

## АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ ВЕРТИКАЛЬНО РОЗМІЩЕНОГО ГРУНТОРІЗАЛЬНОГО ЕЛЕМЕНТУ СОШНИКА З ГРУНТОВИМ СЕРЕДОВИЩЕМ

Мачок Ю.В., канд. техн. наук, Сало В.М., проф. д-р. техн. наук,  
Лузан П.Г., доц., канд. техн. наук

(Кіровоградський національний технічний університет)

*В статті акцентовано увагу на недостатній рівень теоретичних досліджень взаємодії вертикально розміщеного ґрунторізального елемента сошника з ґрунтовим середовищем. На основі проведеного силового аналізу обґрунтовано причину виникнення нерівномірності зносу в трьох характерних зонах зношування.*

Постановка проблеми. Основними параметрами, які характеризують функціональні якості ґрунторізальних елементів сошників є: здатність до заглиблення; тяговий опір переміщенню в шарі ґрунту; ресурс; міцність; здатність збереження гостроти леза стабілізованого ґрунторізального профілю.

В процесі експлуатації ґрунторізальні леза полозів чи дисків сошників посівних машин піддаються інтенсивному абразивному зношуванню. Внаслідок механічної взаємодії з ґрунтом у їх поверхневому шарі виникають напруження і деформації, здатні викликати деструктивні процеси, активність яких залежить від сил тертя, властивостей матеріалів і зовнішнього середовища. Найбільш інтенсивне зношування металевих поверхонь виявляється при впливі на них твердих абразивних частинок або їх конгломератів мінерального походження (кварц, гірські породи тощо). Дані процеси викликають затуплення лез, що спричиняє підвищення нерівномірності загортання насіння за глибиною та зростання тягового опору сошників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням процесів зношування лез лап культиваторів, лемешів плугів, анкерних та дискових сошників, викопуючих дисків бурякозбиральних комбайнів та керуванням даними процесами шляхом використання конструктивних та технологічних методів присвячені роботи М.І. Черновола, А.І. Бойка, О.В. Козаченка, В.М. Ткачова, В.В. Ауліна, В.М. Бобрицького [1-6] та ін.. Характерною ознакою зношування лез вказаних робочих органів є те, що лінія зносу переміщується практично паралельно початковій формі леза і за умови підтримання його гостроти не змінює своїх функціональних властивостей. Лише за настання певного критичного стану вони можуть бути вибракувані. Умови роботи вертикально розміщених ґрунторізальних елементів аналогічні умовам роботи лез зорієнтованих горизонтально чи під певним кутом до горизонту, але суттєво відрізняються характером їх спрацювання в силу того мають криволінійну робочу частину, через що несуть різне силове навантаження по товщині та ширині. Це леза полозовидних, кілевидних,

полозкових сошників.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. На даний час ще не створено теорії, яка б в повній мірі розкрила механізм абразивного зношування вертикально розміщених лез у ґрунтовому середовищі.

Мета дослідження. Метою даної роботи є встановлення теоретичних залежностей впливу силового навантаження різних робочих зон вертикально розміщеного криволінійного ґрунторізального леза на величину зносу.

Виклад основного матеріалу. Реалізацію поставленої мети проведемо на прикладі полозкового сошника зернової сівалки [7]. Експериментальні дані свідчать, що при взаємодії полозу сошника з ґрунтом, можна виділити три характерні зони його зношування (рис. 1).

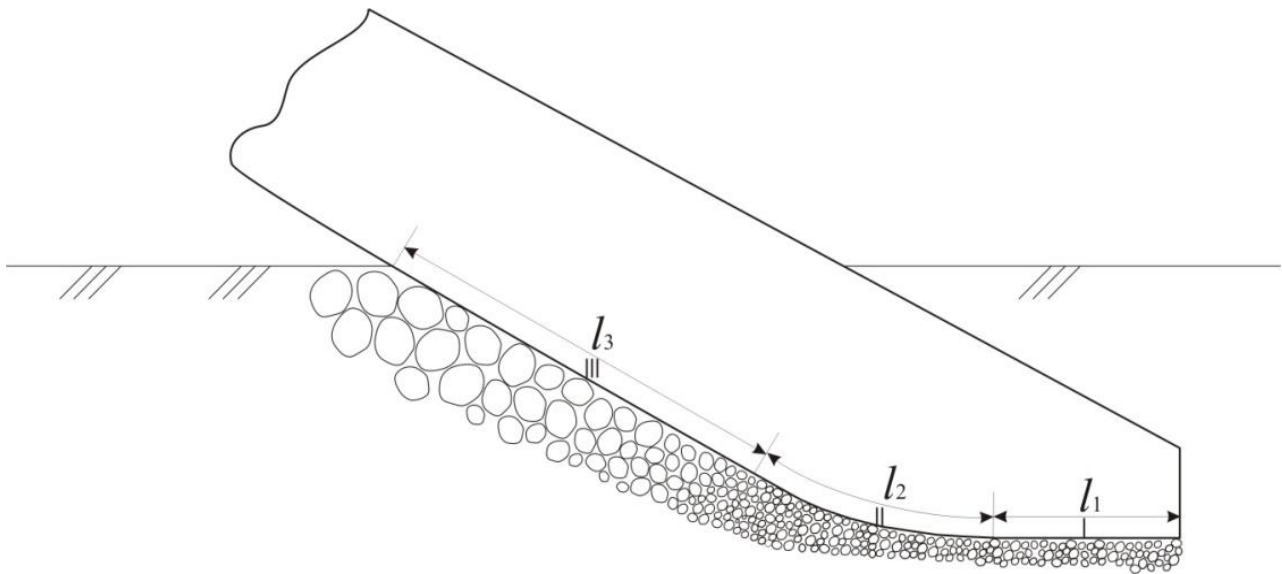


Рисунок 1 – Характерні зони зношування полозу полозкового сошника (I зона – довжиною  $l_1$ , II зона – довжиною  $l_2$ , III зона – довжиною  $l_3$ )

Процес зношування полозу сошника в характерних зонах розглянуто на основі рівняння Хрущова-Бабічева [8].

При цьому інтенсивність зношування пропорційна питомому навантаженню на поверхню тертя

$$\frac{dU}{dS} = Kp, \quad (1)$$

де  $U$  - лінійний знос;

$S$  - напрацювання;

$p$  – питоме навантаження на поверхню тертя;

$K$  – коефіцієнт, який залежить від властивостей деталі та ґрунту.

Оскільки коефіцієнт  $K$  залежить від властивостей матеріалу деталі та ґрунту, то використовуючи метод розмірностей, маємо

$$K = \frac{\rho_m \mu R_a}{b E_m W \rho_{zp} k_{zp}}, \quad (2)$$

де  $\rho_m$  – густина матеріалу полозу сошника;

$\mu$  – коефіцієнт Пуассона матеріалу полозу сошника;

$R_a$  – шорсткість робочої поверхні полозу сошника;

$W$  – вологість ґрунту, %;

$\rho_{zp}$  – щільність ґрунту, що взаємодіє з полозом сошника;

$E_{zp}$  – модуль Юнга для матеріалу полозу;

$b$  – ширина леза;

$k_{zp}$  – коефіцієнт, що характеризує фізико-механічні та технологічні властивості ґрунту згідно з агровимогами.

Підставивши (2) в (1), маємо

$$\frac{dU}{dS} = \frac{\rho_m \mu R_a p}{b E_m W \rho_{zp} k_{zp}}. \quad (3)$$

Врахувавши в рівнянні (3) комплекс сил (рис. 2а), які діють на поверхню тертя, в першій зоні полозу і прийнявши, що розтягуючі сили – додатні, стискаючі – від’ємні, отримаємо

$$\frac{dU_1}{dS} = \frac{\rho_m \mu R_a}{b E_m W \rho_{zp} k_{zp}} \frac{1}{bl_1} (q_1 l_1 - R_{z1} \cos \varphi_1), \quad (4)$$

де  $q_1$  – лінійне розподілення (питоме) навантаження I-ї зони полозу сошника від дії сили ваги;

$l_1$  – довжина I зони ( $l_1 = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ );

$\varphi_1$  – кут тертя ґрунту по металу;

$R_{z1}$  – реакція на навантаження, що діє на сошник в зоні I.

Згідно II-го закону Ньютона для цієї зони маємо наступне рівняння

$$R_{z1} \sin \varphi_1 + F_{мер1} = m \frac{v^2 b}{2S}, \quad (5)$$

де  $F_{мер1}$  – сила тертя, що діє на поверхню полозу полозкового сошника I-ї зони,

$$F_{мер1} = f R_{z1} \cos \varphi_1,$$

$f$  – коефіцієнт тертя;

$v$  – швидкість руху сошника.

Підставивши вирази деяких сил у рівняння (5), отримаємо

$$R_{z1} \sin \varphi_1 + f R_{z1} \cos \varphi_1 = \frac{mv^2 b}{2S}. \quad (6)$$

З останнього рівняння знаходимо  $R_{z1}$

$$R_{z1} = \frac{mv^2b/2S}{(\sin \varphi_1 + f \cos \varphi_1)}. \quad (7)$$

Підставивши (7) в (4), отримаємо

$$\frac{dU_1}{dS} = \frac{\rho_m \mu R_a}{b^2 E_m W \rho_{zp} k_{zp} l_1} \left( q_1 \cdot l_1 - \frac{mv^2b}{2S(\sin \varphi_1 + f \cos \varphi_1)} \right) \quad (8)$$

Після інтегрування отримуємо

$$U_1 = \frac{\rho_m \mu R_a S}{b^2 E_m W \rho_{zp} k_{zp} l_1} \left( q_1 \cdot l_1 - \frac{mv^2b \ln S}{2S(\sin \varphi_1 + f \cos \varphi_1)} \right). \quad (9)$$

Розглянемо вплив силового навантаження (рис. 2б) на процесношування II зони полозу сошника.

Для точок цієї зони, враховуючи сили, які діють на неї, матимемо наступне рівняння

$$\frac{dU_2}{dS} = \frac{\rho_m \mu R_a}{b^2 E W \rho_{zp} k_{zp} l_2} (q_2 l_2 \cos \varphi_2 - R_{z2} \cos \varphi_2 - F_{мер2} \sin \varphi_2), \quad (10)$$

де  $R_{z2}$  – реакція від сили ваги, що діє на полоз в зоні II;

$q_2$  – питоме навантаження для II зони полозкового сошника від дії сили ваги на 1 м його робочої довжини;

$\varphi_2$  – кут тертя ґрунту по металу;

$l_2$  – довжина II зони леза, ( $l_2 = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ).

Для наведеної схеми сил II закон Ньютона матиме вигляд

$$F_{мер2} \cos \varphi_2 + R_{z2} \sin \varphi_2 = m \frac{v^2 b}{2S}, \quad (11)$$

де  $F_{мер2}$  – сила тертя, що діє на поверхню леза полозу сошника II зони,

$$F_{мер2} = f R_{z2}.$$

З останнього рівняння знаходимо вираз для  $R_{z2}$ , який підставляємо у рівняння (10)

$$\frac{dU_2}{dS} = \frac{\rho_m \mu R_a}{b^2 E W \rho_{zp} k_{zp} l_2} \left( q_2 l_2 \cos \varphi_2 - \frac{mv^2b \cos \varphi_2 (1 - f \sin \varphi_2)}{2S(f \cos \varphi_2 + \sin \varphi_2)} \right) \quad (12)$$

Після інтегрування маємо

$$U_2 = \frac{\rho_m \mu R_a S}{b^2 E W \rho_{zp} k_{zp} l_2} \left( q_2 l_2 \cos \varphi_2 - \frac{mv^2b \cos \varphi_2 (1 - f \sin \varphi_2)}{f \cos \varphi_2 + \sin \varphi_2} \cdot \frac{\ln S}{2S} \right) \quad (13)$$

Розглянемо сили, що діють на точки III зони (рис. 2в). Рівняння Хрущова-

Бабічева для цієї зони леза полозу сошника матиме вигляд

$$\frac{dU_3}{dS} = \frac{\rho_m \mu R_a}{b^2 E W \rho_{ep} k_{ep} l_2} (q_3 l_3 \cos \beta - R_{z3} \cos(\beta + \varphi_3) - F_{мер3} \sin \beta) \quad (14)$$

де  $R_{z3}$  - реакція на навантаження, що діє на сошник в зоні III;

$q_3$  - питоме навантаження для зони III полозу сошника від дії сили ваги на 1 м його робочої довжини;

$\varphi_3$  - кут тертя ґрунту по металу;

$\beta$  - кут нахилу леза полозу до горизонту;

$l_3$  - довжина III зони леза полозу ( $l_3 = 7,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ).

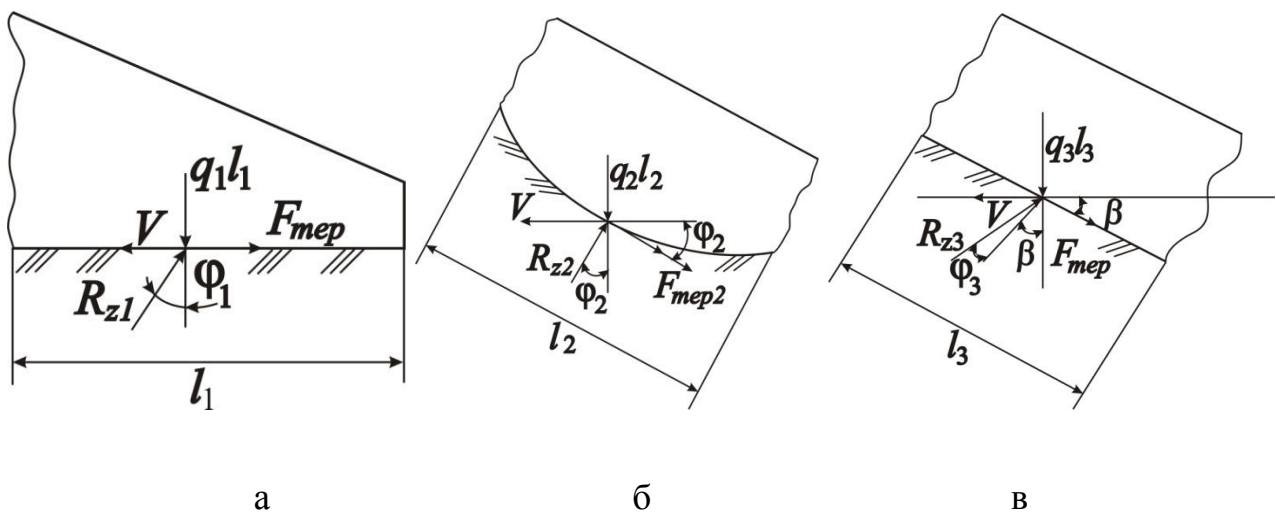


Рисунок 2 – Схема сил, що діють в точках: а – першої зони полозу сошника; б – II зони; в – III зони

Схема сил (рис. 2в) дає можливість скласти наступне рівняння динаміки

$$R_{z3} \sin(\beta + \varphi_3) + F_{мер3} \cos \beta = m \frac{v^2 b}{2S} \quad (15)$$

Якщо з рівняння (15) знайти  $R_{z3}$  і підставити у рівняння (14), то отримаємо

$$\frac{dU_3}{dS} = \frac{\rho_m \mu R_a}{b^2 E W \rho_{ep} k_{ep} l_3} \left( q_3 l_3 \cos \beta - \frac{m v^2 b (\cos(\beta + \varphi_3) + f \sin \beta)}{2(\sin(\beta + \varphi_3) + f \cos \beta) S} \right) \quad (16)$$

Після інтегрування маємо

$$U_3 = \frac{\rho_m \mu R_a S}{b^2 E W \rho_{ep} k_{ep} l_3} \left( q_3 l_3 \cos \beta - \frac{m v^2 b (\cos(\beta + \varphi_3) + f \sin \beta) \ln S}{2(\sin(\beta + \varphi_3) + f \cos \beta) S} \right) \quad (17)$$

Отримані формули (9), (13) та (17) для відповідних зон полозу сошника дають можливість побудувати залежність величини зносу від напрацювання

попередньо прийнявши, що швидкість руху постійна і властивості матеріалу полозу та зношуючі властивості ґрунту, є постійними, а профіль леза сошника є стабілізованим.

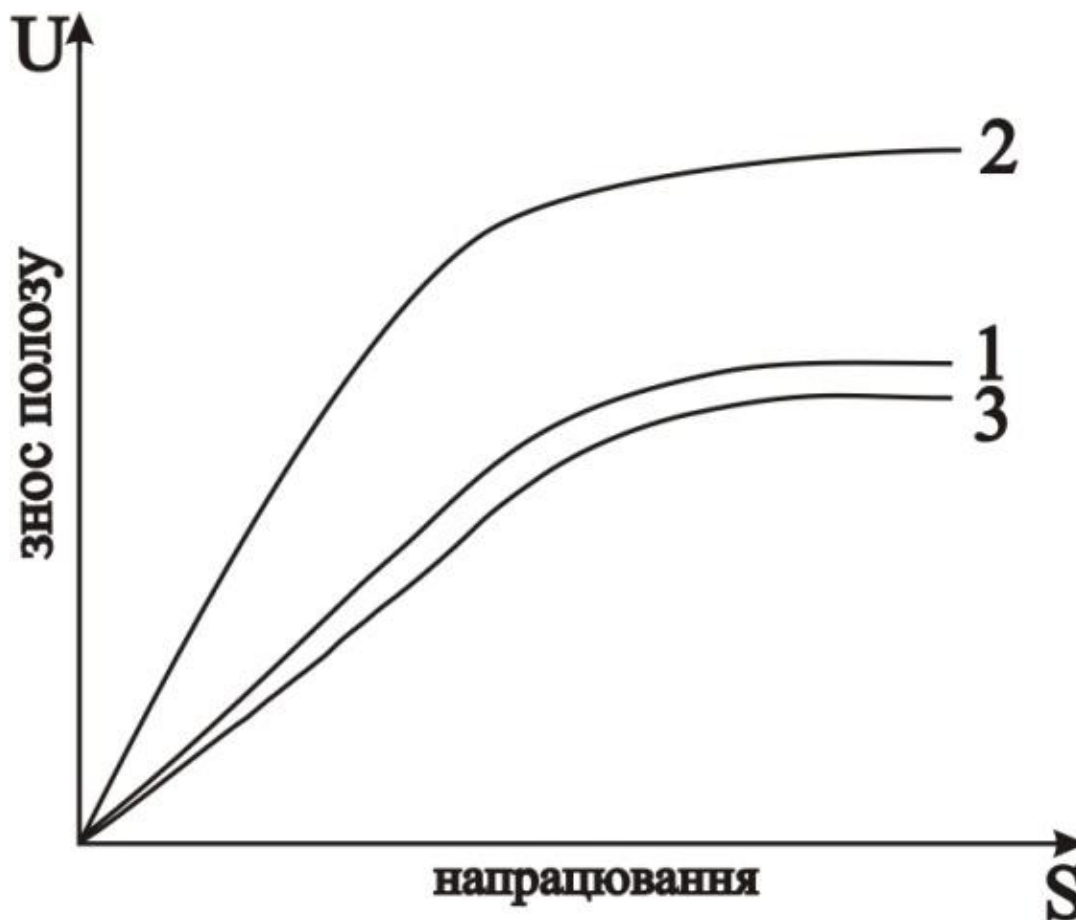


Рисунок 3 – Характерні залежності зносу полозу сошника від напрацювання при стабілізованому профілі леза:

1 – I - зона; 2 – II- зона; 3 – III- зона

Висновки. Аналіз аналітичних залежностей зносу свідчить, що максимальну величину зношування має II зона, а мінімальну – III зона. Таку відмінність процесу зношування полозу сошника можна пояснити тим, що сила  $R_z$  змінює напрямок дії у кожній зоні. В найбільш зношуваній II зоні вона діє на полоз по нормалі. Проведені дослідження дадуть змогу використати диференційований підхід до зміцнення леза з метою забезпечення його рівномірності протягом всього періоду експлуатації.

### Список літератури

1. Аулін В.В. Керування характером та інтенсивністю зношування різальних частин робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, Т.М. Ауліна // Проблеми надійності машин та засобів механізації с.-г. виробництва: вісник ХДТУСГ, вип. 23.– Харків, 2004.– С. 270-273.

2. Бойко А.И. Исследование формы естественного износа монометаллических лезвий почвообрабатывающих машин. / А.И. Бойко, А.В. Балабуха // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КДТУ.– Кіровоград, 2000.– Вип. 6.– С. 78-82.
3. Бойко А.І. Аналіз розподілу зусиль на ріжучій частині ґрунтообробного робочого органу / А.І. Бойко, О.В. Балабуха // Вісник Тернопіль. держ. техн. університету.– 2000.– Т. 5.–№ 4.– С. 78-82.
4. Козаченко О.В. Дослідження по зміцненню леза дискових копачів коренезбиральної машини КС-6Б / О.В. Козаченко, О.В. Блезнюк // Зб. наук. праць. ВДАУ.- Вінниця: ВДАУ, 2005.- Вип.21.- С. 185-189.
5. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей в условиях абразивного изнашивания / В. Н. Ткачев.- М.: Машиностроение, 1995.– 336 с.
6. Черновол М.И. Упрочнение и восстановление деталей машин композиционными покрытиями: учеб. пособие / М.И. Черновол.– К.: Вища школа, 1992.– 79 с.
7. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропівний; за ред. М.І. Черновола.– К.: Урожай, 2001.– 384 с.
8. Хрущов М.М. Абразивное изнашивание / М.М. Хрущов, М.А. Бабичев.– М.: Наука, 1970.– 252 с.

## Аннотация

### **АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЕРТИКАЛЬНО РАСПОЛОЖЕННОГО ПОЧВОРЕЖУЩЕГО ЭЛЕМЕНТА СОШНИКА С ПОЧВЕННОЙ СРЕДОЙ**

Ю. Мачок, В. Сало, П. Лузан

*В статье акцентировано внимание на недостаточный уровень теоретических исследований взаимодействия вертикально расположенного почворезущего элемента сошника с почвенной средой. На основании проведенного силового анализа обосновано причины возникновения неравномерного износа в трех характерных зонах изнашивания.*

## Abstract

### **THE ANALYSIS OF INTERACTION OF VERTICALLY ALIGNED EARTH CUTTER COULTER ELEMENT WITH SOIL MEDIUM**

Yu. Machok, V. Salo, P. Luzan

*The article is focusing on insufficient level of theoretical researches of interaction of vertically aligned earth cutter coultter element with soil medium. Based on force analysis the reasons of uneven wear in three typical wear areas were explained.*