

Научная статья
УДК 621
EDN CQPWFB

**Анализ поведения семян сои как
диэлектрической частицы в электромагнитном поле**

Анна Евгеньевна Матусевич¹, студент магистратуры
Научный руководитель – Максим Валерьевич Шевченко², кандидат
сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой электроэнергетики и
электротехники
^{1,2}Дальневосточный государственный аграрный университет, Амурская
область, Благовещенск, Россия
¹anna_12092000@mail.ru

Аннотация. Приведена информация об электрических свойствах диэлектрического материала. Рассмотрено поведение частицы в электромагнитном поле и силы, влияющие на энергетические параметры диэлектрических тел.

Ключевые слова: Электрическое поле, заряд, напряженность, частица, сила, электропроводность

Для цитирования: Матусевич А. Е. Анализ поведения семян сои как диэлектрической частицы в электромагнитном поле // Актуальные исследования молодых ученых – результаты и перспективы : материалы науч.-практ. конф. (Благовещенск, 8 февраля 2024 г.). Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2024. С. 237–244.

**Analysis of soybean seeds behavior as
a dielectric particle in the electromagnetic field**

Anna E. Matusevich¹, master's student
Scientific advisor – Maxim V. Shevchenko², Candidate of Agricultural Sciences,
Head of the Department of Electrical Power Engineering and Electrical
Engineering
^{1,2}Far Eastern State Agrarian University, Amur region, Blagoveshchensk, Russia
¹anna_12092000@mail.ru

Abstract. The information on electrical properties of dielectric material is given. The behavior of a particle in an electromagnetic field and forces affecting the energy parameters of dielectric bodies are considered.

Keywords: Electric field, charge, intensity, particle, force, conductivity

For citation: Matusevich A. E. Analiz povedeniya semyan soi kak dielektricheskoy chastitsy v elektromagnitnom pole [Analysis of soybean seeds

behavior as a dielectric particle in the electromagnetic field] *Aktual'nye issledovaniya molodykh uchenykh – rezul'taty i perspektivy : materialy nauch.-prakt. konf.* (Blagoveshchensk, 8 fevralya 2024 g.). Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyy GAU, 2024, pp. 237–244. (in Russ.).

В агропромышленной отрасли важным вопросом в выращивании растительных культур является предварительная обработка семян для поддержания вегетативных функций и искоренение вредоносных факторов. Электромагнитное поле, как безопасный и экологичный способ обработки на данный момент имеет значительный потенциал в области обеззараживания и повышения энергии прорастания.

Цель исследования – выявление особенностей обработки семян сои в электромагнитном поле как диэлектрической частицы, а также выделение характеристик, влияющих на поведение частицы в электромагнитном поле.

При наложении внешнего электрического поля происходит поляризация и зарядка мембранного бислоя клеток растений, что приводит к увеличению энергии электрического поля и усилению потока веществ в клетку [1].

Диэлектрические материалы имеют ряд характеристик, такие как:

- электропроводность материала;
- поляризация атомов или молекул;
- диэлектрические потери (тангенс диэлектрических потерь);
- электрическая прочность.

Электропроводность диэлектриков может иметь различный характер (электронный, ионный). В данном случае, рассматривая семена сои как диэлектрик, мы сталкиваемся именно с ионным подтипом электропроводности.

Для диэлектриков характерна ионная проводимость [2].

Присутствие в диэлектрике даже малого количества влаги увеличивает электрическую проводимость в большое количество раз, так как сильно

полярные молекулы воды и растворимые в воде примеси легко диссоциируют на ионы.

Влажные семена приведут к существенному росту носителей заряда, это происходит в следствии увеличения диссоциации молекул.

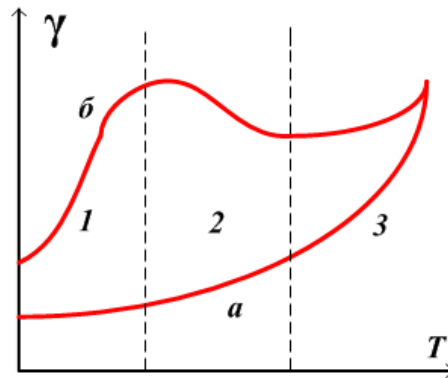


Рисунок 1 – Зависимость проводимости от температуры для диэлектриков с различным содержанием влаги

Как видно из зависимости на рисунке 1 величина удельной проводимости возрастает при увеличении температуры, передаваемой материалу, так же на проводящие свойства повлияют различного рода примеси.

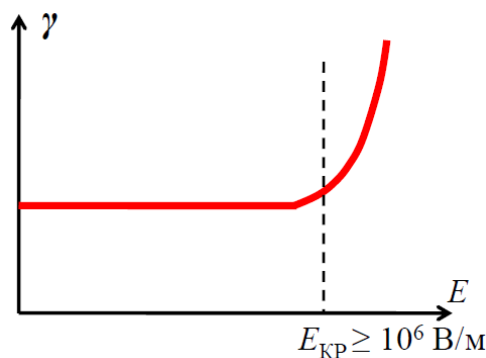


Рисунок 2 – Зависимость проводимости напряженности ЭП

Поляризация. Важнейшим параметром любого диэлектрика является его способность к поляризации. В нормальных условиях молекулы любого диэлектрического материала находятся в состоянии уравновешенных зарядов. Однако, при воздействии внешнего электрического поля, разноименные заряды молекул начинают менять свое положение

относительно друг друга двигаясь в противоположных направлениях, так, молекула обретает некий потенциал в пределах своих связей. В процессе таких преобразований диэлектрический материал приобретает некий дипольный момент. Сумма всех дипольных моментов всего объема диэлектрика характеризуется вектором поляризации (поляризованность) [3].

$$\bar{\rho} = \frac{\sum_i^N \rho l}{V}, \frac{\text{Кл}\cdot\text{м}}{\text{м}^3} = \text{Кл}\cdot\text{м}^{-2} \quad (1)$$

Диэлектрическими потерями называется электрическая мощность P , затрачиваемая на нагрев диэлектрика, находящегося в электрическом поле.

Отличительной характеристикой диэлектрика, пропавшего под влияние переменного напряжения является тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ – отношение активной и реактивной частей общего тока (рис 3).

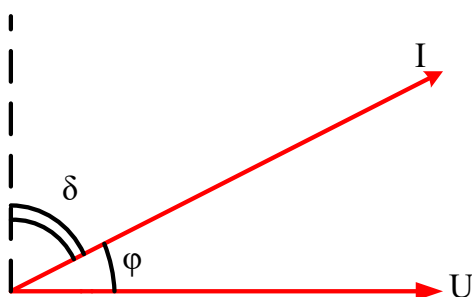


Рисунок 3 – Угол сдвига фаз между напряжением и током

Угол диэлектрических потерь δ будет равен

$$\delta = \varphi - 90^\circ \quad (2)$$

Тангенс угла диэлектрических потерь связан только с типом материала, из которого выполнен диэлектрик, то есть количество вещества на него никак не повлияет.

Электрическая прочность – это стойкость диэлектрика. [4] Возможность выдерживать некоторое количество напряженности поля, прежде чем произойдет пробой вещества. Данное свойство крайне важно в

экспериментах по воздействию ЭП на семена сои во избежание перегрева семян и их порче.

Под действием электрического поля заряженные частицы подвергаются действию различных сил.

– сила действия электрического поля на заряд (Кулоновская сила) – является основной и самой значимой силой, описывающей поведение зарядов

$$F_k = E \cdot Q \quad (3)$$

где E – напряженность электрического поля в месте, где находится заряд, В/м; Q – заряд частицы, Кл.

Направление напряженности берут равным направлению силы, действующей на положительный заряд [5].

Направление напряженности поля не зависит от знака заряда Q .

Если сравнить данную силу с силой тяжести на примере двух материалов (проводникового с $\epsilon_r = \infty$ и плотностью $\rho = 8 \cdot 10^3$ кг/м³ и диэлектрического с $\epsilon_r = 4$ и плотностью $\rho = 1 \cdot 10^3$ кг/м³), можно проследить значимость воздействия данного параметра (табл.).

Таблица

Материал	Диаметр d , м	Сила электрического поля, F_k , Н	Сила тяжести F_g , Н	F_k/F_g
Диэлектрический материал	$3 \cdot 10^{-5}$	$12,7 \cdot 10^{-9}$	$0,14 \cdot 10^{-9}$	91
	$3 \cdot 10^{-3}$	$12,7 \cdot 10^{-5}$	$13,9 \cdot 10^{-5}$	0,912
Проводниковый материал	$3 \cdot 10^{-5}$	$18,7 \cdot 10^{-9}$	$1,1 \cdot 10^{-9}$	17
	$3 \cdot 10^{-3}$	$18,7 \cdot 10^{-5}$	$111 \cdot 10^{-5}$	0,172

– сила, вызванная взаимодействием заряда частицы с электродом (сила зеркального отображения), F_3 , Н.

Для понимания действия данной силы стоит рассмотреть ситуацию, в которой имеется некоторая проводящая плоскость. В пределах этой плоскости на расстоянии h располагают точечный заряд. В данных условиях

кулоновская сила будет проявляться со стороны точечного заряда и индуцировать противоположный по знаку заряд непосредственно на проводящей плоскости. В дальнейшем мы можем наблюдать образование силы зеркального отображения, ведь разноименные заряды однозначно начнут взаимодействовать друг с другом.

Сила зеркального отображения описывается по формуле исходя из закона Кулона взаимодействием двух разноименных зарядов

$$F_3 = -\frac{Q^2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot (2 \cdot h)^2} \quad (4)$$

Для уточнения, что сила действует со стороны заряда и направлена в сторону проводящей плоскости, перед уравнением используется знак «минус».

– сила, возникающая при поляризации частицы

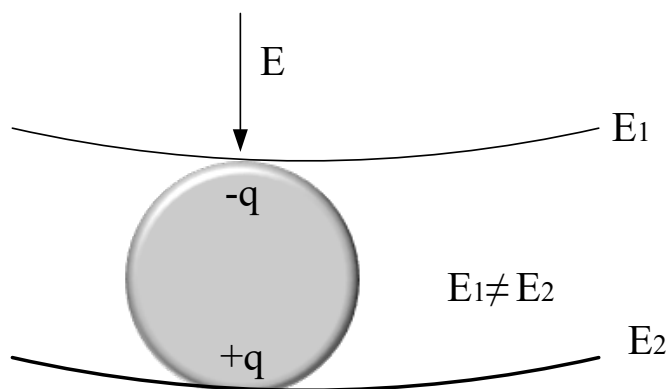


Рисунок 4 – Поляризованная частица в неоднородном ЭП

Как уже описывалось ранее, электромагнитное поле приводит к поляризации некоторых веществ, в частности диэлектриков. На разноименные заряды, которые в процессе поляризации перераспределились вдоль молекулы (частицы), будут действовать силы, направленные со стороны ЭП. Однако, в неоднородном ЭП эти силы будут различны за счет неоднородности напряженности поля в местах взаимодействия с частицей (рис. 4).

Учитывая, что семена сои имеют сферическую форму, сила, действующая на такую частицу в неоднородном ЭП, будет определяться по уточненной формуле

$$F_{\text{п}} = \frac{\pi \varepsilon_0 d^3}{2} \cdot \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 2} E \operatorname{grad} E \quad (5)$$

В ходе изучения и анализа литературы, была проведена зависимость электрических свойств диэлектриков при попадании в электромагнитное поле. Напряженность поля, частота и напряжение сети имеют важнейшую роль при взаимодействии электрического поля на диэлектрик, а в нашем случае – семена сои.

Список источников

1. Юсубалиев А. Влияние электрического поля на некоторые процессы при стимулировании семян // Проблемы современной науки и образования. 2019. № 6(139). С. 6–9. [10.24411/2404-2338-2019-10602](https://portal.tpu.ru/SHARED/v/VOV/uchebnaya_rabota/Tab5/Materials%201.pdf)
2. Васильева О. В. Электротехническое материаловедение : курс лекций Томск : Томский политехнический университет, 2019. https://portal.tpu.ru/SHARED/v/VOV/uchebnaya_rabota/Tab5/Materials%201.pdf
3. Ржевская С. П. Электротехнические материалы. Диэлектрики : курс лекций. Минск : БНТУ, 2009. С. 15.
4. Электрическая прочность диэлектриков // Школа для электрика : [сайт]. URL: <https://electricalschool.info/spravochnik/material/1839-jelektricheskaja-prochnost-dijelektrikov.html> (дата обращения 22.01.2024)
5. Басов А. М., Быков В. Г., Лаптев А. В., Файн В. Б. Электротехнология : учебное пособие. Москва: Агропромиздат, 1985. С. 210–212.

References

1. Yusubaliev A. Vliyanie elektricheskogo polya na nekotorye protsessy pri stimulirovanii semyan [The influence of the electric field on some processes when stimulating seeds]. *Problemy sovremennoy nauki i obrazovaniya*, 2019;6(139):6–9.(in Russ.).[10.24411/2404-2338-2019-10602](https://portal.tpu.ru/SHARED/v/VOV/uchebnaya_rabota/Tab5/Materials%201.pdf)
2. Vasil'eva O. V. Elektrotekhnicheskoe materialovedenie [Electrical materials science] : kurs lektsiy. Tomsk : Tomskiy politekhnicheskiiy universitet, 2019.

https://portal.tpu.ru/SHARED/v/VOV/uchebnaya_rabota/Tab5/Materials%201.pdf
(in Russ.).

3. Rzhetskaya S. P. Elektrotekhnicheskie materialy. Dielektriki [Electrical materials. Dielectrics] : kurs lektsiy. Minsk : BNTU, 2009, pp.15. (in Russ.).

4. Elektricheskaya prochnost' dielektrikov [Electrical strength of dielectrics]. Electricalschool.info Retrieved from <https://electricalschool.info/spravochnik/material/1839-jelektricheskaja-prochnost-dielektrikov.html> (Accessed 22 January 2024) (in Russ.).

5. Basov A. M., Bykov V. G., Laptev A. V., Fayn V. B. Elektrotekhnologiya [Electrotechnology] : uchebnoe posobie. Moscow : Agropromizdat, 1985, pp. 210–212. (in Russ.).

© Матусевич А. Е., 2024

Статья поступила в редакцию 26.01.2024; одобрена после рецензирования 14.02.2024; принята к публикации 06.03.2024.

The article was submitted 26.01.2024; approved after reviewing 14.02.2024; accepted for publication 14.02.2024.