

УДК. 631.3.024

©Р.В. Кірчук, к.т.н., М.М. Поліщук, к.т.н., Забродоцька Л.Ю., к.т.н.,  
Хомич С.М., к.т.н.

Луцький національний технічний університет

Хвесик В.О.

Любешівський технологічний коледж Луцького НТУ

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОФІЛЮ СКРЕБКА ТРАНСПОРТЕРА**

*У статті представлені теоретичні дослідження та обґрунтування профілю скребка транспортера для машини для локального внесення твердих органічних добрив.*

**ЧАСТИНКА, СКРЕБОК, КУТ, ШАР, САПРОПЕЛЬ, ПЕРЕМІЩЕННЯ ТРАНСПОРТЕР, ЛОКАЛЬНЕ ВНЕСЕННЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ,**

**Постановка проблеми.** Серед органічних добрив найбільше поживних речовин для ґрунту дає підстилковий гній та компости на його основі. Ефективність підстилкового гною оцінюється нормою внесення 40-60 т/га, що при зменшенні поголів'я худоби в Україні за останні роки, унеможливлює дотримання агротехнічних вимог для отримання високих врожаїв сільськогосподарських культур.

Основним шляхом вирішення ситуації, що склалася, може стати локальне внесення виготовлених органічних добрив. Тому зростає потреба в органічних добривах, одними з яких можуть стати озерні сапропелі прісноводних водойм [1]. При зневодненні сапропелів широке застосування набуло їх проморожування температурами навколошнього середовища [2] з подальшою підготовкою до внесення. В результаті механічних дій при складанні сапропелю у бурти та тривалого їх зберігання, утворюються тверді агрегати, які впливають на процеси внесення та ефективність використання, як органічної сировини.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В промисловості існують загалом машини та агрегати лише для внутрішньогрунтового внесення тільки рідких і напіврідких органо-мінеральних сумішей вологістю не менше 92% на певну глибину у ґрунт. Це здійснюється машинами АВМ-Ф-2,8, АВО-Ф-2,8 і АВВ-Ф-2,8 [3]. Машин чи агрегатів для локального внесення твердих органічних добрив вологістю менше 70% не існує. Тому нами запропонована машина для локального внесення твердих органічних добрив (рис 1) [4].

**Мета дослідження.** Теоретично обґрунтувати геометричні параметри робочої поверхні скребка транспортера (рис. 1), для оптимізації робочого процесу формування вхідного потоку твердих органічних добрив до сапропелепроводів.

**Результати досліджень.** Аналізі переміщення шару матеріалу поверхнею скребка будемо розглядати як рух окремих матеріальних частинок  $M$  шорсткою поверхнею. Введемо систему координат  $YOX$  із центром у вершині скребка та припустимо, що ця система рухається у напрямку вектора швидкості транспортера  $\bar{V}_{ck}$  прямолінійно і рівномірно. У такому випадку матеріальна частинка  $M$  буде здійснювати переносний рух – разом із скребком транспортера, і відносний рух – поступальний вздовж робочої поверхні скребка з лінійною швидкістю  $V_r$ .

Для забезпечення постійної висоти вхідного потоку добрив у конструкції передбачено скребковий транспортер. Тому в роботі було поставлене завданням теоретично дослідити та обґрунтувати профіль робочої поверхні скребка транспортера. Це дозволить оптимізувати робочий процес формування вхідного потоку добрив під час переміщення в сапропелепроводах.

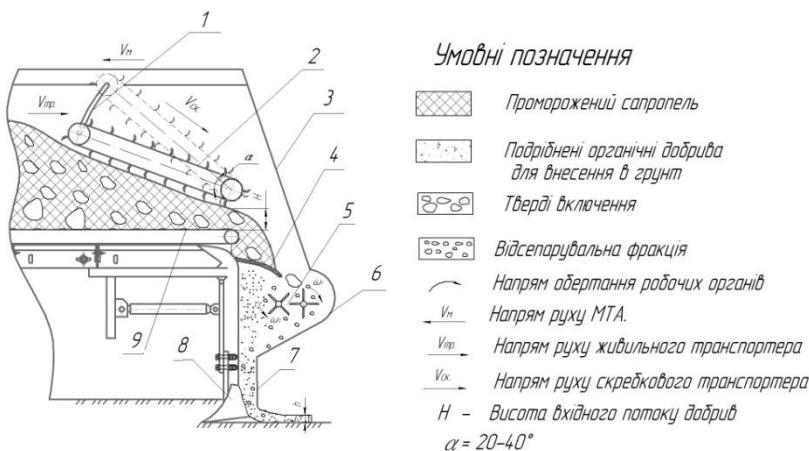


Рис. 1 – Схема процесу локального внесення промороженого сапропелю: 1 – направляюча ; 2 – скребковий транспортер; 3 – огорожуючий щиток; 4 – прутковий сепаратор; 5 – подрібнюючий пристрій; 6 – скатна поверхня; 7 – сапропелепровід; 8 – сошник; 9 – подавальний транспортер

Для вирішення поставленого завдання необхідно прийняти допущення, що матеріальна частинка сапропелю (точка М) захоплюється скребком транспортера в крайньому нижньому положенні (т. А<sub>1</sub>) та, переміщуючись у процесі роботи транспортера, сходить з його робочої поверхні в крайньому верхньому положенні (т. А<sub>2</sub>, рис. 2).

Надалі під час аналізу переміщення шару матеріалу поверхнею скребка будемо розглядати його як рух окремих матеріальних частинок *M* шорсткою поверхнею. Введемо систему координат *XOY*, (рис. 2). Ця система рухається у напрямку вектора швидкості транспортера  $\bar{V}_{cx}$  прямолінійно і рівномірно. У такому випадку матеріальна частинка *M* буде здійснювати переносний рух – разом із скребком транспортера, і відносний рух – поступальний вздовж робочої поверхні скребка з лінійною швидкістю  $V_r$ .

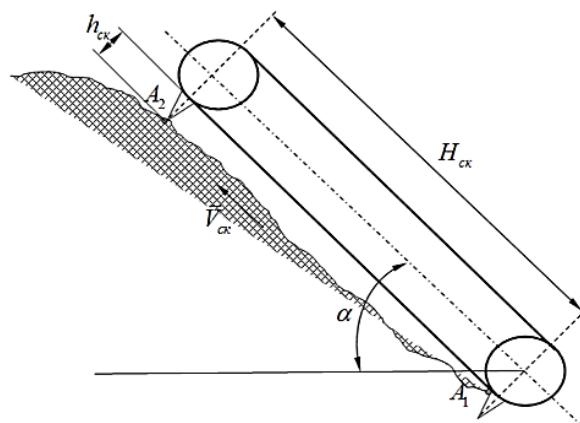


Рис. 2 – Схема до визначення переміщення частинки сапропелю робочою поверхнею скребка у процесі роботи транспортера

Для визначення профілю скребка транспортера розглянемо схему руху частинки сапропелю *M* (рис. 3), що надійшла на скребок. Частинка *M* буде підніматись разом зі скребком і переміщуватись його робочою поверхнею.

При цьому на матеріальну частинку діють такі сили:

- 1) сила ваги частинки  $G = mg$ ,  $H$ ;
- 2) сила тертя  $F_{mp} = f_{mp} \cdot N$ ,  $H$ ;

3) сила внутрішнього тертя між частинками сапропелю

$$F_{mp}^e = f_{mp}^e N, \text{H}$$

де  $f_{mp}$  – коефіцієнт тертя ковзання сапропелю по металу;

$f_{mp}^e$  – коефіцієнт внутрішнього тертя маси сапропелю.

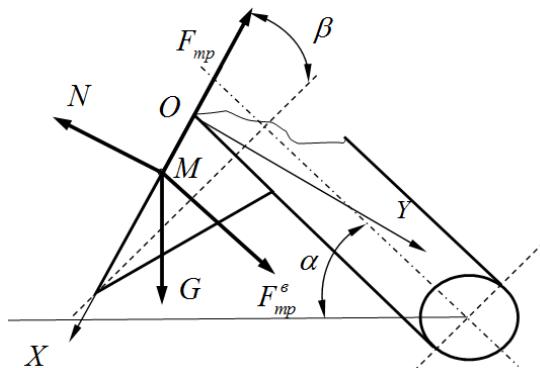


Рис. 3 – Розрахункова схема до визначення кута профілю скребка:  $\alpha$  – кут нахилу транспортера,  $\beta$  – кут профілю робочої поверхні скребка

Для визначення профілю скребка транспортера необхідно встановити значення кута  $\beta$  та розробити модель, яка взаємопов'язує кут нахилу транспортера  $\alpha$ , висоту скребка  $h$  та згаданий кут профілю скребка  $\beta$ .

Рівняння відносного руху частинки матеріалу вздовж осі  $Y$  (в напрямі, перпендикулярному до поверхні скребка буде, проекція на вісь  $OY$ ):

$$m\ddot{y} = -N + F_{mp}^e \cos \beta + G \sin(\alpha - \beta). \quad (1)$$

Оскільки переміщення вздовж осі  $Y$  не відбувається, тоді  $\ddot{y} = \dot{y} = y = 0$ , відповідно, отримаємо:

$$-N + F_{mp}^e \cos \beta + G \sin(\alpha - \beta) = 0. \quad (2)$$

Звідки:

$$N = f_{mp}^e N \cos \beta + mg \sin(\alpha - \beta),$$

або

$$N = \frac{mg \sin(\alpha - \beta)}{1 - f_{mp}^e \cos \beta}. \quad (3)$$

Складаючи суму проекцій сил на вісь  $OX$  і прирівнюючи її до добутку маси на прискорення, отримаємо диференційне рівняння руху частинки робочою поверхнею скребка:

$$m\ddot{x} = -F_{mp} + F_{mp}^e \sin \beta + G \cos(\alpha - \beta), \quad (4)$$

або

$$m\ddot{x} = -f_{mp} N + f_{mp}^e N \sin \beta + mg \cos(\alpha - \beta). \quad (5)$$

Беручи до уваги рівняння (3) і (5) після відповідних перетворень система буде матиме вигляд:

$$\ddot{x} = \frac{g \cdot \sin(\alpha - \beta)}{1 - f_{mp}^e \cdot \cos \beta} f_{mp}^e \sin \beta - f_{mp} + g \cdot \cos(\alpha - \beta), \quad (3)$$

Двічі інтегруючи вираз (3) за часом  $t$  з урахуванням початкових умов при  $t = 0$ ,  $\dot{x} = V_{mp} = 0$  та  $x = 0$ , матимемо:

$$x = \left[ \frac{g \cdot \sin(\alpha - \beta)}{1 - f_{mp}^e \cdot \cos \beta} f_{mp}^e \sin \beta - f_{mp} + g \cdot \cos(\alpha - \beta) \right] \frac{t^2}{2}. \quad (4)$$

За умови задачі, час руху частинки сапропелю робочою поверхнею скребка складе  $t = \frac{H_{ck}}{V_{ck}}$ , а відстань, яку вона пройде, буде

рівною  $\frac{h_{ck}}{\sin \beta}$ .

Тому для отримання моделі взаємозв'язку параметрів  $\alpha$ ,  $\beta$  та  $h_{ck}$  складемо систему рівнянь та обмежень:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{h_{ck}}{\sin \beta} = \left[ \frac{g \cdot \sin(\alpha - \beta)}{1 - f_{mp}^s \cdot \cos \beta} \left( f_{mp}^s \sin \beta - f_{mp} + g \cdot \cos(\alpha - \beta) \right) \right] \frac{\left( \frac{H_{ck}}{V_{ck}} \right)^2}{2}, \\ -45^\circ \leq \beta \leq 45^\circ, \\ 20^\circ \leq \alpha \leq 80^\circ. \end{array} \right. \quad (5)$$

За математичною моделлю (5) отримано результуючі графіки, зображені на рис. 4 і рис. 5, за таких вхідних даних:  $H_{ck} = 1,2$  м;  $\bar{V}_{ck} = 1,0$  м/с;  $f_{mp} = 0,25$ ;  $f_{mp}^s = 0,5$ .

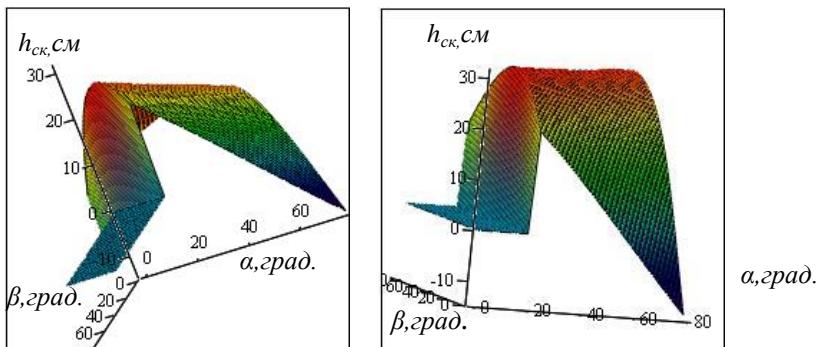


Рис. 4 – Графічна залежність параметрів  $\alpha$ ,  $\beta$  ( $0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ ) та  $h_{ck}$

На основі проведених розрахунків можна зробити висновок, що зі збільшенням кута підйому транспортера  $\alpha$  зростає значення кута нахилу скребкового транспортера  $\beta$ .

Загалом, під час розгляду вищезазначененої задачі слід враховувати і те, що конструкція машини передбачає можливість зміни кута нахилу скребкового транспортера  $\alpha$ . Тому введемо в розрахункову схему (рис. 3) відцентрову  $F_i$  та Коріолісову  $F_k$  сили (рис. 6).

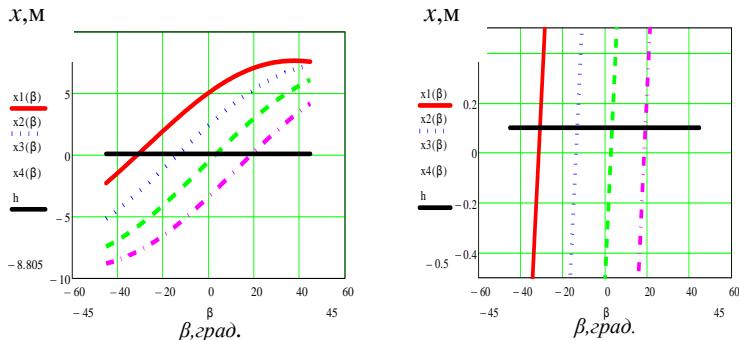


Рис. 5 – Відстань, яку пройде точка М робочою поверхнею скребка залежно від кута профілю скребка  $\beta$ : x1)  $\alpha=20^0$ ; x2)  $\alpha=40^0$ ; x3)  $\alpha=60^0$ ; x4)  $\alpha=80^0$

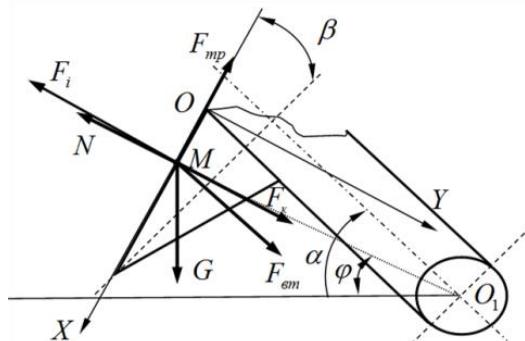


Рис. 6 – Розрахункова схема до визначення кута профілю скребка

Враховуючи можливість зміни кута нахилу транспортера  $\alpha$  відносно т.  $O_1$ , сума проекцій всіх сил на вісь  $Y$ :

$$m\ddot{y} = -N + F_{mp}^e \cos \beta + G \sin(\alpha - \beta) + F_k - F_i \cos(\alpha - \varphi) \cos \beta. \quad (6)$$

Оскільки переміщення вздовж осі  $Y$  не відбувається, тоді  $\ddot{y} = \dot{y} = y = 0$ , відповідно, отримаємо:

$$-N + F_{mp}^e \cos \beta + G \sin(\alpha - \beta) + F_k - F_i \cos(\alpha - \varphi) \cos \beta = 0. \quad (7)$$

Звідси:

$$N = \frac{mg \sin(\alpha - \beta) + 2m\omega V_{mp} - mr\omega^2 \cos(\alpha - \varphi) \cos \beta}{1 - f_{mp}^e \cos \beta}, \quad (8)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість обертання транспортера навколо т.  $O_1$   
 $(\omega = \frac{V_{ck}}{H})$ , рад/с;

$V_{ck}$  – лінійна швидкість скребкового транспортера, м/с;

$H$  – висота шару сапропелю, що формується скребковим транспортером (висота вхідного потоку добрив).

Оскільки  $H_{ck} >> h_{ck}$ , то можна прийняти, що  $\varphi \approx \alpha$  і радіус вектор  $r = \frac{V_{ck}}{t}$ , який зображене на рисунку 6, збігається з відрізком  $O_1M$ .

Знову ж таки, складаючи суму проекцій сил на вісь  $OX$  і прирівнюючи її до добутку маси на прискорення, отримаємо диференційне рівняння руху частинки робочою поверхнею скребка:

$$m\ddot{x} = -F_{mp} + F_{mp}^e \sin \beta + G \cos(\alpha - \beta) - F_i \sin \beta \quad (9)$$

або

$$m\ddot{x} = N \left[ f_{mp}^e \sin \beta - f_{mp} \right] + mg \cos(\alpha - \beta) - mr\omega^2 \sin \beta. \quad (10)$$

Підставляючи рівняння (8) в (10), отримаємо:

$$\ddot{x} = \frac{g \cdot \sin(\alpha - \beta) + 2\omega \dot{x} - r\omega^2 \cos \beta}{1 - f_{mp}^e \cos \beta} f_{mp}^e \sin \beta - f_{mp} + g \cdot \cos(\alpha - \beta) - r\omega^2 \sin \beta. \quad (11)$$

У такому випадку математична модель переміщення частинки сапропелю робочою поверхнею скребка матиме вигляд:

$$\begin{cases} \ddot{x} = \frac{g \cdot \sin(\alpha - \beta) + 2\omega \dot{x} - r\omega^2 \cos \beta}{1 - f_{mp}^e \cos \beta} f_{mp}^e \sin \beta - f_{mp} + g \cdot \cos(\alpha - \beta) - r\omega^2 \sin \beta, \\ -45^\circ \leq \beta \leq 45^\circ. \end{cases} \quad (12)$$

Для визначення профілю скребка транспортера слід виконати розрахунки згідно прийнятої моделі (12) в  $n$  точках за його висотою  $h_{ck}$  зважаючи на те, що:

$$\alpha = \omega \cdot t = \frac{V_{ck}}{H} \cdot t; \quad t = \frac{H_{ck}}{V_{ck}}, \quad (13)$$

та початкові умови:

$$\text{при } t=0, \dot{x}=0 \text{ та } x=0. \quad (14)$$

Так як  $H_{ck} >> h_{ck}$ , то можна прийняти, що  $\varphi \approx \alpha$  і радіус вектора  $r = V_{ck} \cdot t$ , (рис. 6) і співпадає з відрізком  $OM$ .

Зважаючи на те, що параметри  $x, \alpha, r$  є функціями часу, то отримати аналітичний результат моделі (12) є складно. Для проведення розрахунків використовувався чисельний метод розв'язку диференціального рівняння Рунге-Кутта з постійним кроком у середовищі MathCad.

Провівши числове моделювання, отримали графічні залежності (рис. 7), які дають можливість розрахувати робочий профіль скребка транспортера за умови переміщення частинки матеріалу із крайньої нижньої точки  $A_1$  (рис. 2) в крайню верхню точку  $A_2$  і повороту транспортера навколо точки  $O_1$  (рис. 6). Отримані значення кута дають можливість побудувати робочий профіль скребка транспортера (рис. 8).

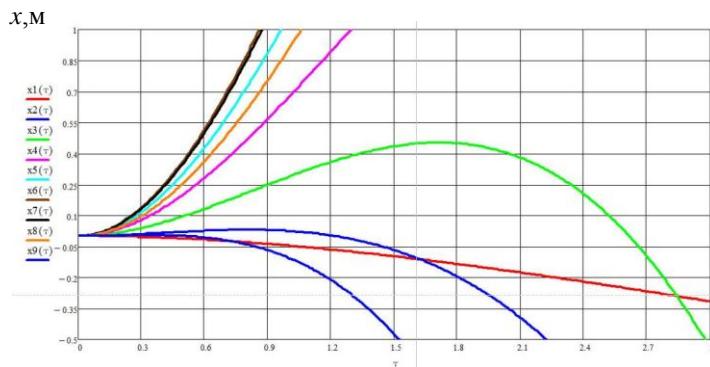


Рис. 7 – Залежність переміщення  $x$  частинки сапропелю  $M$  від часу  $t_{p\gamma}$  та кута профілю скребка  $\beta$ :  $x_1 = 19^\circ$ ,  $x_2 = 20^\circ$ ,  $x_3 = 20,5^\circ$ ,  $x_4 = 20,5^\circ$ ,  $x_5 = 19^\circ$ ,  $x_6 = 18^\circ$ ,  $x_7 = 35^\circ$ ,  $x_8 = 30^\circ$ ,  $x_9 = 25^\circ$

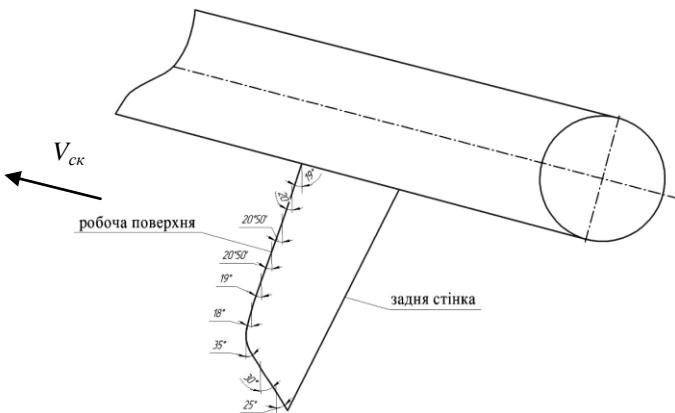


Рис. 8 – Робочий профіль скребка транспортера

Таким чином, запропонована математична модель дає можливість взаємозв’язати кінематичні і технологічні параметри машини та фізико-механічні властивості сапропелю. А також отримати профіль робочої поверхні скребка транспортера для формування шару сапропелю, який подається у зону формування смуг під час локального внесення добрив.

**Висновки:** Одержано математичні залежності, які враховують взаємозв’язок кінематичних і технологічних параметрів машини для локального внесення промороженого сапропелю та його фізико-механічні властивості. На основі аналізу переміщення елементарної маси криволінійною поверхнею встановлено, що кут профілю скребка є визначальним і перебуває у межах  $\beta = 18^0 - 35^0$  і суттєво впливає на якість переміщення матеріалу. Зміна положення скребкового транспортера, який характеризується кутом  $\alpha = 20 - 80^0$ , підтверджує необхідність у криволінійній формі робочої поверхні скребка.

### Література.

1. Поліщук М.М. Зміна фізико-механічних властивостей промороженого сапропелю з часом // "Актуальні задачі сучасних технологій": збірник тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, 19-20 грудня. 2012р., м. Тернопіль - Тернопіль,: Видавництво ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2012. 17-18с.

2. Поліщук М.М., Бабарика С.Ф. Дослідження процесу подрібнення промороженого сапропелю. // Сільськогосподарські

машини. - Зб. наук. ст. Вип. 24. - Луцьк: Ред. - вид. відділ ЛНТУ, 2013.  
- С. 298-305.

3. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник /  
Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка.  
— К.: Вища освіта, 2004. — 544 с.; іл.

4. Патент №92888 Україна, A01C 3/06, A01C15/00. Машина  
для локального внесення твердих органічних добрив / М.М. Поліщук,  
В.Ф. Дідух, Р.В. Кірчук, Р.А. Хлопецький, В.В. Сацюк, В.В. Тарасюк  
(Україна). — №u201403211; Заявл. 31.03.2014; Опубл. 10.09.2014 Бюл.  
№17.

5. Дідух В.Ф. Обґрунтування профілю скребка транспортера /  
В.Ф.Дідух, Р.В. Кірчук, М.М. Поліщук // Вісник харківського  
національного технічного університету сільського господарства імені  
Петра Василенка. Технічні науки «Технічний сервіс машин для  
рослинництва».— Харків, 2014. – Вип. 145. – С. 82-90.

*Рецензент д.т.н. Дідух В.Ф.*