

УДК 620.1:630.4

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2023-155-1-30-34>

ПОВЫШЕНИЕ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ СЕМЕННОГО ВОРОХА ПРИ ЭЛЕКТРОСЕПАРАЦИИ МЕЛКОСЕМЯННЫХ КУЛЬТУР

В.С. Корко,*доцент каф. энергетики БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

В статье рассмотрены теоретические аспекты особенностей работы диэлектрического сепаратора. Обоснована необходимость изменения конструкции барабана при очистке семенного вороха мелко-семянных культур. Приведены результаты экспериментальных исследований процессов разделения семян при нанесении пленочного покрытия на рабочую обмотку диэлектрического сепаратора.

Ключевые слова: семена, электрическое поле, диэлектрический сепаратор, бифилярная обмотка, пленочное покрытие, поляризация, электрические силы, степень разделения, всхожесть.

The theoretical aspects of dielectric separator operation features are considered in the article. The necessity of modifying the drum design in the cleaning of fine seeded crops has been substantiated. The results of experimental research of seed separation processes when applying a film coating to the working winding of a dielectric separator are presented.

Key words: seeds, electric field, dielectric separator, bifilar winding, film coating, polarization, electric forces, separation degree, germination.

Введение

Семена зеленных и пряно-ароматических культур, как и получаемые в процессе выращивания растения, относятся к пищевым продуктам и потому требуют более тщательного подхода к технологиям очистки от посторонних примесей, стимуляции всхожести и процессов выращивания [1-3]. Поскольку по физическим и морфологическим признакам эти семена можно отнести к мелким и легким, то существующие семяочистительные и сортировальные машины, очищающие полученный при уборке ворох и разделяющие семена по механическим свойствам и признакам (форме, размерам, плотности, парусности и т.п.), не всегда обеспечивают необходимые качественные показатели.

К тому же семена, имеющие одинаковые или близкие физико-механические свойства, могут отличаться по биохимическому состоянию (степени зрелости, химическому составу, влажности и др.), а также по электрическим характеристикам (электрической проводимости, диэлектрической проницаемости, способности воспринимать в электрическом поле и удерживать электрический заряд и т.п.) [3-6]. Поэтому электрические сепараторы, в большей степени учитывающие все разнообразие вышеуказанных свойств и признаков делимости семян, во многих случаях оказываются более эффективными или даже незаменимыми по качеству очистки, особенно в лабораторных условиях селекционных центров и для биологически ценных культур [7, 8].

При электросепарации за время нахождения в электрическом поле семена получают определенную дозу энергетического воздействия, что положительно сказывается на степени возбуждения и активизации

зародышевых структур. Экспериментально подтверждено, что семена, которые находились в глубоком покое и не прорастали в обычных условиях, в результате воздействия энергией электрического поля дают всходы, а значит, электрофизические факторы активируют жизненные силы и повышают показатели всхожести и кондиционности семян, что является дополнительным технологическим эффектом электрической сепарации [4; 9, 10].

Сепаратор диэлектрический СДЛ-1 по своим техническим характеристикам предназначен для работы с разными семенами: мелкими (салата, сельдерея, укропа, моркови и др.) при рекомендованных изготовителем напряжениях на бифилярной обмотке 200 – 600 В и более крупными (зерновых культур, свеклы, огурцов и др.) при напряжениях 600 – 2500 В. Также от размеров и массы семян зависит производительность сепаратора и составляет от 5 до 10 кг/ч [5-7].

В процессе производственной эксплуатации сепаратора при работе с мелкими и легкими семенами обнаруживаются некоторые недостатки: застревание или задержка частиц в пазах между проводами обмотки, снижение полноты и качества разделения, взаимное засорение соседних секций классификатора.

Как известно, в электрическом поле может происходить зарядка, ориентирование частиц, их упорядочивание, регулирование движения, разделение и осаждение в соответствии с приобретенным зарядом. В свою очередь, величина этого заряда зависит от параметров поля, способов зарядки, структурно-механических и электрофизических свойств семян и др. В диэлектрическом сепараторе частицу удерживают на барабане с бифилярной обмоткой проявления электрических сил вследствие поляризации частиц в электрическом поле. Поэтому рассмотрение природы

их возникновения, их связи с конструктивными особенностями барабана и технологическими параметрами установки позволит наметить основные пути совершенствования процесса разделения вороха [8-10].

Целью работы является повышение степени очистки вороха мелкосемянных культур путем совершенствования конструктивных и технологических параметров диэлектрического сепаратора.

Основная часть

Основным рабочим органом диэлектрического сепаратора является вращающийся барабан из диэлектрического материала с бифилярной однослойной обмоткой, на которую подается напряжение 0,5 – 5 кВ промышленной частоты [5].

Для моделирования и анализа переменного электрического поля, создаваемого бифилярной обмоткой, рассмотрим картину поля двухпроводной линии (рис. 1). При переменном напряжении в каждый полупериод времени направление тока в каждом из двух проводов будет противоположным. В пространстве между проводами возникает неоднородное электрическое поле в силу того, что заряды проводов распределяются по поверхности с неодинаковой плотностью.

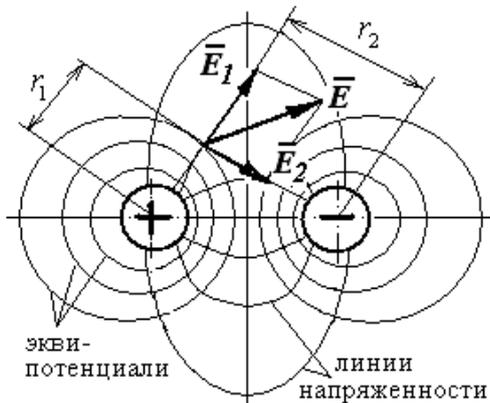


Рисунок 1. Конфигурация линий и векторная диаграмма напряженностей электрического поля бифилярной обмотки

Напряженность в поле одного провода изменяется обратно пропорционально расстоянию r от точки до оси [11]

$$E = \frac{q_l}{2\pi\epsilon_a r}, \quad (1)$$

где q_l – заряд на единицу длины провода, Кл/м;
 ϵ_a – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды, Ф/м;

r – расстояние между точкой и осью, м.

Как следует из анализа векторной диаграммы (рис. 1), в определенный момент времени вектор напряженности поля в зоне нахождения семени имеет значение и направление, зависящее от места его расположения на обмотке (симметрично между проводами или ближе к одному из проводов). В любой точке поля результирующая напряженность равна геометрической сумме напряженностей поля от обоих проводов

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2. \quad (2)$$

Потенциал в данной точке поля равен сумме потенциалов от каждого провода

$$\varphi = \frac{q_l}{2\pi\epsilon_a} \left(\ln \frac{1}{r_1} - \ln \frac{1}{r_2} \right) = \frac{q_l}{2\pi\epsilon_a} \ln \frac{r_2}{r_1}, \quad (3)$$

где r_1, r_2 – соответственно, расстояние от данной точки до каждого из проводов, м.

Выразим напряжение между проводами

$$U = \frac{q_l}{2\pi\epsilon_a} \cdot 2 \cdot \ln \frac{d}{r_n} = \frac{q_l}{\pi\epsilon_a} \ln \frac{d}{r_n}, \quad (4)$$

где d – расстояние между осями проводов, м;

r_n – радиус провода, м.

Уравнение (4) позволяет определить заряд на единицу длины провода

$$q_l = \pi\epsilon_a U / \ln \frac{d}{r_n}. \quad (5)$$

Каждый провод бифилярной обмотки будет иметь знакопеременный заряд, изменяющийся с частотой напряжения питающей сети. Поскольку величина заряда пропорциональна питающему напряжению и зависит от конструктивных параметров обмотки, то напряженность поля и потенциал в зоне нахождения семени в соответствии с уравнениями (1-3) также будут определяться этими параметрами.

В созданном электрическом поле происходит поляризация частиц. В поляризованном веществе (семенах) молекулы представляют собой диполи, которые под действием поля стремятся ориентироваться таким образом, чтобы их электрический момент был направлен параллельно вектору напряженности электрического поля.

Электрический момент суммы диполей, находящихся в единице объема семени, определяет вектор поляризации \vec{p} , который пропорционален напряженности электрического поля [11]

$$\vec{p} = \lim_{V \rightarrow 0} \frac{\sum q_l \vec{l}}{V} = \epsilon_0 \chi \vec{E}, \quad (6)$$

где $q_l \vec{l}$ – электрический момент двух равных по величине и противоположных по знаку зарядов диполя, находящихся друг от друга на расстоянии l , Кл·м;

V – объем семени, м³;

χ – электрическая восприимчивость;

\vec{E} – вектор напряженности электрического поля, В/м.

В результате взаимодействия электрического поля, созданного каждым проводом бифилярной обмотки, с собственным полем поляризованной частицы образуются поляризационные силы (рис. 2).

В общем виде поляризационная сила определяется выражением [5, 6]

$$F = \frac{1}{2} \int_v E^2 (\text{grad} \epsilon_a) dv = \int_v \vec{n} \vec{p} (\text{grad} E) dv, \quad (7)$$

где dv – элементарный объем частицы, м³;

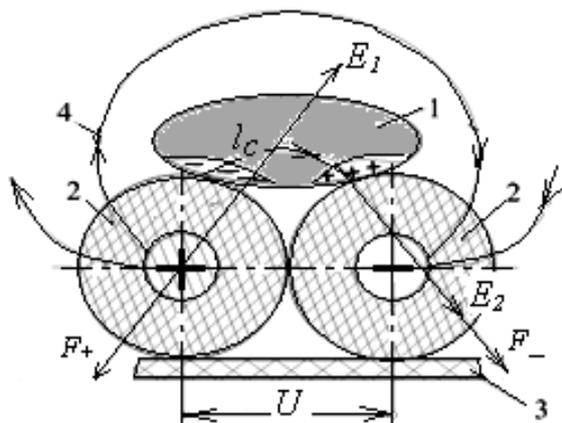


Рисунок 2. Схема поляризации связанных зарядов семени и создания поляризационных сил F_- и F_+ :
1 – семя; 2 – изоляция проводов-электродов;
3 – фрагмент поверхности диэлектрического барабана; 4 – силовые линии электрического поля;
 U – напряжение питания

E – напряженность электрического поля, В/м;
 n – число диполей в единице объема вещества семени, $1/м^3$;
 \bar{p} – электрический момент поляризованной молекулы, Кл/м.

Выражение (7) указывает на неоднородность изменения диэлектрических свойств ($grad\epsilon_a$) и электрического поля ($gradE$), которые, в свою очередь, определяют, так называемую, пондеромоторную силу F_{II} . Как показано на рисунке 3, для шарообразной частицы пондеромоторная сила равна векторной сумме поляризационных сил F_- и F_+ .

С учетом конструктивных и технологических параметров бифилярной обмотки электрическую пондеромоторную силу F_{II} можно представить уравнением [5, 6]

$$F_{II} = \frac{S_{эф} U^2 \epsilon_3 \epsilon_{II} (\epsilon_3 - 1)}{(2\delta_{II} \epsilon_3 + l_c \epsilon_{II})^2} \cos \frac{\alpha}{2}, \quad (8)$$

где $S_{эф}$ – эффективная поверхность заряженной части семени, контактирующая с изоляцией проводов, $м^2$;

U – питающее напряжение, В;

ϵ_{II} и ϵ_3 – абсолютные диэлектрические проницаемости изоляции провода и семени, Ф/м;

δ_{II} – толщина изоляции проводов, м;

l_c – средняя длина силовой линии поля в семени (рис. 2), м;

α – угол между направлениями действия сил на семя со стороны разноименно заряженных проводов, град.

Анализ уравнений (1), (6), (7) и (8) показывает, что силовое воздействие электрического поля на семя зависит от напряженности и степени неоднородности поля, соотношения диэлектрических проницаемостей частиц и изоляции обмотки, размеров проводов, изоляции обмотки и контактируемых частиц, места их расположения. Поэтому в качестве мер исключения застревания частиц вороха в пазах обмотки можно предложить заполнение пазов изоляционными нитями или наложение на всю поверхность обмотки пленочного покрытия [9, 10].

Как следует из анализа расположения частицы на пленочном покрытии (рис. 3б), по сравнению с размещением в пазах между проводами обмотки (рис. 3а), изменяются некоторые параметры, влияющие на условия поляризации и величину электрической силы. В частности, за счет наличия пленочного покрытия частица несколько отдалится от проводов обмотки, и в соответствии с уравнением (8) другие значения приобретают величины $S_{эф}$, l_c и α , а также добавляется влияние диэлектрической проницаемости ϵ_{II} и толщины пленочного покрытия δ_{II} . Соответственно, эти изменения определяющих факторов должны сказаться на степени очистки вороха и кон-

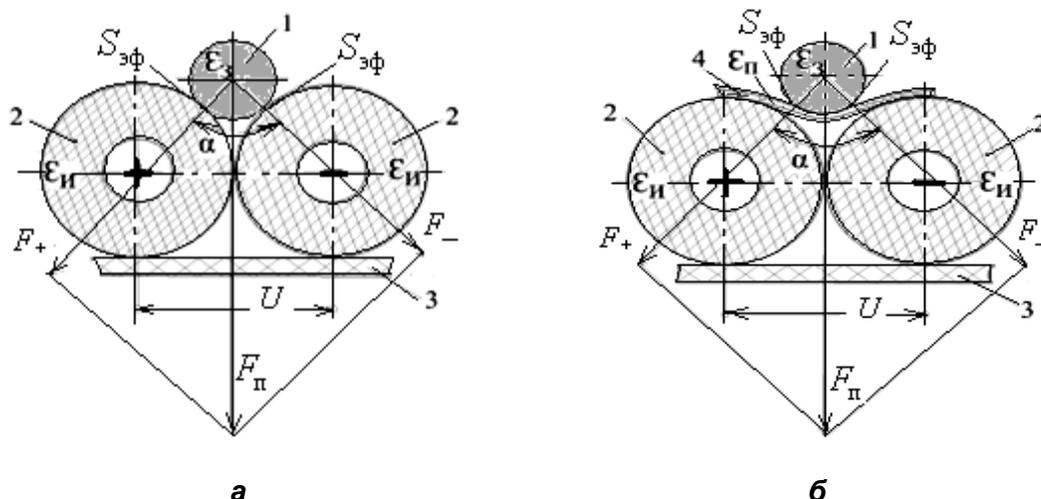


Рисунок 3. Векторная диаграмма электрических сил, действующих на семя, лежащее на поверхности обмотки сепаратора (а) и на пленочном покрытии (б): 1 – семя; 2 – изоляция проводов-электродов; 3 – фрагмент поверхности диэлектрического барабана; 4 – пленочное покрытие

диционирования семян, что необходимо подтвердить экспериментальным путем.

В опытах по изучению поведения частиц на барабане сепаратора использовали семена укропа и кориандра, так как они имеют разные размеры, форму и массу и больше соответствуют приведенным выше теоретическим обоснованиям. Семена укропа имеют удлиненную форму (длина – 1,5-2 мм; толщина – 0,8-1,0 мм; масса 1000 семян – 4,5-5 г), а кориандра – сферическую (диаметр – 2-3 мм; масса 1000 семян – 13-15 г). Подготавливали навески исходного вороха, массой 100 г каждая. Для покрытия обмотки на барабане использовали полиэтиленовую пленку толщиной $\delta_{\Pi} = 50$ мкм.

На семя, находящееся на барабане, в процессе электросепарации действует система сил: механических (тяжести, трения, центробежная) и электрических. При определенном их соотношении семена или отрываются от поверхности в некоторой точке, или удерживаются на барабане. Для определения угла скатывания задавали напряжение на обмотке, помещали семя в верхней части барабана и засекали место отрыва семени. Графически находили угол между горизонталью и касательной к точке отрыва частицы на барабане.

Экспериментально установлено (рис. 4), что угол скатывания семян β с поверхности барабана определяется размерами, формой и массой семян, а также величиной напряжения на обмотке.

В диапазоне рассматриваемого при сепарации рабочего интервала напряжений 400-2000 В углы скатывания семян с поверхности барабана находятся в следующих пределах: для укропа $\beta = 73^{\circ} - 85^{\circ}$; для кориандра $\beta = 38^{\circ} - 43^{\circ}$. С учетом угла β моменты и места отрыва семян укропа и кориандра будут разными.

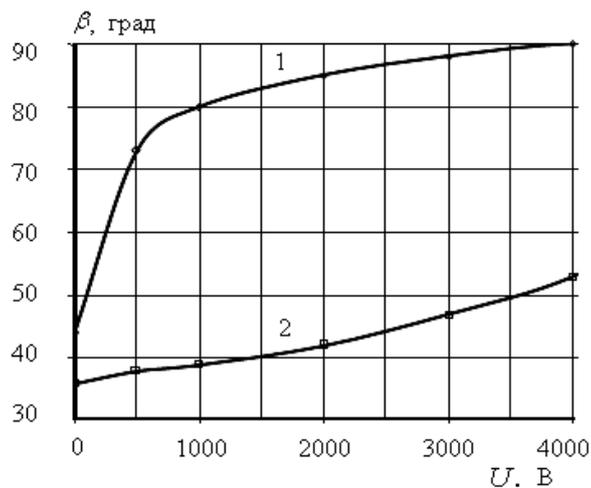


Рисунок 4. Зависимость угла скатывания семян укропа (1) и кориандра (2) при сепарировании от напряжения на бифилярной обмотке

Значит, для более мелких и легких семян потребуется устанавливать меньшее рабочее напряжение, чтобы электрическая сила в нужном месте не препятствовала отрыву кондиционной частицы и попаданию в первую секцию классификатора.

Результаты опытов очистки семенного вороха укропа и кориандра с использованием пленочного покрытия барабана сепаратора (и для сравнения без покрытия, в зависимости от напряжения питания)

Таблица. Массовое распределение частиц семенного вороха (г) по секциям классификатора при различных напряжениях на бифилярной обмотке сепаратора

Напряжение, В	Укроп			Кориандр		
	I секция	II секция	III секция	I секция	II секция	III секция
Барабан заводского изготовления						
200	90	4	6	88	5	7
400	92	3	5	90	4	6
600	88	5	7	86	6	8
800	75	10	15	78	8	14
1000	68	14	18	72	12	16
Барабан с пленочным покрытием						
200	91	3	6	92	3	5
400	94	2	4	94	2	4
600	92	3	5	96	1	3
800	80	7	13	84	6	10
1000	72	12	16	76	10	14

приведены в таблице.

В процессе электросепарации основная часть более крупных кондиционных семян попадает в первую секцию классификатора. В среднюю секцию попадают мелкие семена и части вороха, а в третью с помощью щетки сметаются мелкие остатки и пылеобразные частицы. При шаговом изменении питающего напряжения состав разделяемых продуктов в секциях классификатора несколько изменяется. При малом значении, а также с ростом напряжения выше оптимального вследствие возрастания электрической силы определенные части кондиционных семян обнаруживаются в других секциях.

Как следует из анализа полученных результатов (табл.), в некоторых диапазонах питающего напряжения диэлектрический сепаратор обеспечивает достаточно высокую степень очистки семян: до 90...92 % в исходной установке и до 94...96% в модифицированной. Наличие пленочного покрытия на барабане устраняет застревание семян, и в первой секции классификатора получают кондиционные семена без посторонних примесей.

Заключение

Полученные результаты экспериментальных исследований подтверждают теоретические обоснования возможности повышения степени очистки семенного вороха мелкосемянных культур путем применения пленочного покрытия рабочего барабана диэлектрического сепаратора и увеличения питающего

напряжения на 200-400 В в сравнении с базовым вариантом.

После такой модернизации изменяются основные определяющие факторы, влияющие на условия поляризации связанных зарядов частиц семенного вороха и величину электрической силы, прижимающей их к поверхности барабана. Наличие пленочного покрытия на барабане при оптимальном значении питающего напряжения для каждой культуры обеспечивает более высокую степень разделения семян (до 92-94 % укропа и до 94-96 % кориандра).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Основы растениеводства: учеб. пособие / И.П. Козловская [и др.]; под ред. И.П. Козловской. – Минск: Беларусь, 2010. – 328 с.
2. Алексейчук, Г.Н. Физиологическое качество семян сельскохозяйственных культур и методы его оценки / Г.Н. Алексейчук, Н.А. Ламан. – Минск: Право и экономика, 2005. – 48 с.
3. Решетников, В.Н. Электросепарация и плазменно-микроволновое воздействие на семена и растительные объекты / В.Н. Решетников, Е.А. Городецкая, В.В. Ажаронок // Inzenieria i aparatura chemiczna. – 2006. – № 1-2. – Str. 66-67.

4. Ламан, Н.А. Физиологические основы и технологии предпосевной обработки семян: ретроспективный анализ, достижения и перспективы / Н.А. Ламан // Матер. 5-й Междунар. научн. конф. «Теоретические и прикладные аспекты биохимии и биотехнологии растений». – Минск. – 2007. – С. 3.

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

6. Шмигель, В.В. Сепарация и стимуляция семян в электрическом поле: дисс... докт. с.-х. наук: 05.20.02 РФ / В.В. Шмигель. – Кострома, 2004. – 405 с.

7. Электротехнологии: пособие / И.Б. Дубодел [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2014. – 252 с.

8. Заяц, Е.М. Электротехнология: учеб. пособие. / Е.М. Заяц. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – 400 с.

9. Корко, В.С. Электрофизические методы стимуляции растительных объектов / В.С. Корко, Е.А. Городецкая. – Минск: БГАТУ, 2013. – 232 с.

10. Городецкая, Е.А. Исследование электрофизиохимической стимуляции семян зеленных культур / Е.А. Городецкая, В.С. Корко // Агропанорама. – 2012. – № 5. – С. 18-21.

11. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле / Л.А. Бессонов. – Москва: Гардарики, 2003. – 320 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 09.01.2023

Счетчик газа ультразвуковой СГУ001 типоразмеров G16-G25

Предназначены для измерения объемного расхода горючего газа по ГОСТ 5542-87 или паров сжиженного углеводородного газа по ГОСТ 20448-90 с приведением измеренного объема газа к нормальным условиям, т.е. к температуре газа 20 °С и плотности 0,72 кг/м³ с отображением информации об объеме израсходованного газа на табло счетчика с возможностью передачи информации в централизованную систему учета.



Основные технические данные

Рабочий диапазон температур, °С	от - 30 до + 50
Рабочий диапазон расхода газа, м ³ /час	от 0,16 до 40
Основная относительная погрешность, не более, %	± 3
Порог чувствительности, не более, м ³ /час	0,05
Наибольшее избыточное рабочее давление газа, кПа	100
Число разрядов индикаторного табло счетчика	8
Дополнительная относительная погрешность при изменении температуры окружающей среды от - 30 до +50 °С, не более	0,01% на 1 °С