

**ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ ТА СИСТЕМИ**

УДК 632.939

**ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ ПРИ
АЕРОЗОЛЬНІЙ ОБРОБЦІ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ**

Діордієв В. Т., д.т.н.,

Кашкар'єв А. О., к.т.н.,

Новіков Г. В., інженер

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: 0619-42-11-74

Анотація – розглянуто можливість використання аерозольних технологій для передпосівної обробки зернового матеріалу з використанням електротехнологій, представлені теоретичні положення процесу взаємодії зернового матеріалу та аерозолю.

Ключові слова: електротехнологія, аерозоль, електризація, сила Кулона, передпосівна обробка, зерно.

Постановка проблеми. Сьогодні розвиток інтенсивного сільськогосподарства неможливий без вирішення нових складних проблем по захисту рослин від шкідників, хвороб і бур'янів. Вирішення поставленої проблеми здійснюється агротехнічними заходами, які спрямовані на підвищення стійкості рослин до впливу шкідливих організмів, збалансоване живлення, науково-обґрунтовану сівозміну, створення нових сортів, стійких до хвороб і шкідників.

Фізичні методи (вплив електромагнітним випромінюванням різних довжин хвиль, високими й низькими температурами) і механічні методи (ручна прополка, використання ловчих канавок, поясів світлових пасток) не знайшли широкого застосування.

Найбільш перспективним напрямом захисту й стимулювання рослин є біологічний [3], який передбачає використання для захисту рослин від шкідливих організмів та стимулювання їх росту, мікробіологічних препаратів, а також феромонів, гормонів і ін.

Перевага біопрепаратів полягає у нешкідливості для рослин, людини, теплокровних тварин, бджіл і інших корисних комах, а також у можливості застосування їх разом з хімічними засобами.



Недоліки полягають у складності виробництва біопрепаратів, у необхідності розробки окремих препаратів для кожного виду рослин - усе це стримує широке застосування біологічного методу [4].

Сьогодні у якості засобів захисту найбільше поширення одержали різноманітні хімічні препарати, головним чином, синтетичні органічні сполуки, об'єднані загальною назвою – пестициди.

У цілому, незважаючи на серйозні недоліки, хімічний метод є основним методом захисту рослин і залишиться таким у най ближчому майбутньому. Вже наявний у світі асортимент пестицидів дозволяє використовувати препарати, практично безпечні для людини й корисних тварин, забезпечити відсутність залишків пестицидів в об'єктах зовнішнього середовища, продуктах живлення й харчових ланцюгах, уникнути появи резистентних форм шкідників.

Якщо розглядати використання пестицидів у контексті передпосівної обробки зернового матеріалу у промислових масштабах, то необхідно відзначити, що вітчизняна промисловість випускає достатньо великий перелік технологічних машин порційного та періодичного принципу дії [7]. В основі технологічного процесу лежить обприскування, що призводить до певних недоліків: нерівномірність нанесення робочого розчину, необхідність досушування насінневого матеріалу та, у переважній більшості, сприяє механічному ушкодженню насіння. Якщо останні два недоліки можливо вирішити за рахунок техніко-конструктивного рішень, то рівномірність нанесення робочого розчину є складною багатопараметричною задачею.

Метод обприскування припускає нанесення пестициду на оброблювану поверхню в краплинно-рідкому стані у вигляді розчинів, емульсій і суспензій. Залежно від норми рідини, що витрачається, обприскування характеризують як: високооб'ємне 400...2000 л/га, середньооб'ємне 100...400 л/га, малооб'ємне 10... 100 л/га. Недоліки обприскування пов'язані з використанням громіздкої техніки, великими витратами пестицидів, значним забрудненням навколишнього середовища.

В результаті аналізу періодичних видань [1, 6, 7] за проблематикою статті, можна акцентувати увагу на вирішенні зазначених недоліків шляхом розробки електротехнологічного комплексу протруювання насінневого матеріалу шляхом додання часткам аерозолу робочого розчину електричного заряду [8], що дозволить якісно поліпшити технологію передпосівної обробки.

Електризація аерозолу робочої рідини, сприяє більш рівномірному покриттю оброблюваних поверхонь, при цьому знезаражуючий ефект вище і зберігається на оброблюваних поверхнях більш тривалий час, ніж у випадку застосування незаряджених аерозолів того ж препарату [6]. Заряджені частки пестицидів при цьому осаджуються



практично рівномірно і забезпечують можливість значного скорочення витрат пестициду.

Таким чином, використання електроаерозолів сприяє більш якісному проведенню обробок сільськогосподарських об'єктів.

Аналіз останніх досліджень. Відомо, що фізичні тіла є електрично нейтральні, або електрично заряджені. Електрично заряджені тіла мають заряд тіла позитивний або негативний, що виражає їх взаємодію притягуванням або відштовхуванням.

Якщо дві матеріальні точки заряджені, нерухомі, знаходяться у вакуумі і на деякій відстані одна від одної, між ними виникає сила взаємодії, спрямована вздовж лінії їх з'єднання. Відомо, що ця сила описується законом Кулона - основним законом електричної взаємодії тіл

$$F = \frac{k_1 q_1 q_2}{r_{12}^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}, \quad (1)$$

де k_1 – константа, $k_1 = 1/(4 \cdot \epsilon_0 \pi) = 9 \cdot 10^9$ Кл²·Нм²;

q_1 и q_2 – заряд матеріальних точок;

r_{12} – відстань між ними;

ϵ_0 – діелектрична проникність вакууму, $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Кл²·Нм².

Оскільки між зарядженими тілами діють електричні сили, то заряджене тіло створює навколо себе деяке силове поле, зване електричним. Якщо заряди нерухомі, то поле називається електростатичним.

При внесенні в електричне поле точкового заряду (тіло із зарядом, що наближається до нуля), який не спотворить поля, на нього буде діяти сила

$$\vec{F} = q_n \vec{E}, \quad (2)$$

де q_n – точковий заряд.

Вектор \vec{E} , залежить від величини зарядів, які створюють електричне поле, та місця розташування точкового заряду, називається напруженістю поля E (Н/Кл або В/м). Напруженість поля точкового заряду у вакуумі:

$$1) \text{ у векторній формі } \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r} \cdot \vec{r}_0, \quad (3)$$

де \vec{r}_0 – одиничний вектор;

$$2) \text{ у скалярній формі } E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}. \quad (4)$$



Сила взаємодії зарядів в однорідному і ізотропному середовищі менша від тієї ж сили у вакуумі в ϵ - раз, де $\epsilon = F_0 / F$, яка називається діелектричною проникністю середовища.

Електростатичне поле графічно зображується за допомогою ліній напруженості (силових ліній), дотичні до яких в будь-якій точці збігаються за напрямком з вектором напруженості в цій точці простору. До кулоновських сил застосуємо закон суперпозиції, тобто результуюча, діюча на пробний заряд дорівнює векторній сумі сил, прикладених до них з боку кожного з зарядів

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \quad \text{або} \quad \vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i. \quad (5)$$

Грунтуючись на законі Кулона, зробимо припущення, що можна підвищити ефективність технологічного процесу передпосівної обробки зернових живильним або хімічними розчинами за рахунок заряду аерозолі цих розчинів і поверхні зерна різнойменними зарядами.

Мета статті. Проаналізувати можливість оптимізації процесу передпосівного обробки зерна рідкими хімічними добавками для захисту та стимуляції шляхом заряду аерозолі цього розчину і поверхні оброблюваного насіння різнойменними зарядами, та отримати базові математичні вирази.

Основний зміст статті. Широко відомі механічні сепаратори, що розділяють суміші за формою частинок, парусність, виду поверхні, питомою вагою та ін. В даний час відомо декілька типів сепараторів з використанням електростатичного поля і поля коронного розряду. В електростатичному полі зерна поляризуються: один кінець зерна, звернений до позитивного електрода, набуває негативний заряд, інший - позитивний, що не дозволяє використовувати даний метод для обробки зернового матеріалу в полі електроаерозолі.

Більш часто для сепарування насіння використовується поле коронного негативного уніполярного розряду. При введенні в зону коронного розряду частинок, вони набувають заряд іонів і переміщуються до заземленого електрода. В системі сил, що діють на частку, з'являється ще одна сила електростатичної взаємодії, що змінює траєкторію частинки. Час заряду частинки становить 0,01 с.

Граничний заряд для частинки еліпсоїдної форми при орієнтуванні більшої вісі вздовж силових ліній [1]:

$$q_{\text{ч}} = \frac{E_0 \epsilon_{\text{ч}} l_{\text{Б}} l_{\text{М}}^2}{1 + (\epsilon_{\text{ч}} - 1) \varphi} \pi \epsilon_0; \quad (6)$$

при орієнтуванні малої вісі вздовж силових ліній:

$$q_{\text{ч}} = \frac{E_0 \epsilon_{\text{ч}} l_{\text{Б}} l_{\text{М}}}{1 + (\epsilon_{\text{ч}} - 1) \varphi} \pi \epsilon_0; \quad (7)$$



а для часток сферичної форми:

$$q_{\text{ч}} = \left(1 + 2 \frac{\varepsilon_{\text{ч}} - 1}{\varepsilon_{\text{ч}} + 2} \right) 4\pi\varepsilon_0 E_0 r_{\text{ч}}^2. \quad (8)$$

- де E_0 – напруженість поля, Н/Кл;
 ε – відносна діелектрична проникненість;
 ε_0 – діелектрична постійна, Ф/м;
 $l_б, l_м$ – довжина більшої та меншої вісі, м;
 φ – різниця потенціалів, В;
 $r_{\text{ч}}$ – радіус частинки, м.

Заряд частки визначається її розміром, формою, діелектричної проникністю та положенням щодо вектора напруженості поля.

Якщо говорити про аерозолі, то це дрібні краплі або тверді частинки, зважені в газовому середовищі. Зі зменшенням розміру частинок їх маса зменшується пропорційно кубу, а площа - квадрату радіусу. При розпилюванні одиниці маси речовини його поверхня збільшується в тисячі разів. Зі збільшенням площі речовини зростає її хімічна та біологічна активність. Аерозолі, які мають електричний заряд, зветься електроаерозолями. Оскільки електричний заряд зменшує силу поверхневого натягу, то величина окремих крапель знижується з 200 ... 400 мкм до 10 ... 20 мкм, що веде до тисячкратного збільшення поверхні крапель при однаковій масовій витраті.

Оскільки частинки заряджаються однойменними зарядами, то під впливом електростатичних сил аерозольна хмара значно збільшується в об'ємі. Якщо об'єкт, на поверхню якого повинні осідати заряджені аерозольні частинки, має рівномірний поверхневий заряд протилежного знаку, то аерозоль рівномірно розподіляється по поверхні об'єкта і навіть осідає на його зворотному боці.

Найбільш відомі аерозолі, які застосовуються в побуті та виготовляються в аерозольній упаковці. Рідкі речовини: одеколони, лаки, фарби, освіжувачі повітря, інсектициди - перетворюються в аерозолі під час розпилювання за допомогою стиснутого повітря. Аерозолі твердих речовин утворюється як за допомогою стиснутого повітря (газу), так і з використанням механічних пристроїв, наприклад, за допомогою обертового диска.

Зарядка частинок аерозолу може проводитися трьома способами: контактним, в полі коронного розряду і індукційним.

Контактний спосіб зарядки частинок здійснюється, якщо в момент відриву частинки від зарядженого кінцевого розпилювального пристрою частка, що знаходиться деякий час в контакті з ним, набуває заряду тієї ж полярності.

Але, з технічної точки зору та питань техніки безпеки, в умовах

поточних ліній передпосівної обробки зерна, більш прийнятним є індукційний спосіб зарядки частинок, який полягає в тому, що у форсунках розташовується кільцевий електрод, на який надається позитивний потенціал, а форсунка заземлюється. На форсунці і, отже, в рідині індукується негативний заряд, обумовлений позитивним потенціалом електрода (рис. 1) [1].

Заряд крапель рідини обумовлений здатністю їх заряджатися, що визначається постійної часу [1]

$$\tau = \varepsilon_0 \varepsilon \rho, \quad (9)$$

де ρ – питомий опір рідини, Ом·м.

Процес утворення крапель та їх зарядження відбувається одночасно, але їх зарядження можливе за умови, якщо час зарядження менший за час утворення крапель, тобто

$$\tau < t_{kn}. \quad (10)$$

Час утворення крапель

$$t_{kn} = \frac{l_c}{v}, \quad (11)$$

де l_c – відстань від зрізу форсунки до точки утворення крапель, м;

v – швидкість струменю, м/с.

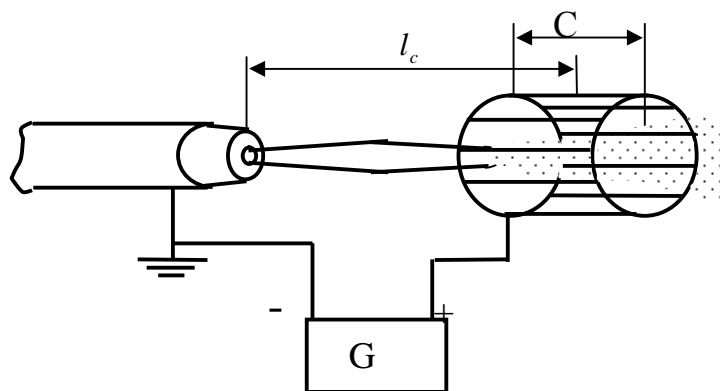


Рис. 1. Схема індукційного зарядження часток

Напруженість поля на поверхні струменю при коаксіальності електрода, якщо безперервний струмінь має довжину не менше $4r_0$ визначається [6]

$$E_j = \frac{v}{r_j \ln \frac{r_0}{r_j}}, \quad (12)$$

де r_j – радіус струменю, м;

r_0 – радіус електрода, м.



Щільність поверхневого заряду на струмені [6]

$$\delta_j = \varepsilon_0 E_j. \quad (13)$$

Величина конвективного струму [6]

$$i_0 = \frac{2\varepsilon_0 \nu Q}{r_j^2 \ln \frac{r_0}{r_j}}, \quad (14)$$

де Q – витрата рідини, м³/с.

При швидкості повітря більшій за швидкість витікання рідини, остання розривається у вигляді циліндричної плівки і дробиться на краплі. В цьому випадку конвективний струм розпилення дорівнює

$$i_0 = \frac{\varepsilon_0 \nu Q}{S_0 r_j \ln \frac{r_0}{r_j}}, \quad (15)$$

де $S_0 = 0,3 \dots 0,6$ мм.

Ефективність зарядки часток слід визначати порівнянням отриманого ними заряду з максимально можливим, при якому можна спостерігати гідравлічну нестабільність краплини [11]

$$q = 8\pi r_q^{3/2} \sqrt{E\delta}, \quad (16)$$

де δ – коефіцієнт поверхневого натягування, Н/м.

Якщо заряд частинки більше q_{MAX} , то частинка подрібнюється на більш дрібні. Для визначення фактичного заряду краплини приймають наближені формули [5]

$$q_m = \frac{2\pi^3}{3} \varepsilon_0 E_0 r_a^2 \quad (17)$$

де E_0 – напруженість поля, яке заряджає аерозоль, Н/Кл.

r_a – радіус аерозольної частинки, м.

У зв'язку з тим, що після перших секунд зарядки частинка приймає заряд близький до максимального, то при практичних розрахунках користуються формулою для максимального заряду

$$q_m = 2A \cdot r_a \cdot q_i, \quad (18)$$

де A – коефіцієнт, який залежить від концентрації іонів. При $n_i = 10^8$ см⁻³, $T = 3000$ К, $t = 1$ с, $A = 1$.

Визначення рівноважного заряду достатньо малої сферичної частини запропоновано ряд закономірностей. Відповідно до теорії процесу уніполярної дифузної зарядки аерозольних часток у слабких елек-



тромагнітних полях із зникаючою малою напруженістю розроблена Арендтом та Кальманом [2]

$$q_a = 4\pi\varepsilon_c\varepsilon_0 \frac{r_a kT}{q_i} \ln \left(1 + \frac{v_i r_a n_i q_i^2 \tau}{4\pi\varepsilon_c\varepsilon_0 kT} \right), \quad (19)$$

де ε_c – відносна діелектрична проникність;

ε_0 – діелектрична постійна, Ф/м;

r_a – радіус частинки аерозолі, м;

k – постійна Больцмана, Дж/К;

T – абсолютна температура газу у зоні зарядки, К;

q_i – заряд одновалентного іону, Кл;

v_i – теплова швидкість газових іонів, м/с;

n_i – концентрація іонів у зоні зарядки, м⁻³;

τ – час перебування частинки у полі коронного розряду, с

або

$$q_a = \frac{r_a kT}{q_i} \ln \left(1 + 2r_a n_i q_i^2 \tau \sqrt{\frac{2}{\tau m_i kT}} \right), \quad (20)$$

де m_i – вага іона, кг.

Величину заряду, який утворюється на частинці за рахунок спрямованого руху іонів з діелектричною проникністю ε_a , можна оцінити за відомою формулою Потеньє та Моро-Ано [12]

$$q_a = 4\pi\varepsilon_c\varepsilon_0 E_0 r_a^2 \delta \left(\frac{\mu n_i q_i \tau}{4\varepsilon_c\varepsilon_0 + \mu n_i q_i \tau} \right) \quad (21)$$

де $\delta = 1 + 2 \frac{\varepsilon_a - 1}{\varepsilon_a + 2}$;

E_0 – напруженість зовнішнього поля, В/м;

μ – рухомість іонів, м² / (В·с).

Величину заряду можна визначити за такою формулою [1]

$$q_a = \frac{\left(n_i q_i \frac{\mu}{4\varepsilon_0} \right) \tau}{\left(n_i q_i \frac{\mu}{4\varepsilon_0} \right) \tau + 1} \left(1 + 2 \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 2} \right) 4\pi\varepsilon_0 E_0 r_a^2. \quad (22)$$

Як видно заряд частинок аерозолі пропорційний часу перебування їх у полі коронного розряду. Існує кілька поширених методів визначення даного часу. Заряд, рівний половині максимального часу, сприймається за час [1, 2]:

$$\tau = 4\varepsilon_0 r_a (n_i \cdot q_i \cdot \mu), \quad (23)$$

$\tau = \frac{4\varepsilon_0}{\sigma\mu}$ - час заряду за рахунок електричного поля; (24)



$$\tau = \frac{4\varepsilon_0 kT}{r_a q_i \sigma v_T} - \text{тривалість за рахунок дифузії заряду.} \quad (25)$$

де σ - об'ємна щільність заряду, Кл/м³;

v_T - теплова швидкість руху іонів, м/с.

Отже, за умови постійних властивостей робочого розчину, час зарядки можна регулювати за рахунок зміни швидкості потоку повітря та рідини.

Аналітичний аналіз фізичних процесів, які протікають в електроаерозолях дозволяє розглядати заряд зернового матеріалу (6-8) і заряду аерозольного хмари (16), як динамічну систему, яка буде прагнути до стану рівноваги, тобто об'ємний заряд даної системи буде прагнути до нейтрального. При цьому сила, з якою будуть взаємодіяти заряди буде тим більше, чим більше буде їх різницю за модулем.

Механізм наплення розчину на частинки під впливом електроаерозолю складається з двох взаємопов'язаних процесів: коагуляції зерна і водних частинок і осідання агрегатів під дією гравітаційних і електричних сил.

На одиницю площі робочої зони S за час dt осідає число крапель, рівне $Snv_{oc}dt$. З урахуванням робочого об'єму, в якому здійснюється обробка, можна записати [6]

$$dn = -\frac{Snv_{oc}}{V} dt, \quad (26)$$

або

$$\frac{dn}{dt} = -\frac{Snv_{oc}}{V}$$

де S - площа робочої зони, м²;

n - концентрація електроаерозолю, м⁻³;

v_{oc} - швидкість осадження, м/с;

V - об'єм приміщення, м³.

Інтегруємо (26) при початкових умовах $t=0$ та $n=n_0$, отримаємо

$$n = n_0 \cdot e^{-\frac{Sv_{oc}t}{V}}. \quad (27)$$

Зменшення концентрації необробленого зернового матеріалу у робочому просторі буде пропорційне швидкості їх коагуляції з краплями електроаерозолю

$$\frac{dn_d}{dt} = -Knn_d, \quad (28)$$

де n_d - концентрація зерна у робочому просторі, м⁻³;



K – коефіцієнт коагуляції, м³/с.

З урахуванням (27) отримаємо

$$\frac{dn_d}{dt} = -Kn_0 n_d \cdot e^{-\frac{Sv_{oc}t}{V}}. \quad (29)$$

Інтегруємо (29) та отримаємо

$$\ln n_d = \frac{KV}{Sv_{oc}} n_0 \cdot e^{-\frac{Sv_{oc}t}{V}} + C. \quad (30)$$

Постійну C знайдемо при умовах $t=0$ та $n_d=n_{d0}$,

$$C = \ln n_d - \frac{KV}{Sv_{oc}} n_0. \quad (31)$$

Підставимо значення C в (30) та виконавши перетворення

$$n_d = n_{d0} \cdot e^{\frac{KV}{Sv_{oc}} n_0 \left[1 - \exp\left(\frac{Sv_{oc}t}{V}\right) \right]}. \quad (32)$$

Позначимо висоту робочої зони через h , отримаємо

$$n_d = n_{d0} \cdot e^{\frac{Kh}{v_{oc}} n_0 \left[1 - \exp\left(\frac{v_{oc}t}{h}\right) \right]}. \quad (33)$$

З виразу (33) витікає, що зміна концентрації необробленого зерна у робочій зоні залежить тільки від висоти робочого простору пристрою обробки h .

Коефіцієнт коагуляції залежить від властивостей розчину та зернового потоку, а також характеру їх руху. Якщо не розглядати турбулентну коагуляцію, отримаємо

$$K = K_k + K_e, \quad (34)$$

де K_k – коефіцієнт кінетичної коагуляції, м³/с;

K_e – коефіцієнт електростатичної коагуляції, м³/с.

Коефіцієнт кінетичної коагуляції дорівнює [7]

$$K_k = \pi r_a^2 \frac{r_d}{r_a} v = \pi r_a r_d v, \quad (35)$$

де r_d – еквівалентний діаметр зерна, м;

v – відносна швидкість руху крапель електроаерозолю та зерна, м/с.



Коефіцієнт електростатичної коагуляції можна виразити залежністю [10]

$$K_e = 1,512\pi\nu \left(\frac{r_d^2 q^2}{\rho_d g (r_a^2 - r_d^2)} \right)^{2/5}, \quad (36)$$

де ρ_d – щільність зернового матеріалу, кг/м³;
 g – швидкість вільного падіння, м/с².

Таким чином, коефіцієнт коагуляції дорівнює

$$K = \pi\nu \left[r r_d + 1,512 \left(\frac{r_d^2 q^2}{\rho_d g (r_a^2 - r_d^2)} \right)^{2/5} \right]. \quad (37)$$

Підставимо отриманий вираз (37) у (33) отримаємо вираз зміни концентрації необробленого зерна у повітрі робочого розчину при електроаерозольній обробці (приймаємо $\nu = \nu_{oc}$)

$$n_d = n_{d0} \cdot e^{\pi h n_0 (r_a r_d + k_1) \left[1 - \exp\left(\frac{\nu_{oc} t}{h}\right) \right]}, \quad (38)$$

$$\text{де } k_1 = 1,512 \left(\frac{r_d^2 q^2}{\rho_d g (r_a^2 - r_d^2)} \right)^{2/5}.$$

При математичному аналізі функції зміни концентрації від часу $n_d = f(t)$, впливає, що перша похідна даної функції при будь-яких фізичних параметрах електроаерозолі та зернового матеріалу має від'ємний знак, що свідчить про спадаючий характер зміни концентрації (38)

$$(n_d)' = f'(t) = -n_{d0} \pi h n_0 \frac{\nu_{oc}}{h} (r_a r_d + k_1) \cdot e^{\pi h n_0 (r_a r_d + k_1) \left[1 - \exp\left(\frac{\nu_{oc} t}{h}\right) \right]} \cdot e^{\frac{\nu_{oc} t}{h}}. \quad (39)$$

Виконаємо заміни:

$$C_1 = n_{d0} \pi h n_0 \frac{\nu_{oc}}{h} (r_a r_d + k_1), \quad (40)$$

$$C_2 = e^{\pi h n_0 (r_a r_d + k_1) \left[1 - \exp\left(\frac{\nu_{oc} t}{h}\right) \right]}, \quad (41)$$

$$C_3 = e^{\frac{\nu_{oc} t}{h}}. \quad (42)$$

Тоді отримаємо похідні

$$C_2' = -\pi h n_0 (r_a r_d + k_1) e^{\pi h n_0 (r_a r_d + k_1) \left[1 - \exp\left(\frac{\nu_{oc} t}{h}\right) \right]} \cdot e^{\frac{\nu_{oc} t}{h}} \quad \text{та} \quad C_3' = \frac{\nu_{oc}}{h} e^{\frac{\nu_{oc} t}{h}}. \quad (43)$$

Друга похідна функції $n_d = f(t)$ матиме вигляд

$$(n_d)'' = f'''(t) = -C_1(C_2' \cdot C_3 + C_2 \cdot C_3') = -(C_1 \cdot C_2' \cdot C_3 + C_1 \cdot C_2 \cdot C_3'). \quad (44)$$

На основі зроблених замінів (40-43) отримуємо, що функція матиме точку перегину, яку можна визначити рівняння

$$\pi h n_0 (r_d r_d + k_1) \cdot e^{\frac{v_{oc} t}{h}} - \frac{v_{oc}}{h} = 0, \quad (45)$$

що відповідає положенням, які наведені у роботі Лекомцева П.Л. [6] при дослідженні зміни концентрації пилу (рис. 2).

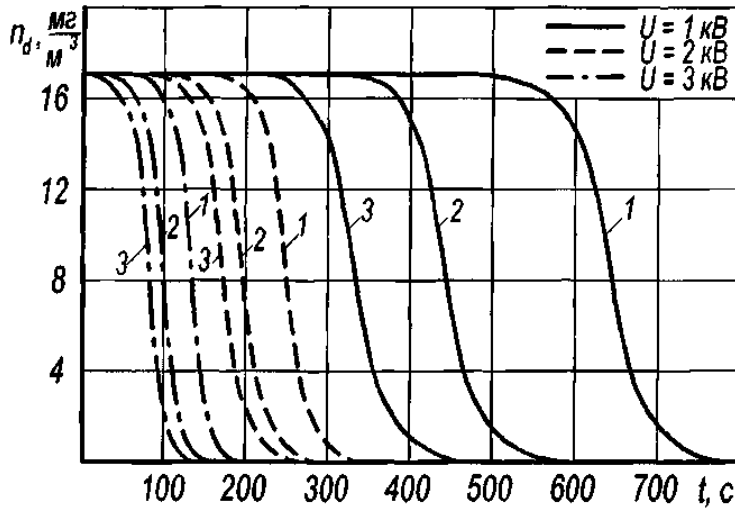


Рис. 2. Залежність концентрації пилу n_d від часу t при різних напругах U та витратах рідини Q_p : 1 - $Q_p = 1$ мл/с; 2 - $Q_p = 4$ мл/с; 3 - $Q_p = 9$ мл/с;

Криві на рис.2 отримані для розрахункової висоти приміщення $h = 6$ м. Як видно з графіків, концентрація пилу в приміщенні при електроаерозольній обробці зменшується практично до нуля [6]. Найбільш швидко концентрація пилу зменшується при високих витратах рідини і високих напружених зарядки. На високих витратах рідини збільшується концентрація крапель електроаерозолі, що в свою чергу призводить до збільшення коагуляції крапель рідини і пилу [6].

Із збільшенням напруги полю заряду збільшується електростатична коагуляція, що також призводить до швидкого зниження концентрації необробленого зерна.

Висновки. Отримані результати дозволяють продовжити дослідження технологічного процесу електроаерозольної обробки зернового матеріалу перед посівом з обґрунтуванням конструкції електротехнологічного комплексу та режимів його роботи. Дослідження отриманих виразів показує, що із збільшенням висоти робочої зони камери обробки збільшується час обробки. Розміри зернового матеріалу, значення його щільності майже не впливають на швидкість обробки.

Представлений математичний апарат дозволяє обґрунтувати режими роботи порційного протруювача зернового матеріалу, яке знаходиться у режимі спокою. Але при дослідженні динамічних сис-



тем (зернова маса, яка переміщується під дією механічних робочих органів, або під дією сил гравітації під час вільного падіння) суттєво ускладнюється математичний опис фізичних процесів. У рівнянні (29) додається складова, яка характеризує переміщення насіння у просторі.

Отримані результати дозволяють зробити підґрунтя для використання математичного апарату статистичної фізики, в основі якого знаходяться кулонівські сили (1), величина заряду насіння зернових (6-8) та аерозолі (16-22).

У подальших дослідженнях необхідно обґрунтувати конструкцію електротехнологічного комплексу.

Література

1. Багаев А. А., Багаев А. И., Куликова Л. В. Электротехнология: Учебное пособие [Текст] / А. А. Багаев, А. И. Багаев, Л. В. Куликова. Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова, Алт. гос. аграрный ун-т. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2006. – 315 с.
2. Деревенко К. В. Теоретические основы зарядки в электрическом поле коронного заряда лакокрасочных покрытий для пищевой промышленности [Текст] / К. В. Деревенко // Известия вузов. Пищевая технология. – 2008. - № 5-6. – С. 92-95.
3. Защита растений в теплицах [Текст] / Под ред. А. К. Ахатова. – М.: Т-во научных изданий КМК. – 2002. – 464 с.
4. Зинченко В. А. Химическая защита растений. Средства, технология и экологическая безопасность [Текст] / В. А. Зинченко. – М.: КолосС, 2005. – 232 с.
5. Лебедев М.Н. Сила действующая на проводящий шарик, помещенный в поле плоского конденсатора [Текст] / М. Н. Лебедев, И. П. Скальская // ЖТФ. т. XXXII, вып. 3. – 1962. – С. 375-377.
6. Лекомцев П. Л. Электроаэрозольные технологии в сельском хозяйственном производстве [Текст]: дис. ... доктора техн. наук : 05.20.02 / Лекомцев Петр Леонидович. – М., 2006. – 314 с.
7. Новіков Г. В. Анализ устройств предпосевной обработки зерновых / Новіков Г. В. // Науковий вісник ТДАТУ [електронний ресурс]. - Мелітополь: ТДАТУ, 2014. - Вип. 4, Т. 2. – С. 186-196
8. Новіков Г. В. Обґрунтування конструкції електротехнічного комплексу передпосівної обробки зернових з використанням електроаерозолів / Діордієв В. Т., Новіков Г. В. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 165 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – Харків: ХНТУСГ, 2015. – С. 89-90.
9. Фукс Н. А. Механика аэрозолей [Текст] / Н. А. Фукс. – М.: Изд-во академии наук СССР, 1955. - 351 с.



10. Фукс Н. А. Успехи механики аэрозолей [Текст] / Н. А. Фукс. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. - 159 с.
11. Raleigh L. On the equilibrium of liquid conducting masses charger with electricity / L. Raleigh // Pilosophical magazine. - Woll 14. – 1982. – p. 184-186.
12. Zhengwei L., Qiang Y. Evaluation of various particle charging models for simulating particle dynamics in electrostatic precipitators / Long Zhengwei, Yao Qiang // Journal of Aerosol Science 41 (2010). - P. 702–718

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА

Диордиев В.Т., Кашкарёв А.А., Новиков Г.В.

Аннотация - рассмотрена возможность использования аэрозольных технологий для предпосевной обработки зернового материала с использованием электротехнологий, представлены теоретические положения процесса взаимодействия зернового материала и аэрозоля.

THE ELECTRIC FIELD USAGE FOR AEROSOL TREATMENT OF THE GRAIN SEEDS

V. Diordiev, A. Kashkarov, G. Novikov

Summary

The possibility of aerosol technology application for preseeding processing of grain seeds with the electric technology usage is considered. The theoretical position of the aerosol - grain interaction is presented.