

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ СТІЛЧАСТОЇ ЛАПИ З ЕЛЕМЕНТАМИ ЛОКАЛЬНОГО ЗМІЦНЕННЯ ІЗ СЕРЕДОВИЩЕМ

Предложена математическая модель взаимодействия лапы со средой, проанализирован износ лезвия культиваторной лапы при наличии элементов локального упрочнения.

MATHEMATICAL MODEL OF DUCKFOOT TOOTH INTERACTION WITH THE LOCAL STRENGTHENING ELEMENTS WITH THE ENVIRONMENT

Mathematical model of duckfoot tooth interaction with the environment is offered. The work of tooth blade in the presence of local strengthening elements is analyzing.

Основою розвитку механізації сільського господарства є пошук шляхів збільшення виробництва сільськогосподарської продукції господарствами незалежно від форм господарювання, що дозволить вирішити стратегічну задачу – забезпечення населення України продуктами власного виробництва. Тому важливою задачею є забезпечення сільськогосподарських машин робочими органами, що пристосовані до заданих ґрунтово-кліматичних умов.

В технологічному процесі виробництва будь-яких сільськогосподарських культур значне місце займає поверхневий обробіток ґрунту. Промисловість пропонує для поверхневого і міжрядного обробітку ґрунту культиватори, що оснащені різними робочими органами, з яких стрілчасті лапи є найбільш поширеними. Однак, стрілчасті лапи обволікаються бур'янами, що різко знижує підрізаючу функцію робочого органу. Окрім цього, обволікання лап бур'янами і залипання ґрунтом порушує геометрію леза, що призводить до погіршення стійкості ходу по глибині.

Аналізом досліджень окреслено коло задач, які на даному етапі є актуальними для покращення технологічних характеристик культиватора. Найголовніші з них:

- покращення сталості ходу лапи;
- підвищення зносостійкості;
- покращення підрізаючої та розпушуючої спроможності лап.

Поставлені задачі вирішуються в основному за рахунок:

- оптимізації форми лапи і її леза;
- підвищення зносостійкості;
- формування процесу самозагострювання;
- формування направленого зносу.

Найбільш перспективними, на наш погляд, є поєднання в одному технічному рішенні окреслених вище напрямів удосконалення. Вирішення цієї задачі можливе за умови створення найбільш повної математичної моделі взаємодії стрілчастої лапи з середовищем, що оброблюється.

Мета досліджень. Теоретичне обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів стрілчастої лапи з локальними елементами зміцнення.

Аналіз досліджень. Характерною особливістю ґрунтообробних робочих органів є короткий цикл роботи в загальному технологічному процесі при їх інтенсивному спрацюванні, коли втрата металу становить приблизно 140 г/га [1]. Інтенсивна втрата металу призводить до порушення геометричної форми робочого органу, що викликає погіршення показників якості роботи. Дослідження зносу і пошук шляхів його зниження постійно привертає увагу дослідників.

Багаточисельними дослідженнями [1-6] встановлено основні фактори, що впливають на спрацювання робочих органів, які працюють у ґрунті:

- фракційний склад, тип ґрунту, його вологість;
- сила нормального тиску ґрунту на окремі елементи і поверхні робочого органу;

- швидкість руху ґрунту по поверхні робочого органу.

В агротехніці ґрунти класифікують за переважними виробничо-генетичними ознаками. В основу класифікації взяті процеси ґрунтоутворення і класифікаційними ознаками являються генетичні типи ґрунтів. Однак така класифікація не може бути застосована для оцінки зношувачих властивостей ґрунту.

Процес взаємодії ґрунту з металом Л.С. Єрмолов [7] розглядає як процес контакту металу з твердим тілом, в ролі якого виступає ґрунт, з шорсткою поверхнею і рухомим активним шаром. Активний шар утворюється за рахунок того, що абразивні частки мають неправильну форму і в процесі контакту займають стійке положення.

Розрізняють наступні площі дотику [7, 8]:

а) номінальну (геометричну) S_n , окреслену зовнішніми розмірами тіл, що дотикаються;

б) контурну S_k , утворену об'ємним зминанням тіла, на якій розташовані елементарні площини дотику;

в) фактичну S_f , що являє собою суму елементарних площин контакту.

Є.П. Огризков [9], досліджуючи вплив абсолютної вологості на спрацювання лемешів плугів, встановив, що із зменшенням вологості спрацювання зростає. Так, при абсолютній вологості 12 % лінійне спрацювання лемеша по ширині складає 0,9 мм/га, в той же час при абсолютній вологості 22 % лінійне спрацювання складає 0,32 мм/га.

Л.С. Єрмолов [7, 10] у своїх дослідженнях встановив, що при оптимальній вологості ґрунт чинить мінімальний опір і найменше спрацювання. При цих умовах тверда дисперсна фаза знаходиться в агрегатному стані, максимально можливого для даної системи і піщані частки величиною 0,25 мм і менше, зношувати метал робочого органу шляхом подряпин не будуть. Зв'язок окремих часток ґрунту визначає ступінь фіксації твердих і міцних матеріалів, котрі дряпають або зминають поверхневі шари металу.

Дослідження [11] показали, що в межах питомого нормального тиску (0,2...10,3) кг/см² інтенсивність зношування пропорційна тиску, причому ріст інтенсивності зношування відбувається повільніше, ніж тиску.

Наступним фактором, що впливає на спрацювання, є відносна швидкість руху ґрунту по поверхні робочого органу. Так, В.А. Короткевич [12] встановив залежність спрацювання (г/га) від швидкості, яка має наступний вигляд

$$G = AV^\sigma, \quad (1)$$

де V – швидкість руху, м/с;
 A і σ – емпіричні коефіцієнти.

Матеріал досліджень.

В загальній сукупності факторів, що впливають на спрацювання металу, домінуючим є переміщення абразивних часток у залежності від фізико-механічних властивостей ґрунту, і матеріалу, з якого виготовлений робочий орган. Знаючи закономірності переміщення абразивних частинок і параметри потоку ґрунту можливо вивчити їх взаємний вплив і встановити шляхи оптимізації спрацювання.

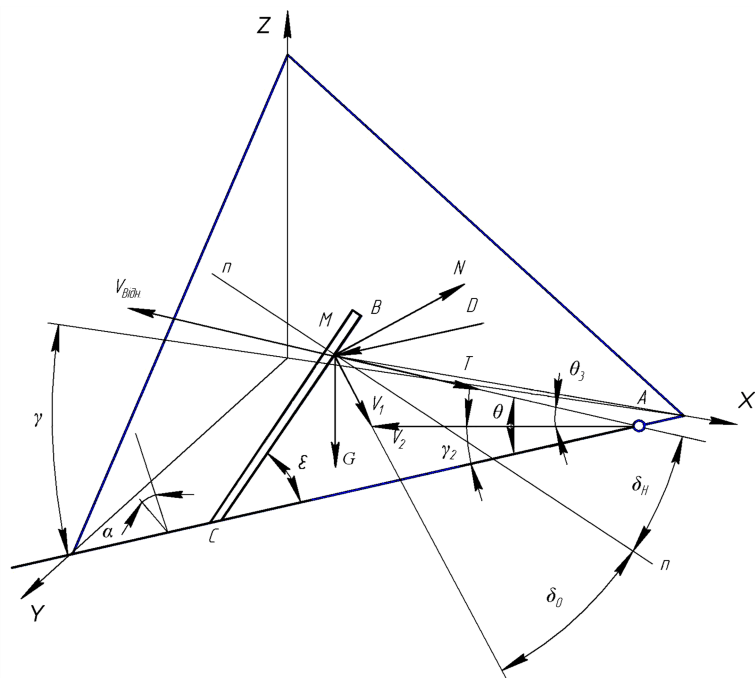


Рис. 1 – Схема до визначення кінематичних параметрів потоку ґрунту

Абразивні частки, що знаходяться в контакті одна з одною і поверхнею робочого органу, виконують складний рух переміщення кочення і обертання. Враховуючи малий розмір абразивних часток, переміщенням одна відносно іншої і обертанням можна знехтувати. Однак, така характеристика потоку ґрунту, як відносна швидкість руху по поверхні робочого органу є домінуючою.

Розглянемо культиваторну лапу, як найбільш поширений ґрунтообробний робочий орган (рис. 1).

При русі ґрунту по поверхні лапи на неї будуть діяти сили: G – сила тяжіння скиби, H ; D – динамічний тиск, H ; T – сила тертя, H .

Інтенсивність спрацювання лапи в абразивному середовищі від тиску і шляху тертя можливо представити співвідношенням [11]

$$\frac{\Delta Q}{\Delta S} = K_u \cdot D_N, \quad (2)$$

де ΔQ – спрацювання, кг;

ΔS – шлях пройдений часткою ґрунту, м;

K_u – емпіричний коефіцієнт, що залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту;

D_N – нормальна складова динамічного тиску, H .

Враховуючи, що відносна швидкість руху ґрунту по поверхні робочого органу рівна відношенню пройденого часткою шляху до часу, маємо

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = V_{\text{відн.}}. \quad (3)$$

Вираз для визначення спрацювання (2) можливо записати через відносну швидкість

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = K_u \cdot D_N \cdot V_{\text{відн.}}. \quad (4)$$

Нормальні складові сили тяжіння частки G_N і динамічного тиску D_N викликають нормальний тиск

$$F_D = G_N + D_N. \quad (5)$$

У відповідності до теореми про зміну кількості руху можна записати

$$F_D \Delta t = \Delta m_c \cdot V_{\text{абс}}, \quad (6)$$

де F_D – динамічний тиск ґрунту на клин, H ;

Δm_c – маса ґрунту, що потрапляє на робочий орган в одиницю часу, кг;

$V_{\text{абс}}$ – абсолютна швидкість руху ґрунту, під дією лапи, м/с.

Маса ґрунту, що потрапляє на робочий орган в одиницю часу дорівнює

$$\frac{\Delta m_c}{\Delta t} = \rho \cdot a \cdot b \cdot V_{\text{відн.}}, \quad (7)$$

де ρ – щільність ґрунту, кг/м³;

a, b – товщина і ширина елемента скиби, м.

При переміщенні робочого органу в ґрунті абразивні частки виконують складний рух: переносний (разом з робочим органом) і відносний (по поверхні робочого органу).

Модуль абсолютної швидкості дорівнює

$$V_{\text{абс}} = \sqrt{V^2 + V_{\text{відн.}}^2 - 2 \cdot V \cdot V_{\text{відн.}} \cdot \cos \theta}, \quad (8)$$

де V – швидкість руху робочого органу, м/с;

θ – кут вступу ґрунту на поверхню робочого органу, град.

В першому наближенні, виходячи з нерозривності потоку ґрунту, можна вважати, що відносна швидкість руху рівна переносній $V = V_{\text{відн.}}$ тоді

$$V_{\text{абс}} = V \sqrt{2 \cdot (1 - \cos \theta)}. \quad (9)$$

Підставивши вираз для абсолютної швидкості (9) в (6) з врахуванням (7) можна записати силу динамічного напору наступним чином:

$$F_D = \rho \cdot a \cdot b \cdot V_{абс}^2 \cdot 2(1 - \cos \theta). \quad (10)$$

З отриманого рівняння видно, що сила динамічного напору на поверхню лапи зростає із збільшенням перетину скиби $a \cdot b$, швидкості руху V і знижується із зменшенням кута вступу ґрунту на поверхню робочого органу.

Проекція сили нормального тиску на нормаль до площини лапи дорівнює

$$F_D = \rho \cdot a \cdot b \cdot 2V_{абс}^2 \cdot (1 - \cos \theta) \sin \gamma \sin \alpha.$$

Сила тяжіння елемента скиби ґрунту дорівнює

$$G = mg = \rho \cdot a \cdot b \cdot \Delta x \cdot g, \quad (11)$$

де g – прискорення сили тяжіння, м/с^2 ;

Δx – довжина елемента скиби, м .

Повна сила нормального тиску елемента скиби ґрунту на поверхню лапи буде дорівнювати

$$\begin{aligned} D_N &= \rho \cdot a \cdot b \cdot \Delta x \cdot g \cos \alpha + \rho \cdot a \cdot b \cdot 2V_{абс}^2 (1 - \cos \theta) \sin \gamma \sin \alpha = \\ &= \rho \cdot a \cdot b \left[\Delta x \cdot g \cdot \cos \alpha + 2V_{абс}^2 (1 - \cos \theta) \sin \gamma \sin \alpha \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

В свою чергу сила тертя дорівнює

$$T = f_1 \cdot \rho \cdot a \cdot b \cdot \left[\Delta x \cdot g \cdot \cos \alpha + 2V_{абс}^2 (1 - \cos \theta) \sin \gamma \sin \alpha \right]. \quad (13)$$

де f_1 – коефіцієнт тертя ґрунту по сталі.

Підставивши значення сили D_N з (12) у відношення (2), отримаємо спрацювання, виражене через параметри скиби ґрунту і руху потоку ґрунту у функції шляху переміщення часток

$$\frac{\Delta Q}{\Delta S} = K_u \cdot f_1 \cdot \rho \cdot a \cdot b \cdot \left[\Delta x \cdot g + 2V_{абс}^2 (1 - \cos \theta) \sin \gamma \sin \alpha \right]. \quad (14)$$

або у функції часу

$$\frac{\Delta Q}{\Delta S} = K_u \cdot f_1 \cdot \rho \cdot a \cdot b \cdot V_{абс} \left[\Delta x \cdot g + 2V_{абс}^2 (1 - \cos \theta) \sin \gamma \sin \alpha \right]. \quad (15)$$

Розглянемо тепер рух ґрунту по поверхні робочого органу при наявності елемента зміцнення BC , який встановлено під деяким кутом ε до леза (рис.1).

В цьому випадку, потік ґрунту, що проходить через точку A з відносною швидкістю $V_{відн.}$, буде зустрічатись з елементом зміцнення BC в точці M . При цьому частина ґрунту буде відбиватись від елемента зміцнення. Прийнемо, що кут відбивання δ_0 потоку ґрунту рівний куту набігання δ_H , який відраховується від нормалі n до елемента зміцнення.

Кут між нормаллю n і лезом буде рівний різниці

$$\alpha_3 = 90^\circ - \varepsilon. \quad (16)$$

Кут набігання потоку ґрунту на елемент зміцнення дорівнює

$$\delta_H = \alpha_3 - \theta = 90^\circ - \varepsilon - \theta. \quad (17)$$

В свою чергу кут між вектором відносної швидкості $V_{відн.}$ і відбитою швидкістю V_1 дорівнює

$$\delta_3 = 2\delta_H = 2\delta_0 = 2(90^\circ - \varepsilon - \theta). \quad (18)$$

Потік ґрунту, набігаючи на елемент зміцнення, і відбиваючись від нього, втрачає швидкість, тому відбита швидкість V_1 буде завжди менше відносної $V_{відн.}$

Коли кут вступу δ_H дорівнює нулю, тобто $\delta_H = 0$, а це можливо тоді, коли елемент зміцнення розташовується вздовж потоку ґрунту, швидкість відбивання V_1 рівна швидкості потоку ґрунту, а при $\delta_H = 0,5\pi$ ця швидкість мінімальна, тому можливо записати наступ-

пне диференційне рівняння, що відображає зв'язок зміни швидкості відбитого потоку ґрунту і кута встановлення елементів зміцнення

$$\frac{dV_1}{d\delta_H} = -K_c \delta_H, \quad (19)$$

де K_c – емпіричний коефіцієнт, що враховує фізико-механічні властивості і різнозернистість ґрунту. Його величина, відповідно до теорії А.М. Панченко [13], знаходиться в межах $K_c = 0,06 - 0,75$.

Інтегруючи рівняння (19) отримаємо наступну залежність швидкості відбитого потоку від кута набігання

$$dV_1 = -K_c \delta_H d\delta_H; \quad (20)$$

$$V_1 = -0,5K_c \delta_H^2 + C. \quad (21)$$

Постійну інтегрування знаходимо з початкових умов при $\delta_H = 0$

$$C = V_{відн.}.$$

Відповідно:

$$V_1 = V_{відн.} - 0,5K_c \delta_H^2. \quad (22)$$

З врахуванням (17)

$$V_1 = V_{відн.} - 0,5K_c \left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon - \theta \right)^2. \quad (23)$$

З отриманого виразу видно, що модуль відбитої швидкості V_1 залежить як від кута вступу ґрунту на поверхню лапи δ_H , так і від кута встановлення елемента зміцнення ε , причому якщо кут вступу ґрунту θ стала величина для даного робочого органу, то зміна швидкості потоку залежить тільки від кута встановлення елементів зміцнення.

Швидкість відбитого потоку ґрунту V_1 впливає на величину і напрямок потоку ґрунту, що вступає на поверхню лапи. Модуль відносної швидкості V_2 при цьому буде дорівнювати

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 + V_{відн.}^2 - 2V_1 \cdot V_{відн.} \cos 2\delta_H}. \quad (24)$$

Підставляючи значення відбитої швидкості, отримаємо

$$V_2 = \sqrt{\left[V_{відн.} - \frac{1}{2} K_c \left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon - \theta \right)^2 \right]^2 - V_{відн.}^2 - 2 \left[V_{відн.} - \frac{1}{2} K_c \left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon - \theta \right)^2 \right] V_{відн.} \cos 2\delta_H}.$$

Оскільки швидкості потоку ґрунту V_1 , V_2 і $V_{відн.}$ відомі, то кут між відносними швидкостями дорівнює

$$\theta_3 = \arccos \left(\frac{V_{відн.}^2 + V_2^2 - V_1^2}{2V_{відн.} V_1} \right). \quad (25)$$

В свою чергу, кут вступу ґрунту при наявності елементів зміцнення дорівнює

$$\gamma_2 = \theta - \theta_3. \quad (26)$$

Абсолютна швидкість руху ґрунту при наявності елементів зміцнення буде визначатись за залежністю

$$V_{абс2} = \sqrt{V_2^2 + V^2 - 2V_2 V \cos \gamma_2} = \sqrt{V_2^2 + V^2 - 2V_2 V \cos (\theta - \theta_3)}. \quad (27)$$

З отриманого виразу видно, що для визначення абсолютної швидкості руху ґрунту, при наявності елементів зміцнення, необхідно знати кут вступу ґрунту на лапу, коли ці елементи відсутні.

На рис. 2 приведена залежність відношення абсолютних швидкостей руху при наявності і відсутності елементів зміцнення у функції кута встановлення елементів зміцнення

$$\frac{V_{абс2}}{V_{абс}} = f(\varepsilon). \quad (28)$$

Як видно з графіків із збільшенням кута встановлення елементів зміцнення величина цього відношення знижується, що в свою чергу свідчить про зниження інтенсивності спрацювання.

Таким чином, для зниження спрацювання культиваторної лапи необхідно визначити кут вступу ґрунту на поверхню лапи і провести польові випробування при наявності елементів зміцнення.

Висновки

1. Оптимальність конструкції стрілкової лапи значною мірою залежить від параметрів руху потоку ґрунту по її поверхні. Дослідженнями встановлено, що на параметри кришення ґрунту і зносу лапи найбільший вплив має кут вступу ґрунту на її поверхню. Встановлення елементів зміцнення змінює швидкість потоку шляхом зміни напрямку і абсолютної величини відбитого потоку.

2. Запропонована математична модель взаємодії модернізованої стрілкової лапи з оброблюваним середовищем дозволяє:

- розробити геометричну модель поверхні культиваторної лапи, що розгортається;
- обґрунтувати кут встановлення крил лап, що відповідає вимогам розпушення ґрунту і безперервності потоку руху ґрунту;
- розробити методику проектування поверхні культиваторної лапи, що включає формування прямої кривої, побудову каркасу поверхні, визначення горизонтальних, фронтальних, профільних перерізів і побудову розгортки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аронов Э.Л. Повышение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин / Аронов Э.Л. – М.: ЦНИИТЭХТ, 1970.
2. Виноградов В.Н. Абразивное изнашивание / Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Колокольников М.Г. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
3. Войтюк В.Д. Технічний сервіс швидкозношувальних деталей бурякозбиральних та ґрунтообробних машин / В.Д. Войтюк, М.І. Денисенко // Праці таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА, 2006. – Вип. 39. – С. 183-186.
4. Нуриев К.К. Исследование износа лемехов двухъярусного плуга / К.К. Нуриев, А.В. Юсуфалиев // Механизация и электрификация. – 2004. – № 7. – С. 28-29.
5. Подкатилов К.Е. Динамические исследования рабочих органов культиваторов повышенной прочности и износостойкости с нижним и верхним упрочнением твердыми сплавами : Автореф. дис....канд. техн. наук / К.Е. Подкатилов. – Ростов-на-Дону, 1969. – 28 с.
6. Сизов О.А. Исследование процессов взаимодействия лезвия сельскохозяйственных ножей с разрезаемым материалом : Дис.... канд. техн. наук / О.А. Сизов. – М.: МИИСП, 1971. – 121 с.
7. Ермолов Л.С. Исследования изнашивания режущих органов почвообрабатывающих машин на различных почвах : Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Л.С. Ермолов. – Харьков, 1960. – 20 с.
8. Крачевский И.В. Трение и износ / Крачевский И.В. – М.: Машгиз, 1962.
9. Огрызков Е.П. О влиянии абсолютной влажности почвы на износ лемехов / Е.П. Огрызков // Сельхозмашина. – 1955. – № 6. – С. 15-17.
10. Ермолов Л.С. Про визначення вагового спрацювання лемешів / Л.С. Ермолов // Механізація сільського господарства. – 1959. – № 12. – С. 29.
11. Износ деталей сельскохозяйственных машин / Севернев М.М., Каплун Г.П., Короткевич В.А. [и др.]. – М.: Колос, 1972. – 288 с.
12. Короткевич В.А. О влиянии скорости движения на износ лемехов и отвалов тракторного плуга / В.А. Короткевич // Доклады ВАСХНИЛ. – 1965. – № 6. – С. 55-57.
13. Панченко А.Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями / Панченко А.Н. – Днепропетровск: РИО Днепропетр. гос. аграр. ун-та, 1999. – 140 с.

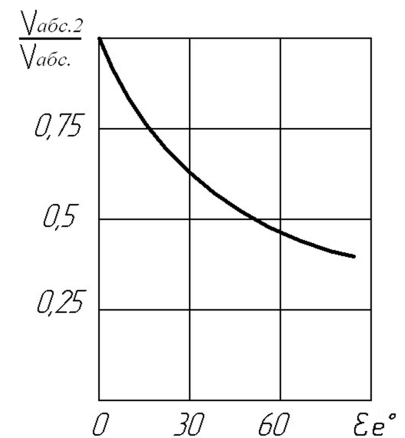


Рис. 2 – Графік залежності відношення абсолютних швидкостей у функції кута встановлення елементів зміцнення