

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ РУХУ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ В ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОМУ ПОЛІ

Г. Б. Іноземцев, доктор технічних наук

А. В. Жильцов, доктор технічних наук

С. Д. Ващишин, асистент

Наведена математична модель динаміки руху живильного розчину в електростатичному полі, яка обумовлює можливість визначення технологічних параметрів електротехнологічного комплексу для нанесення живильних розчинів на рослини.

Електростатичне поле, динаміка руху краплин, електричний заряд, напруженість електричного поля, опір середовища, живильний розчин.

Ефективність вирощування та урожайність овочевих культур в значній мірі залежить від технології захисту та живлення рослин, які обумовлюють сприятливі умови для їх розвитку та росту.

На сьогоднішній день захист та живлення рослин проводять шляхом некореневого нанесення розчинів, переважно пневматичним, механічним та гідравлічним методом, яким притаманні значні втрати робочих розчинів (до 40 – 75 %), нерівномірність осадження, висока полідисперсність подрібнення (краплини розміром від 30 до 500 мкм), низький ступінь покриття розчином із зворотної поверхні листя рослин (від 5 до 15 %), що обумовлює перевитрати живильних розчинів, забруднення навколишнього середовища, затримання і зменшення ефективності засвоєння поживних речовин у рослин.

Зменшення впливу цих негативних факторів, як показують останні дослідження [2], може здійснюватись за рахунок застосування електротехнологічних методів і в першу чергу, електростатичного методу, який

дозволяє підвищити якість та ефективність обробки рослин, забезпечуючи більш рівномірне та однорідне покриття поверхні рослин, монодисперсність краплин, високу ступінь осадження та утримання краплин на верхній та нижній поверхні листя, а також зменшення забруднення навколишнього середовища.

Для розробки електротехнологічного комплексу по нанесенню живильних розчинів на рослини в електростатичному полі, необхідно знати його електрофізичні та технологічні параметри, які визначаються на основі аналізу динаміки руху краплин.

Мета досліджень – визначення електрофізичних параметрів електротехнологічного комплексу на основі розробки математичної моделі динаміки руху живильного розчину в електростатичному полі.

Матеріали та методика досліджень. Для визначення динаміки руху (рис.1) живильного розчину в електростатичному полі, вирішуємо рівняння руху, яке враховує вплив ряду сил: F_e , F_g , F_c – відповідно сили електричного поля, земного тяжіння та опору середовища [1].

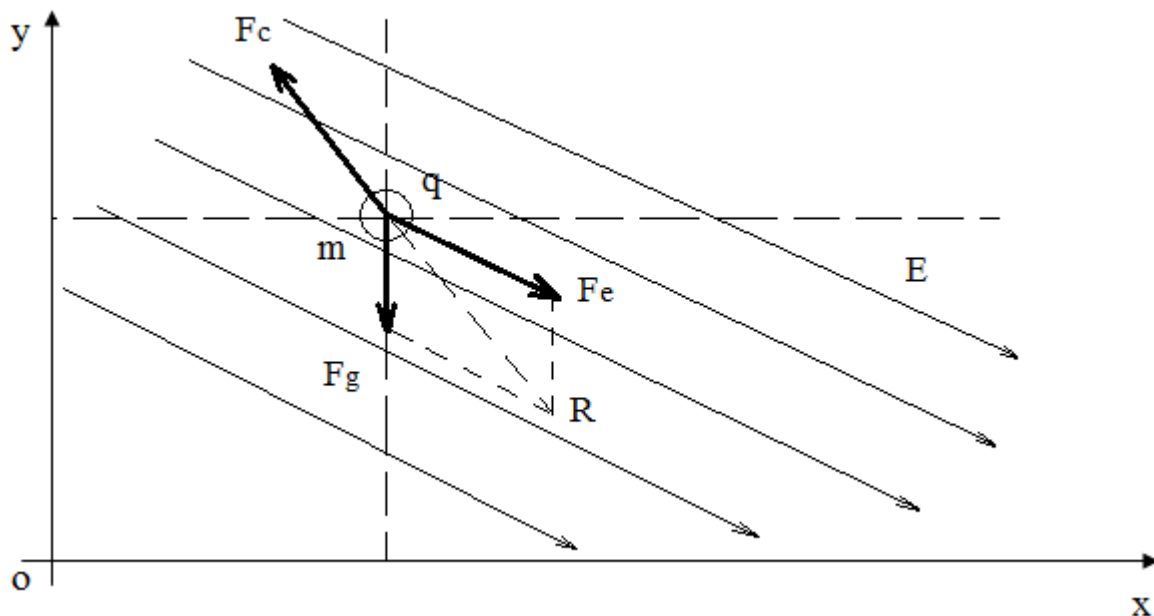


Рис. 1. Сили, що впливають на динаміку руху зарядженої краплини живильного розчину в електростатичному полі

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_e + \vec{F}_g + \vec{F}_c, \quad (1)$$

в проекціях на осі координат:

$$m \frac{dv_x}{dt} = qE_x + F_{cx}; \quad (2)$$

$$m \frac{dv_y}{dt} = qE_y + mg_y + F_{cy}. \quad (3)$$

Задача з початковими умовами руху зарядженої краплини в зовнішньому електростатичному полі з урахуванням сили опору середовища має наступний вигляд:

$$\begin{cases} m \frac{dv_x}{dt} = qE_x(x, y) - kv_x(t) \sqrt{v_x^2(t) + v_y^2(t)} \\ m \frac{dv_y}{dt} = qE_y(x, y) - mg - kv_y(t) \sqrt{v_x^2(t) + v_y^2(t)}, \end{cases} \quad (4)$$

$$m \frac{dx}{dt} = v_x(t); \quad (5)$$

$$m \frac{dy}{dt} = v_y(t); \quad (6)$$

$$x(0) = x_0; y(0) = y_0; v_x(0) = v_{x0}; v_y(0) = v_{y0}. \quad (7)$$

де v_x, v_y – проекції на координатній осі швидкості руху краплини; E_x, E_y – проекції на координатній осі напруженості зовнішнього електростатичного поля; m, q – маса та заряд краплини; k – коефіцієнт опору середовища; t – час; x, y – координати краплини; x_0, y_0 – початкові координати; v_{x0}, v_{y0} – проекції на координатній осі початкової швидкості руху краплини, g – прискорення вільного падіння.

Результати досліджень. Обравши на осі часу t в загальному випадку нерівномірну сітку $\omega\{t_n, n = 0, 1, \dots, t_0 = 0, \Delta t_n = t_n - t_{n-1} - \text{крок}\}$, після чого

проінтегрувавши рівняння (1)-(7) замінивши інтеграли в інтервалі $[t_{n-1}, t_n]$ кінцевими сумами, використовуючи наступні формули з ваговими коефіцієнтами:

$$\int_{t_{n-1}}^{t_n} f(t) dt = C f^{(n)} \Delta t_n + (1 - e) f^{(n-1)} \cdot \Delta t,$$

приходимо до наступної різницевої схеми:

$$m v_x^{(n)} = q C E_x(x^{(n)}, y^{(n)}) \Delta t_n - k C v_x^{(n)} \sqrt{(v_x^{(n)})^2 + (v_y^{(n)})^2} \cdot \Delta t_n + (1 - C) \cdot q E_x(x^{(n-1)}, y^{(n-1)}) \cdot \Delta t_n - k(1 - C) \cdot v_x^{(n-1)} \sqrt{(v_x^{(n-1)})^2 + (v_y^{(n-1)})^2} \cdot \Delta t_n + m v_x^{(n-1)}; \quad (8)$$

$$m v_y^{(n)} = q C E_y(x^{(n)}, y^{(n)}) \Delta t_n - k C v_y^{(n)} \sqrt{(v_x^{(n)})^2 + (v_y^{(n)})^2} \cdot \Delta t_n + (1 - C) \cdot q E_y(x^{(n-1)}, y^{(n-1)}) \cdot \Delta t_n - k(1 - C) \cdot v_y^{(n-1)} \sqrt{(v_x^{(n-1)})^2 + (v_y^{(n-1)})^2} \cdot \Delta t_n + m v_y^{(n-1)} - m g \cdot \Delta t_n; \quad (9)$$

$$m \frac{dx}{dt} = v_x(t); \quad (10)$$

$$\int_{t_{n-1}}^n dx = \int_{t_{n-1}}^n v_x(t) dt \Rightarrow x^{(n)} - x^{(n-1)} = C v_x^{(n)} \Delta t_n + (1 - C) \cdot v_x^{(n-1)} \Delta t_n; \quad (11)$$

$$\begin{cases} x^{(n)} = x^{(n-1)} + C v_x^{(n)} \Delta t_n + (1 - C) v_x^{(n-1)} \Delta t_n; \\ y^{(n)} = y^{(n-1)} + C v_y^{(n)} \Delta t_n + (1 - C) v_y^{(n-1)} \Delta t_n \end{cases}; \quad (12)$$

$$x^{(0)} = x_0; y^{(0)} = y_0; v_x^{(0)} = v_0; v_y^{(0)} = v_0. \quad (13)$$

де C – ваговий коефіцієнт, що приймає значення з множини $\{0; 0,5; 1\}$. При $C=0$ та $C=1$, формула (8) представляє собою формулу прямокутників, а при $C=0,5$ формулу трапеції.

Система рівнянь (8) – (13) дозволяє визначити значення швидкості руху та координат заряджених краплин в n -ний момент часу, знаючи їх значення на $(n-1)$ кроку часу.

Висновки

Запропонована нова математична модель динаміки руху живильного розчину в електростатичному полі, яка обумовлює можливість визначення швидкості руху живильного розчину та її координати в потоці на протязі всього процесу нанесення.

Список літератури

1. Верещагин И.П., Левитов В.И. и др. Основы электрогазодинамики дисперсных систем / И.П. Верещагин, В.И. Левитов и др. – М., «Энергия», 1974. – С. 479.
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. Іноземцев Г.Б. Активація та стимуляція росту овочевих культур шляхом нанесення живильних розчинів електростатичним методом / Г.Б. Іноземцев, С.Д. Ващишин // Енергетика і автоматика – 2012.– №1. – С. 14 – 22.

Приведенная математическая модель динамики движения питательного раствора в электростатическом поле, обуславливает возможность определения технологических параметров электротехнологического комплекса для нанесения питательных растворов на растения.

Електростатичне поле, динаміка руху крапель, електричний заряд, напруженість електричного поля, опір середовища, живильний розчин.

A mathematical model of the dynamics of nutrient solution in an electrostatic field which causes the ability to define complex electro-technological parameters for the application of nutrient solutions for plants.

Electrostatic field dynamics of droplets, electric charge, electric field strength, the resistance of the medium, nutrient solution.