

8. Nelson S.O. Review and assessment of radio-frequency and microwave energy for stored-grain insect control // Transactions of the ASAE. – 1996. – Vol.39. – No.4. – P. 1475–1484.

9. Rajagopal V. Disinfestation of stored grain insects using microwave energy: a thesis of doctor of philosophy / V. Rajagopal. – Manitoba, 2009. – 197 p.

Доказана целесообразность применения электрического поля высокой частоты для сушки и дезинсекции зерна. Предложен принцип построения установки для облучения зерна и других сыпучих материалов электрическим полем высокой частоты на основе многофазной многоэлектродной структуры. Используя теорию интегральных сингулярных уравнений в виде задачи сопряжения, рассчитано распределение напряженности электрического поля внутри камеры.

Электрическое поле, высокая частота, сушка, дезинсекция, интегральные сингулярные уравнения.

The usefulness of high-frequency electric field for drying and disinfestation of grain is proven. The construction principles of systems for irradiation of grain and other bulk materials with the high frequency electric field base on a multiphase multi-electrode structure is suggested. By using the theory of singular integral equations in the form of the conjugation problem the distribution of the electric field inside the chamber is calculated.

Electric field, high frequency, drying, disinfestation, singular integral equations.

УДК 621.324

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ НАНЕСЕННЯ ЖИВИЛЬНИХ РОЗЧИНІВ НА РОСЛИНИ В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ

**Г. Б. Іноземцев, доктор технічних наук
С. Д. Ващишин, аспірант***

Досліджено процеси нанесення живильних розчинів з низьким питомим об'ємним опором на рослини. Показано значні переваги індукційного методу зарядки краплин у технологічному процесі електростатичного нанесення живильних розчинів. Встановлено лінійну залежність зміни часу стікання електричного заряду з краплин живильних розчинів від їх питомого об'ємного опору.

Електричний заряд, електричне поле, діелектрична проникність, електропровідність, питомий об'ємний опір, індукційна, контактна зарядка, осадження краплин, рослина.

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор Г.Б. Іноземцев.

Підвищення врожайності овочевих культур – одна із важливих проблем розвитку агропромислового комплексу України. Кліматичні умови є сприятливими для вирощування як сезонних, так і позасезонних овочів в умовах закритого та відкритого ґрунту. Проте в галузі овочівництва загострилися проблеми, пов'язані із застосуванням застарілих технологій некореневого нанесення засобів захисту та живлення рослин.

Традиційні методи нанесення (пневматичний, механічний, гідравлічний) живильних розчинів, що мають низький питомий об'ємний опір не відповідають сучасним вимогам якості нанесення (висока полідисперсність подрібнення (від 30 до 500 мкм), нерівномірність осадження (від 45 до 60 %), низький ступінь покриття розчином із зворотної поверхні листя рослин (від 5 до 15 % тощо), що обумовлює втрати живильних розчинів (понад 60 %), зменшення ефективності засвоєння поживних речовин у рослин [2].

Вирішення проблеми можливо за рахунок застосування методів електротехнологій і в першу чергу електростатичного методу, який дозволяє підвищити якість та ефективність обробки рослин, забезпечуючи більш рівномірну густоту покриття (більш ніж 95 крапель на 1 см²) та однорідність, монодисперсність краплин розміром (30–60 мкм), високу ефективність осадження та утримання краплин із зворотної поверхні листя (до 75 %). Ефективність застосування методу в значній мірі визначається процесами зарядки та осадження краплин, які при нанесенні живильних розчинів із низьким питомим об'ємним опором на рослини є недостатньо вивченими та потребують більш глибоких досліджень.

Мета досліджень – вивчення процесів нанесення живильних розчинів з низьким питомим об'ємним опором на рослини залежно від методу зарядки.

Матеріали та методика досліджень. Процес електростатичного нанесення живильних розчинів із низьким питомим об'ємним опором на рослини в значній мірі обумовлюється величиною та здатністю краплин утримувати електричний заряд і в першу чергу при осадженні на рослини. При застосуванні електротехнології переважно використовують: іонний, контактний та індукційний методи зарядки.

Контактна зарядка відбувається в результаті контакту розчину з коронуючою кромкою зарядного електрода (рис.1.), основною особливістю якого є створення високої напруженості електричного поля в області контакту розчину, що сприяє високій ступені його зарядки.

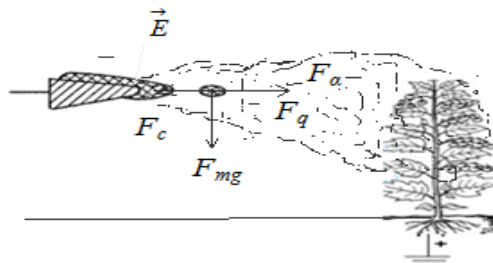


Рис.1. Принципова схема контактної зарядки краплин живильного розчину:

E – напруженість електричного поля, В/м; F_c , F_{mg} , F_q , F_a – відповідно сили опору середовища, земного тяжіння, електричного поля та аеродинамічного потоку повітря, Н

Контактна зарядка супроводжується іонізацією повітря, яка, на наш погляд, у ряді випадків негативно впливає на процес нанесення розчинів, які швидко віддають електричний заряд. Тобто, іонізація повітря поблизу коронуючого електрода, обумовлює стікання заряду з краплин розчинів у повітря.

Величину електричного заряду краплини при контактній зарядці визначають за формулою [6]:

$$Q = R^2 \frac{U}{r \ln \frac{2H}{r}} \left[1 - A 10^{-12} \frac{\varepsilon \rho_v}{H^2} U \right] \quad (1)$$

де R , r – радіус краплини та коронуючої кромки зарядного електрода, мкм; U – напруга джерела живлення, кВ; H – міжелектродна відстань, м; ε , ρ_v – відповідно діелектрична проникність та питомий об'ємний опір розчину, Ом*м; A – розрахункова стала.

Індукційна зарядка краплин відбувається в зоні високовольтного електрода і після отримання електричного заряду виносяться потоком повітря, зберігаючи заряд (рис.2). Зменшення стікання його на заземлений електрод обумовлюється подачею потоку повітря. Стікання заряду визначається електрофізичними властивостями краплин та середовища.

Індукційна зарядка відбувається у поперечному електричному полі, що обумовлює необхідність застосування аеродинамічної сили повітря. Тобто невід'ємною складовою індукційного методу зарядки краплин є високошвидкісний потік повітря, який запобігає стіканню електричного заряду на заземлений електрод. Враховуючи цю особливість, можна припустити, що рух краплин у проміжку (зарядний електрод – рослина) здійснюється під дією аеродинамічної сили, а осадження заряджених краплин по мірі наближення до рослини, як показують експериментальні дослідження під дією електричної сили.

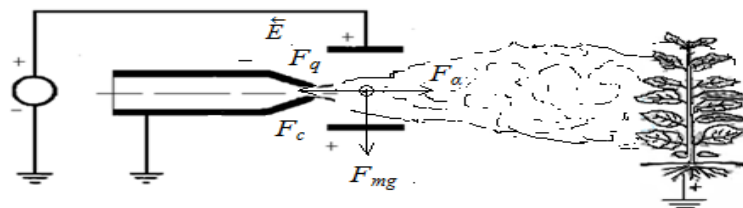


Рис.2. Принципова схема індукційного методу зарядки краплин живильного розчину:

E – напруженість електричного поля, В/м; F_c , F_{mg} , F_q , F_a – відповідно сили опору середовища, земного тяжіння, електричного поля та аеродинамічного потоку повітря, Н

Величину заряду краплини при індукційному методі, визначають за формулою [1]:

$$q = -\pi \varepsilon_0 E \frac{bc}{d_a} \quad (2)$$

де ϵ_0 – електрична постійна, Ф/м; a, b, c – півосі еліпсоїда, мкм;
 $d_a = \frac{c}{b}$, – коефіцієнт деполаризації еліпсоїда в напрямку осі x; E – напруженість електричного поля, В/м.

Характеристика методів зарядки краплин наведена в таблиці.

Характеристика методів зарядки

Метод зарядки	Переваги	Недоліки
Контактний	Надійний та простий в управлінні процесом, висока ефективність зарядки краплин (максимальний електричний заряд понад 90 %), плавне регулювання дисперсності подрібнення краплин.	Швидке стікання електричного заряду з краплин, що мають низький питомий об'ємний опір, висока вартість електростатичних установок, значний вплив подачі розчину на ефективність зарядки, підвищені вимоги до електробезпеки.
Індукційний	Надійний та простий в управлінні процесом, можливість застосування напруги (1-25кВ), можливість зарядки розчинів з низьким питомим об'ємним опором, низька вартість установок на основі цього методу зарядки, можливість транспортування заряджених краплин на значну відстань.	Середня ефективність зарядки краплин (максимальний електричний заряд до 60 %), значний вплив подачі розчину на ефективність зарядки, підвищені вимоги до електробезпеки.

Аналіз таблиці дає підстави стверджувати про переваги застосування індукційного методу в технологічному процесі нанесення живильних розчинів з низьким питомим об'ємним опором на рослини.

Важливими процесами, що впливають на ефективність нанесення є рух та осадження заряджених краплин на поверхню рослин, які супроводжуються рекомбінацією та стіканням електричного заряду.

Процес стікання починається з моменту відриву краплин від зарядного електрода. Це дає підстави допустити, що процес стікання електричного заряду з краплин живильних розчинів, треба розглядати у двох випадках: 1) взаємодія заряджених краплин з діелектричним середовищем (рух у повітрі); 2) взаємодія заряджених краплин з провідним середовищем (осадження на поверхню рослин).

Результати досліджень. Дослідження показують, що час стікання електричного заряду з краплин живильних розчинів суттєво залежить від електрофізичних властивостей середовища, з яким контактує краплина. Для живильних розчинів з низьким питомим об'ємним опором ($\rho_v = 2 \cdot 10^2 \cdot 10^3$) Ом·м та діелектричною проникністю ($\epsilon \approx 80$) при взаємодії з провідним середовищем, час стікання заряду становить ($\tau = 2,1 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-8}$ с). Тобто процес стікання електричного заряду з краплин живильних розчинів при контакті з рослиною відбувається миттєво. При взаємодії краплин жи-

вильного розчину з діелектричним середовищем (питомий об'ємний опір повітря $\rho_v \approx 10^{14}$ Ом·м, діелектрична проникність $\epsilon \approx 1$) час стікання заряду уповільнюється та становить ($\tau = 88,5$ с).

Встановлено лінійну залежність часу стікання електричного заряду від питомого об'ємного опору живильних розчинів (рис.3), що описується формулою:

$$\tau = \epsilon \rho_v \epsilon_0, \quad (3)$$

де ϵ , ρ_v – відповідно діелектрична проникність та питомий об'ємний опір розчину, Ом·м; ϵ_0 – електрична стала, $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

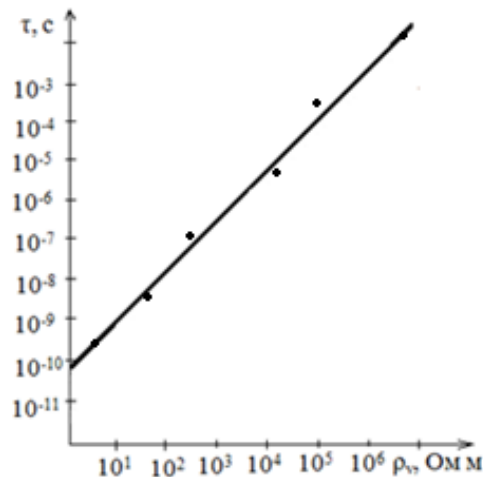


Рис.3. Залежність часу стікання заряду (τ) від питомого об'ємного опору (ρ_v) живильних розчинів

Результати наших досліджень демонструють стікання електричного заряду з краплин живильних розчинів, які мають низький питомий об'ємний опір в значній мірі погоджуються з даними інших дослідників [3,4,5].

Висновки

Аналіз методів зарядки краплин живильних розчинів показав значні переваги застосування індукційного методу, який обумовлює можливість зарядки розчинів з низьким питомим об'ємним опором, застосування напруги (1–25 кВ), транспортування краплин на значну відстань (більше ніж 2 м), зменшення втрат.

Час стікання електричного заряду з краплин живильних розчинів значно залежить від питомого об'ємного опору навколишнього середовища (при взаємодії з повітрям $\tau = 88,5$ с, рослиною $\tau = 2,1 \cdot 10^{-7} \dots 10^{-8}$ с) і змінюється за лінійним законом.

Список літератури

1. Верещагин И. П. Основы электрогазодинамики дисперсных систем / И.П. Верещагин, В.И. Левитов. – М.: Энергия, 1974. – 479 с.
2. Іноземцев Г. Б. Науково-технічні передумови застосування електричного поля при захисті рослин / Г.Б. Іноземцев // Енергетика і автоматика. – 2006. – №3(7). – С. 12 – 18.

3. Anantheswaran, R. C. Electrostatic precipitation of pesticide sprays onto planar targets. *Trans. ASAE*, 1981. 24(2), С.273-276.
4. Carlton J. B. Electrical capacitance determination and some implications for an electrostatic spray-charging aircraft. *Trans. ASAE*, 1975. 18(4), С.641-644.
5. Law S.E. Embedded electrode electrostatic-induction spray-charging nozzle: theoretical and engineering design. *Trans. ASAE*, (1978). 21(6), С.1096-1104.
6. Splinter, W. G. Electrostatic charging of agricultural sprays. *Trans. ASAE*, 1988. 11(4), С.491-495.

Исследованы процессы нанесения питательных растворов с низким удельным объемным сопротивлением на растения. Показаны значительные преимущества индукционного метода зарядки капель в технологическом процессе электростатического нанесения питательных растворов. Установлена линейная зависимость изменения времени стекания электрического заряда с капель питательных растворов от их удельного объемного сопротивления.

Електрический заряд, електрическое поле, диелектрическая проницаемость, електропроводность, удельное объемное сопротивление, индукционная, контактна зарядка, осаждения капель, растение.

Study of the processes of applying nutrient solutions with low specific volume resistance in plants. Established a significant advantage of the method of induction charging droplets in the process of electrostatic application of nutrient solutions. The established linear dependence of the time flow of electric charge on droplets of nutrient solution to their specific volume resistance.

Electric charge, electric field, dielectric constant, conductivity, specific volume resistance, induction, contact charging, deposition of droplets, plant.

УДК 536.2

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНОСУ ТА ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛОБМІННИКА З КОМПАКТНИМ РОЗМІЩЕННЯМ ПУЧКІВ ТРУБ

**В. Г. Горобець, доктор технічних наук
В. І. Троханяк, аспірант***

Проведено моделювання процесів переносу маси та теплоти в каналах кожухотрубного теплообмінника для різних конструкцій пучків

* Науковий керівник – доктор технічних наук В.Г. Горобець.