНОИМЕННО ЗАРЯЖЕННЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

В теории диэлектрической сепарации при исследованиях взаимодействия семян с разноименно заряженными электродами систему «Семя-электроды» следует рассматривать как единую информационную систему. Информационный ресурс системы определяется свойствами семени и параметрами разноименно заряженных электродов. Обобщающими количественными показателями, оценивающими систему «Семя-электроды», являются либо электрическая емкость, образованная семенем и электродами, либо поляризационная сила, действующая на семена со стороны электродов. При известных параметрах электродов по электрической емкости или поляризационной силе можно судить о качестве семени. При известных свойствах семени по величине электрического воздействия на семя емкости можно судить об эффективности исследуемой системы электродов. Установлено, что чем выше диэлектрическая проницаемость изоляции, тем большая поляризационная сила будет действовать на семя. При выборе оптимальной системы электродов для диэлектрического сепарирующего устройства (ДСУ) необходимо стремиться к тому, чтобы либо ёмкость, образованная семенем и электродами, либо поляризационная сила имели наибольшее значение при минимальном напряжении, подаваемом на электроды. Осуществлена классификация факторов, определяющих электрическое воздействие на семена: конструктивные параметры системы электродов; технологические (величина подаваемого напряжения на электроды и частота переменного напряжения); свойства семян. Такая классификация полезна при проектировании ДСУ и при интенсификации процессов сепарации различных семенных смесей.

**Ключевые слова:** электрическое поле, разноименно заряженные электроды, диэлектрическое сепарирующее устройство, электрическая поляризационная сила.

**Введение.** Отличительной особенностью диэлектрического сепарирующего устройства (ДСУ) в отличие от известных электрозерноочистительных машин является то, что в ДСУ используется система разноименно заряженных электродов [1, 2]. Поэтому при проектировании диэлектрических сепарирующих устройств важно знать, какие факторы влияют на процесс сепарации.

**Цель исследования** – выявить взаимосвязь различных факторов, влияющих на поляризационную силу, действующую на семена при помещении их в электрическое поле, создаваемое разноименно заряженными электродами.

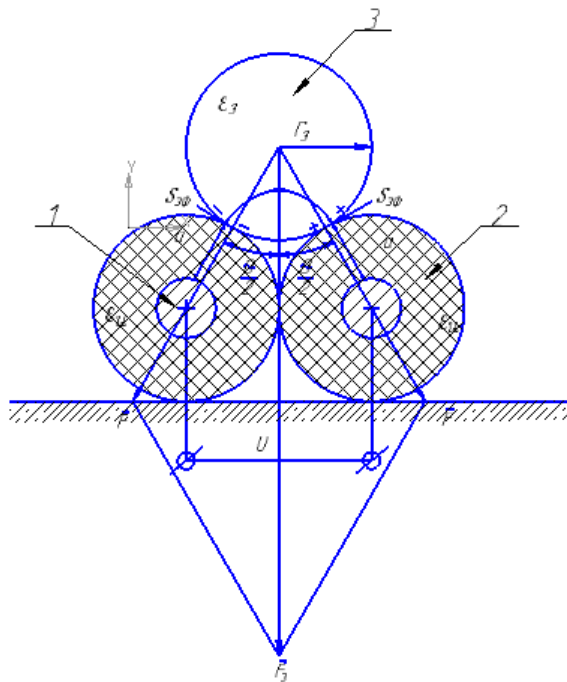
**Материалы и методы.** На рисунке 1 показана характерная для диэлектрических сепарирующих устройств векторная диаграмма сил, действующих

на семена со стороны электродов. Из диаграммы следует, что

$$F_3 = 2F_- \cos \frac{\theta}{2} = 2F_+ \cos \frac{\theta}{2} = 2F \cos \frac{\theta}{2}, \quad (1)$$

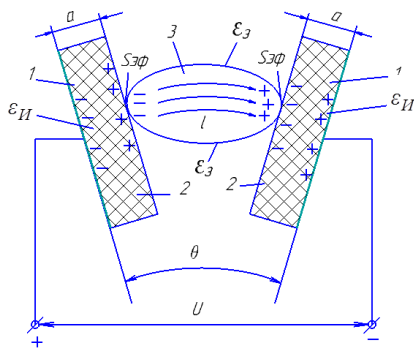
где  $F_-$ ,  $F_+$  – силы взаимодействия поляризованных зарядов семян с соответствующими зарядами на электродах, Н;  $\theta$  – угол между направлениями действия сил  $F_-$  и  $F_+$  на семена со стороны электродов, рад.

Сила  $F_3$  обусловлена электрическим взаимодействием свободных зарядов  $\delta_3$  на электродах и поляризованных зарядов  $\delta_3$  на поверхности семян, ближайшей к соответствующему заряду электрода.



**Рис. 1. Векторная диаграмма электрических сил, действующих на зерно: 1 – электроды; 2 – изоляция электродов; 3 – зерно**

В диэлектрических сепарирующих устройствах систему, образованную семенами и электродами, покрытыми изоляцией (рис. 2), можно рассматривать как многослойный конденсатор, диэлектриком которого служат изоляция электродов, зерно и воздушная прослойка.



**Рис. 2. Зерно в межэлектродном пространстве: 1 – электроды; 2 – изоляция; 3 – зерно; θ – угол наклона электродов**

В этом случае сила притяжения семян к электродам:

$$F = E_3 \delta_3 S_{эф} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{и}^2 U^2 S_{эф} \epsilon_3 (\epsilon_3 - 1)}{(2a \epsilon_3 + l \epsilon_{и})}, \quad (2)$$

где  $E_3$  – напряжённость поля у электродов, В/м;  $\delta_3$  – поверхностная плотность зарядов на семени, Кл/м<sup>2</sup>;

$S_{эф}$  – эффективная поверхность заряженной части семени контактирующей с изоляцией электродов, м<sup>2</sup>;  $U$  – напряжение подаваемое на электроды, В;  $\epsilon_3, \epsilon_{и}$  – относительные диэлектрические проницаемости зерна и изоляции;  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная, Ф/м;  $a$  – толщина изоляции электродов, м;  $l$  – средняя длина силовой линии в зерне, м.

Учитывая (1) и (2), получаем полную электрическую силу, обусловленную взаимодействием зарядов электродов с поляризованными зарядами зерна, при условии, что электропроводность зерна и изоляции электродов равна нулю:

$$F_3 = 2F \cos \frac{\theta}{2} = 2 \frac{S_{эф} U^2 \epsilon_3 \epsilon_{и}^2 \epsilon_0 (\epsilon_3 - 1)}{(2a \epsilon_3 + l \epsilon_{и})^2} \cos \frac{\theta}{2}. \quad (3)$$

Формулу (3) можно представить в виде

$$F_3 = 2 \frac{U^2 C \epsilon_{и} (\epsilon_3 - 1)}{2a + l \epsilon_{и}} \cos \frac{\theta}{2}, \quad (4)$$

или

$$F_3 = 2 \frac{U^2 C^2 (\epsilon_3 - 1)}{\epsilon_0 \epsilon_3 S_{эф}} \cos \frac{\theta}{2}, \quad (5)$$

где  $C$  – ёмкость, образованная системой «Электрод–изоляция–семя–изоляция–электрод»

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_3 S_{эф} \epsilon_{и}}{2a \epsilon_3 + l \epsilon_{и}}. \quad (6)$$

Из формул (3–5) следует, что сила  $F_3$  пропорциональна квадрату подаваемого к электродам напряжения.

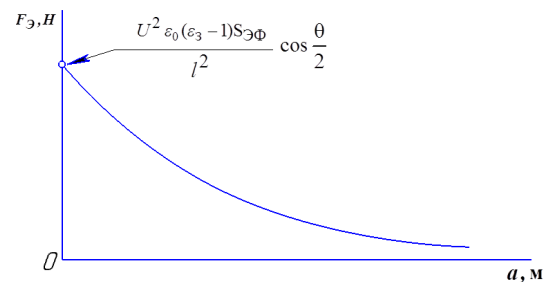
Так как  $Q = UC$ , выражение (5) можно представить иначе:

$$F_3 = 2 \frac{Q^2 (\epsilon_3 - 1)}{\epsilon_0 \epsilon_3 S_{эф}} \cos \frac{\theta}{2}, \quad (7)$$

где  $Q$  – заряд семени одного знака, Кл.

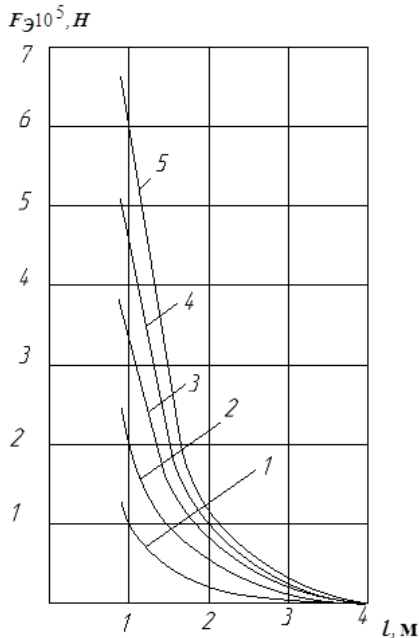
Как следует из (7), сила  $F_3$  пропорциональна квадрату наведенных на семени зарядов.

Для установления зависимости  $F_3$  от толщины  $a$  изоляции электродов найдем первую  $\partial F_3 / \partial a$  и вторую  $\partial^2 F_3 / \partial^2 a$  производные выражения (3). Установлено, что  $(\partial F_3 / \partial a) < 0$ , а  $(\partial^2 F_3 / \partial^2 a) > 0$ . Поэтому зависимость  $F_3$  от  $a$  имеет вид, изображенный на рисунке 3.



**Рис. 3. Зависимость поляризационной силы  $F_3$  от толщины изоляции  $a$**

Как видим из рисунка 3, с увеличением толщины изоляции на электродах или расстояния от частицы до электродов сила  $F_3$  уменьшается. Этот вывод подтвержден экспериментально (рис. 4).



**Рис. 4. Зависимость поляризационной силы  $F_3$ , действующей на семена моркови, от расстояния до электродов при подаче на них различных напряжений: 1 –  $U = 2$  кВ; 2 –  $U = 3$  кВ; 3 –  $U = 4$  кВ; 4 –  $U = 5$  кВ; 5 –  $U = 6$  кВ**

**Результаты и обсуждение.** Исследования проводились на цилиндрических электродах (рис. 1) при изменении напряжения от 2 кВ до 6 кВ.

Чтобы определить, какую диэлектрическую проницаемость должна иметь изоляция электродов, преобразуем формулу (3). С этой целью обозначим  $U^2 \epsilon_0 (\epsilon_3 - 1) S_{эф} \cos \frac{\theta}{2} = A$ . В этом случае выражение (3) приобретает вид:

$$F_3 = \frac{A \epsilon_{и}^2}{(2a \epsilon_3 + l \epsilon_{и})^2} = \frac{A}{\frac{4a^2 \epsilon_3^2}{\epsilon_{и}^2} + \frac{4al \epsilon_3}{\epsilon_{и}^2} + l^2}. \quad (8)$$

Из (8) следует, что чем больше  $\epsilon_{и}$ , тем больше сила  $F_3$ . Следовательно, при проектировании диэлектрических сепарирующих устройств желательно брать изоляцию с наибольшей диэлектрической проницаемостью.

С физической точки зрения это объясняется тем, что чем больше  $\epsilon_{и}$ , тем слабее напряженность электрического поля в изоляции, но больше в зазоре (в рабочей зоне ДСУ). Большая же напряженность в рабочей зоне обеспечивает и больший заряд на зерне, что в свою очередь ведет к возрастанию силы  $F_3$ .

Полученные выводы не противоречат и следующим рассуждениям.

Из (4) и (5) вытекает, что сила  $F_3$  максимальна в том случае, если емкость  $C$ , образованная электродами, изоляцией и зерном, будет наибольшей. Для обеспечения максимального значения  $C$ , а следовательно, и силы  $F_3$ , необходимо, чтобы толщина изоляции была возможно меньшей, а диэлектрическая проницаемость изоляции – возможно большей.

Из формул (3–5) видим, что сила  $F_3$  есть функция многих параметров, которые целесообразно разделить на 3 группы. К первой группе относятся значения и частота напряжения (при питании электродов переменным напряжением). Следует отметить, что электроды ДСУ можно питать и пульсирующим напряжением. Тогда и частоту пульсации, и форму подаваемого напряжения также можно отнести к первой группе. Указанные параметры являются технологическими, поддающимися регулированию.

Во вторую группу входят конструктивные параметры системы разноименно заряженных электродов, создающих электрическое поле с необходимыми сепарирующими свойствами: конфигурация электродов (в данном случае их диаметр (рис. 1), диэлектрическая проницаемость изоляции, ее толщина, расстояние между электродами).

Третья группа включает в себя параметры самих сепарируемых частиц: размеры и форму семян, их диэлектрическую проницаемость.

Всё это указывает на большие возможности диэлектрического метода сепарации семян в сравнении с зерноочистительными машинами, в которых разделение осуществляется по массо-размерным свойствам семян [4]. Так, изменяя свойства семян путём увлажнения или подсушивания, частоту питаемого напряжения, а также диэлектрическую проницаемость и толщину изоляции, можно создавать конкурентоспособные технические решения, позволяющие отбирать семена с заранее заданными свойствами.

### Выводы

1. Определены 3 группы факторов (конструктивные, технологические и свойства семян), влияющих на величину силового воздействия электрического поля на семена при их нахождении на системе разноименно заряженных электродов. Такая классификация факторов позволяет осуществлять интенсификацию процесса сепарации семян.

2. В диэлектрических сепарирующих устройствах систему «Семя-электроды» следует рассматривать как единую информационную систему. Информационный ресурс системы определяется свойствами семян и параметрами разноименно заряженных электродов.

3. Обобщающими косвенными показателями, оценивающими систему «Семя-электроды», является либо электрическая ёмкость  $C$ , образован-

ная семенем и электродами, либо электрическая сила  $F_3$ , обусловленная поляризацией семян и действующая на семена со стороны электродов.

При известных параметрах электродов по емкости  $C$  или  $F_3$  можно судить о качестве семян. При известных свойствах семян  $C$  и  $F_3$  выявляется эффективность исследуемой системы электродов.

4. При выборе оптимальной системы электродов для ДСУ необходимо стремиться к тому, чтобы либо электрическая ёмкость, образованная семенем и электродами, либо поляризационная сила  $F_3$  имели наибольшее значение при минимальном напряжении, подаваемом на электроды.

#### Библиографический список

1. Тарушкин В.И. Инновационная техника отбора биологически ценных семян и сельскохозяйст-

венных культур / В.И. Тарушкин, А.П. Козлов // Техника и оборудование для села. 2005. № 8. С. 27–30.

2. Басов А.М. Электрозерноочистительные машины: теория, конструкции и расчёт / А.М. Басов, Ф.Я. Изаков, В.Н. Шмичель и др. Машиностроение, 1968. 203 с.

3. Тарушкин В.И. Основные параметры цилиндрического рабочего органа диэлектрического сепарирующего устройства // Техника в сельском хозяйстве. 2012. № 3. С. 18–19.

4. Клёнин Н.И. Сельскохозяйственные машины: элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы / Н.И. Клёнин, И.Ф. Попов, В.А. Сакун. М.: Колос, 1990. 456 с.

*Статья поступила 14.03.2016 г.*

## IMPACT ON SEEDS OF ELECTRIC FIELD MADE BY OPPOSITELY CHARGED ELECTRODES

*VLADIMIR I. TARUSHKIN, DSc (Eng), Professor*

E-mail: s777z@mail.ru

Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

The theory of dielectric separation implies that when studying the contact of seeds with oppositely charged electrodes, the "seed-electrodes" system should be considered a single information system. The system information resource is determined by the seed properties and the parameters of oppositely charged electrodes. Generalized quantitative indicators used for assessing the "seed-electrode" system are either the electrical capacitance formed by the electrodes and the seed, or the polarizing force from the electrodes acting on the seeds. The seed quality can be assessed given the parameters of the electrodes concerning the electrical capacitance or the polarization force. The effectiveness of the tested electrode system can be assessed by the known seed properties concerning the value of electric effect on the seed. It has been found that the higher the insulation dielectric constant is, the greater the polarization force acting on the seed is. When choosing the optimal system of electrodes for dielectric separation unit (DSU) one should ensure that any capacity formed by the seed and the electrodes or the polarization force has the highest value with the minimum voltage applied to the electrodes. The author classifies the factors determining the electrical effect on the seeds: the electrode system design parameters; operating parameters (the value of voltage applied to the electrodes and the frequency of AC voltage); the seed properties. This given classification is useful in DSU designing and the intensification of separation processes of different seed mixtures.

**Key words:** electric field, oppositely charged electrodes, dielectric separation unit, electric polarization force.

#### References

1. Tarushkin V.I. Innovatsionnaya tekhnika otbora biologicheskikh tsennykh semyan i sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [The innovative screening technique biologically valuable seeds and crops] / V.I. Tarushkin, A.P. Kozlov // Farm Machinery and Equipment. 2005. Issue 8. Pp. 27–30.

2. Basov A.M. Elektrozernoochistitel'nye mashiny: teoriya, konstruktzii i raschet [Electric grain cleaners: theory, design and calculation] / A.M. Basov, F.Ya. Izaikov, V.N. Shmichel et al. Mashinostroenie, 1968. 203 p.

3. Tarushkin V.I. Osnovnye parametry tsilindricheskogo rabochego organa dielektricheskogo

separiruyushchego ustroystva [The main parameters of a cylindrical working body of a dielectric separating device] // Farm Machinery. 2012. Issue 3. Pp. 18–19.

4. Klenin N.I. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny: elementy teorii rabochikh protsessov, raschet regulirovochnykh parametrov i rezhimov raboty [Agricultural Machines: elements of the theory of working processes, the calculation of control parameters and operating modes] / N.I. Klenin, I.F. Popov, V.A. Sakun. M.: Kolos, 1990. 456 p.

*Received on March 14, 2016*