

УДК 519.87:631.333.4

**Л.П. Серета, проф., канд. техн. наук, М.М. Чернявський, асп.**  
*Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця*

## Моделювання переміщення ґрунту і розміщення рідких біодобрив у ґрунті після операції внесення плоскоріжучим стрілочастим знаряддям

Важливими факторами якісного підґрунтового внесення рідких добрив є їх достатнє закриття за рахунок переміщення ґрунту під дією знаряддя, а також вигідне їх розміщення. Дана стаття присвячена дослідженню і розробці математичних моделей цих двох процесів. В якості рідкого добрива пропонується використати залишковий субстрат виробництва біогазу, що відомий своїм доброякісним впливом на структуру ґрунту та розвиток рослин. Для операції внесення рідкого біодобрива в ґрунт було обрано плоскоріжуче стрілочасте знаряддя, оскільки воно забезпечує найкраще розміщення добрива. Представлена математична модель переміщення ґрунту показує, що даний процес залежить від робочої ширини знаряддя, кута його розхилу, глибини і швидкості обробітку. Розміщення біодобрива характеризується площею змішування з ґрунтом, яка залежить від норми внесення, об'ємної щільності ґрунту та вмісту в ньому вологи.

**ґрунт, профіль, плоскоріжуче знаряддя, біодобриво, моделювання, переміщення, розміщення**

**Л.П. Серета, М.М. Чернявський**  
*Вінницький національний аграрний університет, г. Вінниця*

**Моделирование перемещения ґрунта и размещения жидких биоудобрений в почве после операции внесения плоскорезущим стрелчатым орудием**

Важними факторами качественного подпочвенного внесения жидких удобрений является их достаточное закрытие за счет перемещения ґрунта под действием орудия, а также выгодное их размещение. Данная статья посвящена исследованию и разработке математических моделей этих двух процессов. В качестве жидкого удобрения предлагается использовать остаточный субстрат производства биогаза, который известен своим доброкачественным влиянием на структуру почвы и развитие растений. Для операции внесения жидкого биоудобрения в почву было избрано плоскорезущее стрелчатое орудие, поскольку оно обеспечивает наилучшее размещение удобрения. Представленная математическая модель перемещения ґрунта показывает, что данный процесс зависит от ширины орудия, угла его расхождения, глубины и скорости обработки. Размещение биоудобрения характеризуется площадью смешивания с почвой, которая зависит от нормы внесения, объемной плотности почвы и содержания в ней влаги.

**почва, профіль, плоскорезущее орудие, биоудобрение, моделирование, перемещение, размещение**

**Вступ.** Переміщення ґрунту або його перерозподіл після операції обробітку ґрунту має важливе значення в декількох аспектах, таких як включення добрив, закривання рослинних залишків і захист ґрунту від вітрової та водної ерозії. Дослідження переміщення ґрунту досить складне тому, що включає в себе безліч факторів, таких як типи ґрунтів і їх властивості, види знарядь обробки ґрунту та їх робочі параметри і т.п. Розробка математичної моделі може допомогти зрозуміти фізичні процеси, які відбуваються після проходження ґрунтообробного знаряддя.

Вагомим питанням також є розміщення рідких добрив у ґрунті після внесення, оскільки для отримання доброго урожаю важливо знати оптимальну їх кількість внесення. В якості добрив можна використати рідкий субстрат, що залишається після виробництва біогазу, адже він являється цінним високоякісним біодобривом, що за

своїми властивостями перевершує традиційні мінеральні та органічні добрива. Внесення такого добрива на сільськогосподарських поля збільшує врожайність на 5-10%. Внесення саме у ґрунт вважається ефективним підходом до зменшення потенційних негативних впливів на навколишнє середовище, таких як втрата поживних речовин і неприсмний запах (якщо це рідкий гній). Проте одним з недоліків внутрішньо-ґрунтового внесення є те, що добриво розміщується в ґрунті у вигляді смуг. Велика відстань між смугами добрив може призвести до нестачі поживних речовин між смугами, тим самим викликаючи нерівномірний урожай. Використання малих відстаней зменшить брак поживних речовин, але може призвести до надмірної їх концентрації, що в подальшому може негативно вплинути на врожайність. При цьому відстань між смугами добрив та краще перемішування їх з ґрунтом може знизити ризик денітрифікації та сприяти аеробній стабілізації ґрунту. Таким чином, розміщення рідких біодобрив в ґрунті є важливим чинником, який впливає на продуктивність врожаю і навколишнє середовище.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Дослідження проведені вченими [1] із плоскоріжучими знаряддями показали, що висота і ширина гребенів збільшується зі збільшенням швидкості руху. Інші вчені [2] також встановили, що більша швидкість і кут розпушування стрілоподібної лапи призводить до більшого руху ґрунту і створення більш високих гребенів. Дослідники [3] вивчаючи бічний рух ґрунту в різних ґрунтових умовах під дією плоскоріжучого і долотоподібного робочого знаряддя на швидкості 5 - 8 км/год, дійшли до висновку, що різні знаряддя створюють ґрунтовий профіль різної геометрії, параметри ґрунтового профілю залежать також від швидкості обробки ґрунту, об'ємної щільності ґрунту та вмісту вологи в ґрунті.

Зовсім недавно, дослідники почали визначати кількісне розподілення рідких добрив у ґрунті після внесення. Дехто використовує метод простежування забарвлення [2], щоб визначити кількість добрив на поверхні ґрунту та сконцентрованих в зоні змішування нижче поверхні. Також вручну виміряють максимальне бічне і вертикальне поширення добрив в ґрунті після внесення [4]. Визначають ширину і глибину розподілення рідини за поперечним перерізом ґрунту після внесення. Встановлюють розміщення суспензії у верхньому шарі ґрунту, використовуючи візуальні оцінки та аналіз зображень. Найчастіше використовують зону змішування ґрунту і добрив відразу після внесення для кількісної оцінки розподілення добрив у ґрунті [5].

**Постановка завдання.** Метою даної статті є дослідження впливу параметрів операції внесення добрив на переміщення ґрунту після проходу плоскоріжучого знаряддя для внесення рідких добрив, також дослідження і розробка математичної моделі для прогнозування площі зони змішування ґрунту і добрив, що утворюється під дією плоскоріжучого знаряддя.

**Виклад основного матеріалу.** У дослідженні [6] пропонується математична модель переміщення ґрунту після обробки плоскоріжучим знаряддям (рис. 1). Бічне переміщення розраховане в моделі, було використане в якості індексу бічного руху ґрунту ( $b_0$ ). Профіль гребня ( $A_1TA_2$ ) спрощено у вигляді рівнобедреного трикутника. Точку  $C$  пов'язано з центральною точкою правого крила плоскоріжучого знаряддя. Точка  $D$  є серединою бічного переміщення ґрунту. Параметри, що описують ґрунтовий профіль включають відстань між гребнями ( $2b_0$ ), висоту гребня ( $h$ ), ширину переміщення ґрунту ( $2b$ ), глибину борозни ( $d_1$ ) і кут гребня ( $\varphi = \varphi_i = \varphi_0$ ). Кут гребня припускається незмінним. Отже, змодельований гребінь або рівнобедрений трикутник буде "переміщатись" на більш широку область із збільшенням швидкості обробки ґрунту, висота гребня і глибина борозни змінюються відповідно.

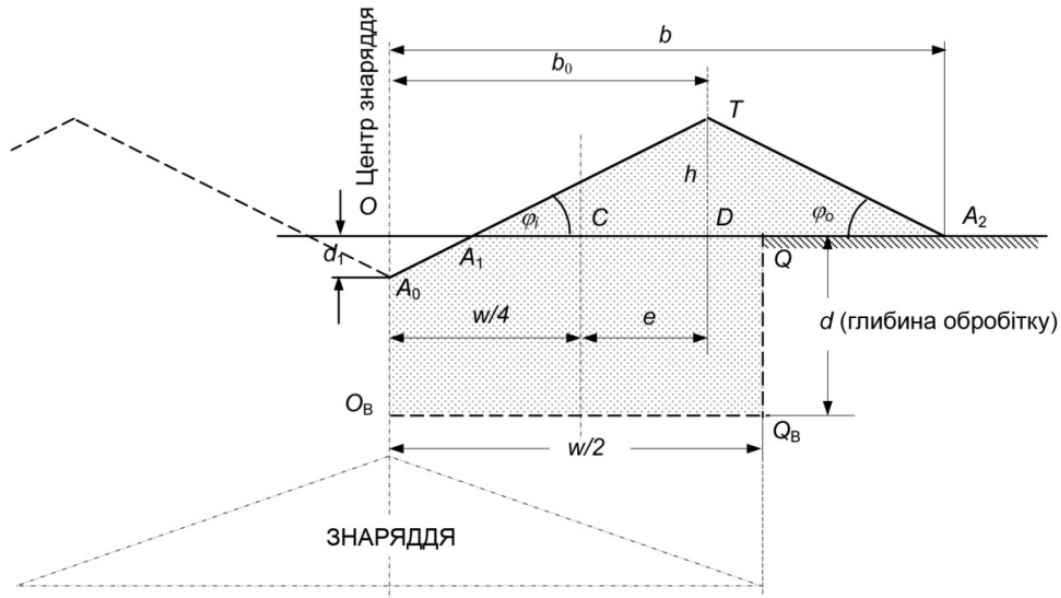


Рисунок 1 – Геометричні залежності профілю ґрунту після обробки плоскоріжучим знаряддям ( $d$  - глибина обробки;  $w$  - ширина знаряддя;  $e$  - середнє бічне переміщення ґрунту)

У результаті більш детального дослідження видно, що профіль ґрунту можна охарактеризувати, як рівнобедрений трикутник, якщо швидкість обробки буде 5 км/год. Тим не менше, ці результати показують, що із збільшенням швидкості обробки ґрунту зовнішній кут гребня  $\varphi_0$  як правило, менший ніж внутрішній. Припущення форми рівнобедреного трикутника не підходить. Збільшення швидкості обробки ґрунту призводить до більшого розкидання ґрунту і збільшення глибини борозни ( $d_1$ ). Отже, ширина порушення ґрунту стає більшою. Відстань між гребнями ( $2b_0$ ) і ширина переміщення ґрунту ( $2b$ ) значно зростають із збільшенням швидкості обробки ґрунту. Внутрішній кут гребня ( $\varphi_i$ ) значно зменшується, коли швидкість обробки ґрунту збільшується до 7,5 км/год, але він не змінюється при швидкості 10 км/год. Зовнішній кут гребня ( $\varphi_0$ ) зменшився при збільшенні швидкості обробки ґрунту, і був менший, ніж  $\varphi_i$ . Внаслідок гребені як правило, були плоскішими на більш високій швидкості обробки ґрунту.

Отже, профіль гребня дуже близький до рівнобедреного трикутника при швидкості 5 км/год. Тим не менше, немає ніяких доказів припущення про утворення рівнобедреного трикутника на швидкостях 7,5 і 10 км/год. Це доводить, що модель, розроблена в попередньому дослідженні не підходить для обробки ґрунту зі швидкістю вище 5 км/год.

Борозна формується між двома гребенями, а гребені симетричні відносно центру знаряддя. Гребень, показаний на рис. 2 має два нижніх кута:  $\varphi_i$  і  $\varphi_0$ . Кут  $\varphi_i$  називається внутрішнім кутом гребеня і  $\varphi_0$  називається зовнішнім кутом гребеня. Параметри, що описують ґрунтовий профіль включають відстані між гребнями ( $2b_0$ ), ширину переміщення ґрунту ( $2b$ ), висоту гребеня ( $h$ ), та глибину борозни ( $d_1$ ).

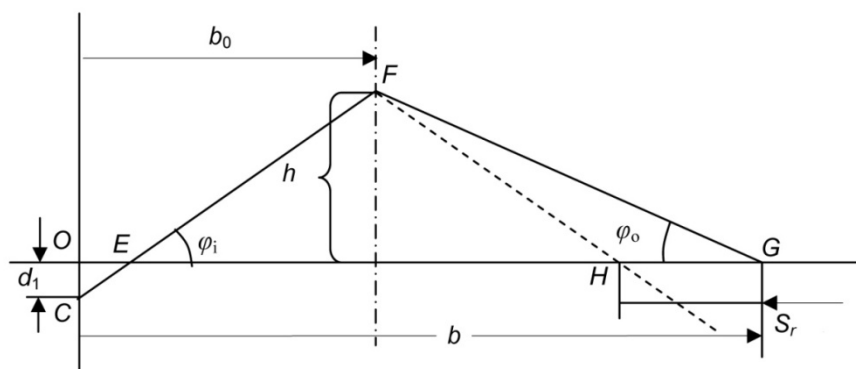


Рисунок 2 – Покращені геометричні залежності профілю ґрунту після обробки плоскоріжучим знаряддям ( $S_r$  - середнє бічне переміщення ґрунту коченням/ковзанням)

Переміщення ґрунту, що використовується для визначення профілю ґрунту може бути обчислене з використанням наступних рівнянь [6].

$$S_f = d \frac{\cos(\beta - \xi) - \cos \beta}{2 \sin \beta} + \frac{w}{4} (1 - \cos \xi), \quad (1)$$

$$S_p = y - y_0 = \frac{v_y}{g} \left( \sqrt{v_z^2 + 2z_0 g} + v_z \right), \quad (2)$$

$$S_r = \frac{v_y^2}{2\mu g}, \quad (3)$$

$$\begin{cases} v_y = \left\{ \left( \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} v_t + \frac{\sqrt{2}}{2} \alpha v_t \right) \sin(\beta - \alpha) + \frac{\sqrt{2}}{2} \xi v_t \right\} \cos(\beta - \xi) \\ v_z = \left\{ \left( \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} v_t + \frac{\sqrt{2}}{2} \alpha v_t \right) \sin(\beta - \alpha) + \frac{\sqrt{2}}{2} \xi v_t \right\} \sin(\beta - \xi) \end{cases} \quad (4)$$

Залежності між параметрами, використаними в моделі, показаній на рис. 2 виводяться у вигляді рівнянь 5 - 9.

$$b_0 = \frac{w}{4} + S_f + S_p, \quad (5)$$

$$h = \frac{1}{2} \left( \sqrt{(2b_0 + S_r)^2 + (2\pi - 4)wd \cot \varphi_i + 4b_0^2} - (2b_0 + S_r) \right) \tan \varphi_i, \quad (6)$$

$$d_1 = b_0 \tan \varphi_i - h, \quad (7)$$

$$b = b_0 + h \cot \varphi_i + S_r, \quad (8)$$

$$\varphi_0 = \tan^{-1} \left( \frac{h}{h \cot \phi_i + S_r} \right), \quad (9)$$

де  $x_0, y_0, z_0$  - координати центральної точки на задній кромці крила знаряддя, м;

$S_f$  - бічна складова примусового переміщення, м;

$S_p$  - бічна складова переміщення розкиданням, м;

$S_r$  - бічне середнє переміщення коченням і ковзанням, м;

$d$  - глибина обробітку, м;

$g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$w$  - ширина знаряддя, м;

$v_t$  - швидкість переміщення знаряддя, м/с;

$v_y$  - бічна складова швидкості переміщення ґрунту, м/с;

$v_z$  - вертикальна складова швидкості переміщення ґрунту, м/с;

$\alpha$  - кут розхилу плоскоріжучого стрілочастого знаряддя, рад;

$\beta$  - кут неоднорідності ґрунту  $\beta = 45^\circ - \phi/2$ , рад;

$\phi$  - кут внутрішнього тертя ґрунту, рад;

$\xi$  - кут бічного нахилу стрілоподібного знаряддя або кут нахилу до осі  $u$ , рад;

$\mu$  - коефіцієнт тертя між поверхнею ґрунту і грудкою.

Для розробки моделі розміщення добрива необхідно враховувати режим внесення, так як він впливає на розподіл рідкого добрива в ґрунті. Режими внесення можна розділити на режим внесення «до засипання ґрунтом» та режим внесення «після засипання ґрунтом». Засипання відбувається за рахунок падіння ґрунту назад в борозну під час переміщення знаряддя. Режими внесення добрив відрізняються послідовністю виникнення розміщення добрив та засипання ґрунтом. Припускається, що ця послідовність визначається типом знаряддя внесення. Режим внесення «перед засипанням ґрунтом» часто спостерігається для плоскоріжучих знарядь внесення. Плоскоріжуче знаряддя має велику площу поверхні, щоб підняти ґрунт при створенні борозни, що дозволяє добриву вноситись в борозну перед тим як відбудеться засипання ґрунтом. Режим внесення «після засипання ґрунтом» часто спостерігається для долотоподібних знарядь вприскування. Таке знаряддя внесення, створюючи борозну, ріже ґрунт, але не піднімає його. Таким чином, відбувається мале засипання ґрунтом.

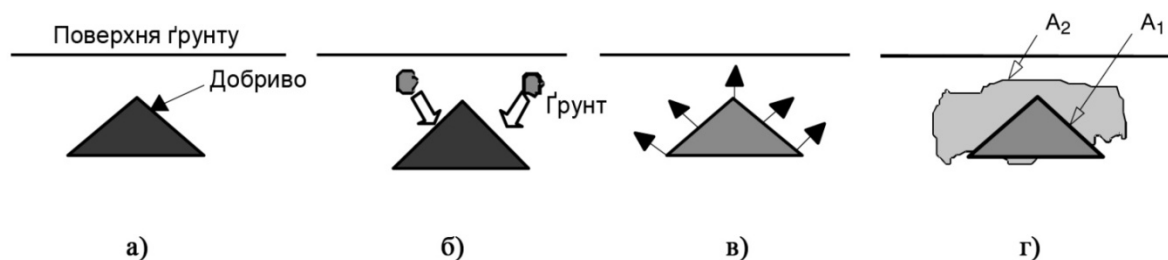
Коли використовується плоскоріжуче знаряддя, ґрунт рухається по поверхні знаряддя, створюючи порожнину між поверхнею знаряддя і дном борозни. Біодобриво доставляється в порожнину у вигляді концентрованої рідини (рис. 3а). Потім воно переміщується в результаті засипання ґрунтом (рис. 3б), в той час як знаряддя рухається через ґрунт. Цей процес можна назвати зміщенням біодобрива. Слідом за цим процесом, зміщене біодобриво рухається у пори навколишнього ґрунту (рис. 3в), і це називають процесом руху біодобрива. Тоді утворюється зона змішування біодобрива і ґрунту (рис. 3г). Слід зазначити, що модель стосується тільки одиничної відстані по напрямку руху знаряддя внесення. Таким чином, розглядається тільки поперечний переріз зони змішування біодобрива і ґрунту. Площа цього перерізу розглядається як сума прилеглих двох площ (рис. 3г):

$$A_{зм} = A_1 + A_2, \quad (10)$$

де  $A_{зм}$  - площа поперечного перерізу зони змішування біодобрива і ґрунту, м<sup>2</sup>;

$A_1$  – площа поперечного перерізу зони змішування біодобрива і ґрунту утворена в результаті розміщення біодобрива,  $\text{м}^2$ ;

$A_2$  – площа поперечного перерізу зони змішування біодобрива і ґрунту утворена в результаті процесів зміщення і руху біодобрива,  $\text{м}^2$ .



а) розміщення біодобрива в порожнині ґрунту; б) зміщення біодобрива в результаті засипання ґрунтом; в) рух біодобрива в ґрунті; г) остаточна зона змішування біодобрива і ґрунту

Рисунок 3 – Схема перерозподілу рідкого біодобрива в ґрунті після внесення для режиму «до засипання ґрунтом»

Були зроблені наступні припущення для визначення площ в рівнянні 10:

- порожнини зробленої знаряддям достатньо для вміщення введеного добрива;
- засипаного ґрунту достатньо для зміщення всього введеного біодобрива;
- грудочки ґрунту мають сферичну форму і однакові розміри.

Площа  $A_1$  розглядається як площа поперечного перерізу введеного біодобрива до того як відбудеться засипання ґрунтом. Таким чином, ця площа дорівнює мікронормі внесення біодобрива:

$$A_1 = r , \quad (11)$$

де  $r$  – мікронорма внесення біодобрива,  $\text{м}^3 \text{м}^{-1}$ .

$$r = \frac{Rs}{10000} , \quad (12)$$

де  $R$  – норма внесення біодобрива,  $\text{м}^3 \text{га}^{-1}$ ;

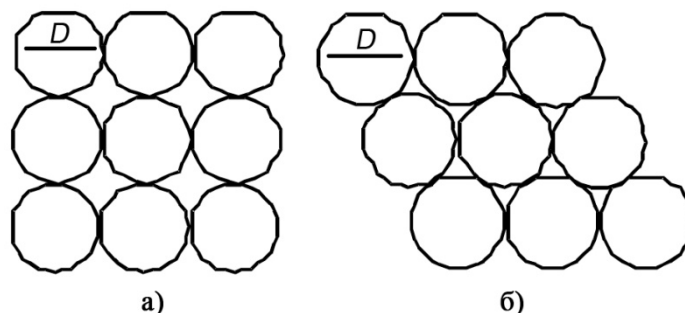
$s$  – відстань між знаряддями внесення, м.

Щоб визначити площу  $A_2$ , спочатку необхідно знайти кількість грудочок, які можуть міститися в площі  $A_1$ . Їх мінімальна і максимальна кількість відповідає ситуаціям, показаним на рис. 4а та 4б відповідно. На практиці грудочки розподіляються випадково, а їх кількість випадає між цими двома ситуаціями. Оскільки різниця між зазначеними мінімальною та максимальною кількістю мала, для моделі використовується мінімальна кількість для спрощення. Теоретично мінімальна кількість грудочок в площі  $A_1$  дорівнює:

$$n_{\min} = \frac{A_1}{D^2} , \quad (13)$$

де  $n_{\min}$  – мінімальна кількість грудочок, які сприяють зміщенню біодобрива;

$D$  – діаметр грудочки (м).



а) мінімальна і б) максимальна кількість грудочок в межах даної площі ( $D$  - діаметр грудочки)

Рисунок 4 – Схема розташування сферичних грудочок ґрунту

На одиничному відрізку переміщення знаряддя кількість біодобрива зміщеного в результаті грудочок, що засипають порожнину, після розміщення там рідкого біодобрива (рис. 3б) дорівнює загальній площі всіх грудочок. Це означає, що грудочки не поглинають біодобриво. Це припущення підтверджує той факт, що перерозподіл біодобрива в ґрунті відбувається миттєво:

$$a_{\text{біо}} = n_{\text{min}} a_{\text{зр}} , \quad (14)$$

де  $a_{\text{біо}}$  – кількість біодобрива зміщеного грудочками на одиничному відрізку переміщення знаряддя,  $\text{м}^2$ ;

$a_{\text{зр}}$  – площа поперечного перерізу грудочки,  $\text{м}^2$ .

Підставивши,  $a_{\text{зр}} = \frac{\pi D^2}{4}$  і об'єднавши рівняння 11, 13 і 14 отримаємо:

$$a_{\text{біо}} = \frac{\pi r}{4} . \quad (15)$$

Площа в результаті процесів зміщення і руху біодобрива визначається як:

$$A_2 = \frac{a_{\text{біо}}}{\sigma \varphi_{\text{газ}}} , \quad (16)$$

де  $\varphi_{\text{газ}}$  – газонаповнення ґрунтових пор в  $A_2$ , безрозмірна;

$\sigma$  – постійна розміщення рідини в ґрунті, яка коливається в межах від 0 (жодна з газонаповнених пор ґрунту не заповнена рідким біодобривом) до 1 (всі газонаповнені пори ґрунту заповнені рідким біодобривом).

Рівняння 16 пояснює, що зміщене біодобриво рухається в пори навколишнього ґрунту і заповнює частину газонаповнених пор ґрунту. Замінивши  $A_1$  і  $A_2$  в рівнянні 10 рівняннями 11, 15 і 16, отримаємо:

$$A_{\text{зм}} = r + \frac{\pi r}{4\sigma\varphi_{\text{газ}}} . \quad (17)$$

Газонаповнення пор ґрунту в рівнянні 17, може бути визначене з використанням об'ємної щільності ґрунту і вмісту вологи наступним чином:

$$\varphi_{\text{газ}} = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s} - \theta, \quad (18)$$

де  $\rho_b$  – об'ємна щільність сухого ґрунту,  $\text{мг/м}^{-3}$ ;

$\rho_s$  – щільність часток ґрунту,  $\text{мг/м}^{-3}$ ;

$\theta$  – об'ємний вміст вологи,  $\text{м}^3 \text{ м}^{-3}$ .

Замінивши  $\varphi_{\text{газ}}$  в рівнянні 17 рівнянням 18 отримаємо:

$$A_{\text{зм}} = r + \frac{\pi r}{4\sigma \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_s} - \theta\right)}. \quad (19)$$

**Висновки.** В результаті дослідження процесів переміщення ґрунту і розміщення рідких біодобрив, виділено основні параметри, що на них впливають, виведено їх основні залежності на основі яких розроблено математичні моделі. З огляду на це можна зробити наступні висновки:

– збільшення швидкості обробітку призводить до збільшення ширини переміщення ґрунту  $2b$  і відстані між гребнями  $2b_0$ . При цьому їх висота  $h$  зменшується;

– внутрішній кут гребеня  $\varphi_i$  зменшується із збільшенням швидкості, проте він завжди більший ніж зовнішній  $\varphi_0$ . Це означає, що сформований гребень має форму різностороннього трикутника;

– збільшення глибини внесення добрив ( $d_1$ ) спричиняє формування гребенів більшої висоти із більшою відстанню між ними ( $2b_0$ );

– розміщення рідких добрив залежить від типу знаряддя внесення. Площа зони змішування добрива і ґрунту  $A_{\text{зм}}$  збільшується із збільшенням норми внесення і зменшується при збільшенні об'ємної щільності ґрунту і вмісту вологи.

## Список літератури

1. Dowell F. E. Cultivator speed and sweep spacing effects on herbicide incorporation / F. E. Dowell, J. C. Siemens, L. E. Bode. – Transactions of the ASABE, 1988.
2. Changes in soil microtopography by tillage with a sweep / [H. M. Hanna, D. C. Erbach, S. J. Marley, S. W. Melnin]. – Transactions of the ASABE, 1993.
3. Sharifat K. Lateral soil movement by tillage tools / K. Sharifat, R. L. Kushwaha. – St. Joseph, Mich.: ASAE, 1999.
4. Chen Y. High performance tool for slurry injection / Y. Chen, X. Ren. – Soil Tillage Res., 2002.
5. Slurry distribution in soil as influenced by slurry application micro rate and injection tool type / [S. Rahman, Y. Chen, K. Buckley, W. Akinremi]. – Biosystems Eng., 2004.
6. Liu J. Modeling of Soil Profile Produced by a Single Sweep Tool [Електронний ресурс] / J. Liu, R. L. Kushwaha – Режим доступу: <http://ecommons.library.cornell.edu/handle/1813/10586>

**Leonid Sereda, Micheslav Cherniavskiy**

*Vinnitsa National Agrarian University, Vinnitsa*

**Modeling of soil displacement and location of liquid biofertilizers in the soil after injection operation of sweep tool**

Important factors of quality application of liquid fertilizers into ground is their adequate closure by moving soil under tool action and favorable placement. This paper focuses on the research and development of mathematical models of these two processes. As the liquid fertilizer is suggested to use the remaining substrate of biogas production that is known for its benign effect on soil structure and plant growth. For the operation of liquid biofertilizers application in soil was chosen sweep tool because it provides the best placement of the



fertilizer. A mathematical model of the movement of soil indicates that this process depends of the working width of the tool, front angle, depth and speed of treatment. Placing of biofertilizers characterized by an area of mixing with the soil, that depending of application rate, soil bulk density and moisture content in it.  
**soil, profile, sweep tool, biofertilizer, modeling, movement, location.**

Одержано 24.10.13

УДК 631.362.333

**Л.М.Тіщенко, проф., д-р техн. наук, академік НААНУ, С.А.Богданович, асп.**  
*Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П.Василенка, Харків*

## Експериментальне дослідження впливу вібрації на ефективність процесу скальперування зернового вороху

Наведені результати експериментального дослідження технологічного процесу сепарування зернового вороху барабанним скальператором при обертальному русі решета і при накладенні вібрації.  
**скальператор, циліндричне решето, зерновий ворох, вібрація, ефективність**

**Л.М.Тіщенко, С.А.Богданович**  
*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П.Василенко, Харьков*  
**Экспериментальное исследование влияния вибрации на работу эффективности процесса скальперирования зернового вороха**

Приведены результаты экспериментального исследования технологического процесса сепарирования зернового вороха барабанным скальператором при вращательном движении решета и при наложении вибрации.  
**: скальператор, цилиндрическое решето, зерновой ворох, вибрация, эффективность**

**Постановка проблеми.** У технологічних лініях післязбирального обробітку зернового вороху, що поступає від комбайну, для видалення крупних домішок широко використовуються барабанні скальператори. Робочими органами таких скальператорів є циліндричні решета, що мають отвори, розміри яких перевищують розміри зерен культури, що обробляється. Суттєвим недоліком роботи цих машин є недостатня питома продуктивність.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для підвищення продуктивності скальператорів виробники збільшують розміри решіт, тим самим зменшуючи питому продуктивність і збільшуючи енергетичні витрати. Для підвищення інтенсивності сегрегації пропонуються різні конструкторські рішення, такі як використання ворушилок, зміна форми решета, поздовжні пластини для закидання вороху на вільну поверхню решета і ін. Однак результати роботи цих конструкцій показали, що суттєво підвищити ефективність скальперування вороху ні по одному із перерахованих способів не вдається.

Радикальним рішенням вказаної проблеми є накладення вібрації на рівномірне обертання циліндричних решіт зернових сепараторів [1-3]. При дії вібрації на зерновий