

Козаченко О.В.,
Шкрегаль О.М.,
Каденко В.С.

Харківський національний технічний
університет сільського господарства
ім. П. Василенка,
м. Харків, Україна
E-mail: kozachenko1@rambler.ru

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
ВЗАЄМОДІЇ ЛЕЗА З ГРУНТОВИМ
СЕРЕДОВИЩЕМ

УДК 631.316

Розглянуто теоретичний аспект взаємодії леза лапи культиватора з ґрунтовим середовищем, обґрунтовано доцільність врахування динамічного напору ґрунту на лезо при визначенні кута розхилу стрілкової лапи культиватора

Ключові слова: динамічний напір ґрунту, лапа культиватора, кут розхилу, тяговий опір, форма леза

Вступ.

Актуальною задачею при створенні нових робочих органів сільськогосподарської техніки є обґрунтування параметрів на основі моделювання процесів їх взаємодії із ґрунтовим середовищем, що забезпечує виконання технологічного процесу у відповідності до встановлених вимог до якості та енергоємності. На культиваторах для суцільного обробітку ґрунту вітчизняного і зарубіжного виробництва, незважаючи на велику кількість різноманітних конструкцій робочих органів, використовують, в основному, стрілкові лапи з прямолінійною формою леза. Одним з основних параметрів, який суттєво впливає на якість та енергоємність обробітку ґрунту, є кут розхилу крил стрілкових лап γ , визначення якого потребує більш детального розгляду. Тому, підвищення якості виконання технологічного процесу культивації та зменшення енергетичних витрат за рахунок обґрунтування параметрів робочих органів є досить актуальним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Питанню теоретичного обґрунтування параметрів робочих органів культиваторів присвячена значна кількість наукових праць [1-6]. Їх аналіз вказує на те, що у відомих залежностях, які використовують для визначення кута розхилу лап не враховується в повній мірі динамічний напір ґрунту, що впливає на визначення реального кута розхилу і, як наслідок, на якість та енергоємність обробітку ґрунту.

Так в [2] із залежності для визначення кута розхилу лап встановлено, що основним її недоліком є неможливість використання для точних розрахунків цього показника. Якщо прийняти для розрахунків значення кута тертя φ , що рекомендовано в довідковій літературі, то розрахунки значення кута розхилу культиваторних лап не відповідають параметрам культиваторних лап, які випускає промисловість. Тим більше це стосується визначення та обґрунтування раціональних значень кута розхилу лап культиваторів-плоскорізів. В [3] при використанні запропонованої формули значення кута тертя необхідно приймати в залежності від величини коефіцієнту тертя ґрунту по сталі від питомого тиску. Тобто, з цих розрахунків знайти значення питомого нормального тиску на крилі, досить складно і фактично ця залежність не дозволяє визначати основні параметри лапи,

що ускладнює її практичне використання при створенні ефективних робочих органів культиваторів.

В роботі [4] отримано залежність, що визначає нижнє граничне значення кута розхилу лапи. При цьому необхідно визначати значення $\varphi_{\text{ю}}$ безпосередньо до реальних умов роботи культиватора, що надто проблематично реалізувати в прикладному плані.

В роботі [5] отримано спрощену залежність, яка враховує сили динамічного напору ґрунту, але не дозволяє визначати дійсні значення кута розхилу. Для усунення зони застою запропоновано виконання леза криволінійним у вигляді логарифмічної спіралі, що підсилює динамічний тиск потоку ґрунту пропорційно переміщенню уздовж леза і сприяє очищенню лапи від бур'янів [5]. Подальший розвиток зазначеного підходу до вибору раціональних параметрів кута розхилу стрілочастих лап розглянуто в [6].

Невирішена частина проблеми. Виходячи з аналізу відомих наукових робіт, що стосуються теоретичних обґрунтувань основних параметрів культиваторних лап є доцільним визначення раціональних значень кута розхилу стрілочастих культиваторних лап з урахуванням динамічного напору при проектуванні нових робочих органів культиваторів.

Мета – дослідження впливу динамічного напору ґрунту при обґрунтуванні раціональних значень кута розхилу стрілочастих культиваторних лап.

Результати досліджень.

Виходячи з того, що стрілочаста лапа має повздовжню вісь симетрії, будемо розглядати одне її крило. Вважаємо, що рух лапи культиватора є рівномірним і прямолінійним (рис. 1).

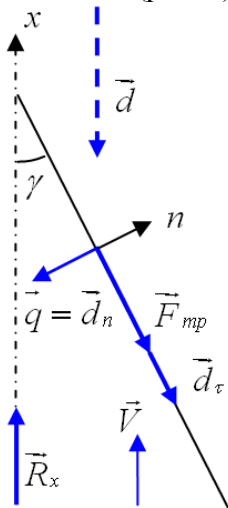


Рис. 1. Схема сил, що виникають на лезі при роботі культиваторної лапи

Проекція сил на вісь $\hat{l} \hat{\delta}$ має вигляд:

$$dR_x = 2(d_n \sin \gamma + (F_{mp} + d_\tau) \cos \gamma) dl, \quad (1)$$

де dR_x - елементарна питома сила опору, Н/м;

F_{mp} - питома сила тертя, Н/м;

d_n, d_τ - відповідно нормальна і тангенціальна сила динамічного напору Н/м;

γ - кут розхилу лапи, град;

dl - елементарна ділянка леза лапи,

$$dl = dx / \cos \gamma.$$

Питома сила тертя визначається виразом:

$$F_{mp} = f \cdot d_n, \quad (2)$$

де f - коефіцієнт тертя леза лапи з ґрунтом.

На основі експериментальних досліджень щодо визначення розподілу питомого тиску на лезо стрілочасті лапи [7], отримаємо:

$$q = d_n = a_1 + a_2 \cdot \sin \gamma = const, \quad (3)$$

де a_1, a_2 – постійні величини, які визначаються фізико-механічними властивостями ґрунту. Для чорноземів середньо-механічного складу вони, відповідно, дорівнюють 41 і 125 $\frac{H}{M}$ [7].

Знаючи нормальну складову питомої сили динамічного напору $q = d_n$ визначаємо відповідно d і d_τ :

$$d = \frac{q}{\sin \gamma}; \quad d_\tau = d \cdot \cos \gamma = q \cdot \operatorname{ctg} \gamma. \quad (4)$$

На основі (1) – (4) отримаємо вираз для питомої сили опору з урахуванням повного динамічного напору:

$$R_x^d(\gamma) = 2 \cdot (a_1 + a_2 \cdot \sin \gamma) \cdot \left(\frac{2}{\sin 2\gamma} + f \right). \quad (5)$$

Аналогічно отримаємо вираз для питомої сили опору з урахуванням часткового ($q = d_n$) динамічного напору:

$$R_x^q(\gamma) = (a_1 + a_2 \cdot \sin \gamma) \cdot (\operatorname{tg} \gamma + f). \quad (6)$$

Аналіз першої похідної від функції (6)

$$\frac{dR_x^q(\gamma)}{d\gamma} = \frac{a_1}{\cos^2 \gamma} + a_2 \cdot \left(\sin \gamma \left(1 + \frac{1}{\cos^2 \gamma} \right) + f \cdot \cos \gamma \right) > 0$$

вказує на відсутність екстремума питомого тягового опору в досліджуваному діапазоні $\gamma \in (0, \pi/2)$.

Аналіз другої похідної від функції (5)

$$\frac{dR_x^d(\gamma)}{d\gamma^2} = \frac{8}{\sin^3 2\gamma} \cdot (a_1 \cdot (2 - \sin^2 2\gamma) + a_2 \cdot \sin^3 \gamma \cdot (1 + \sin^2 \gamma - \frac{f}{2} \cdot \sin 2\gamma \cdot \cos^2 \gamma)) > 0$$

констатує екстремум – мінімум.

Графічні залежності (5) і (6) питомого тягового опору від кута розхилу лапи при коефіцієнті тертя $f = 0,5$ представлені на рис.2.

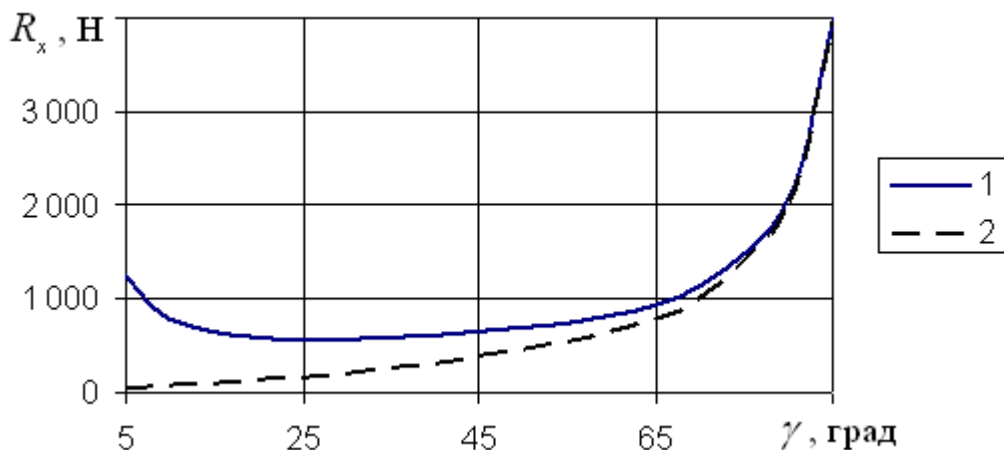


Рис.2. Залежності питомого тягового опору від кута розхилу стрілкової лапи: 1 – $R_x^d(\gamma)$; 2 – $R_x^q(\gamma)$

З рис. 2 видно, що графічні залежності підтверджують отримані висновки щодо знаходження екстремуму.

Прирівнюючи до нуля першу похідну функції (5) та вирішуючи отримане рівняння числовими методами, отримуємо значення оптимальних кутів розхилу лапи в залежності від коефіцієнта тертя (рис. 3).

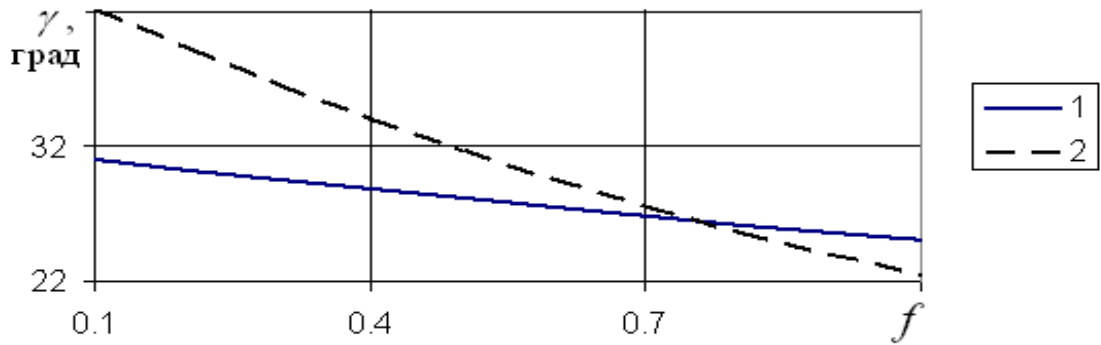


Рис. 3. Залежності кутів розхилу стрілкової лапи від коефіцієнта тертя: 1 – $R_x^d(\gamma)$; 2 – згідно [2].

По знайденим оптимальним кутам, на основі залежностей (5) і (6), знаходимо значення питомого тягового опору (рис.4) та (рис.5).

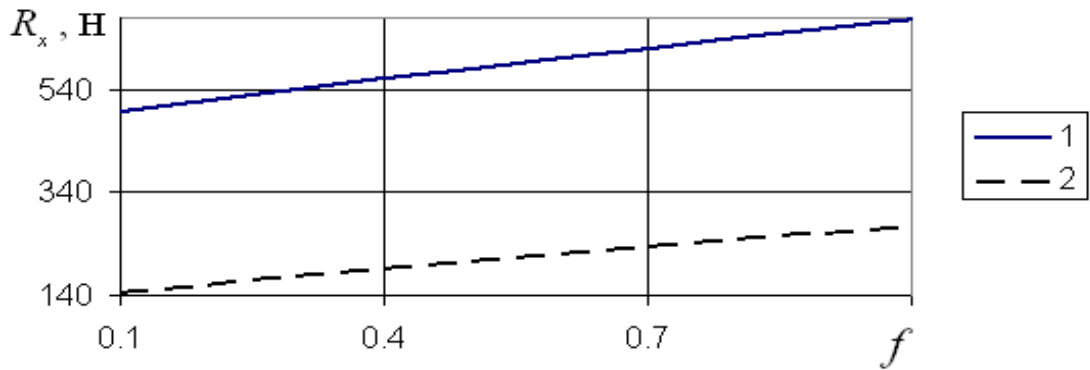


Рис.4. Залежності питомого тягового опору від коефіцієнта тертя f : 1 – $R_x^d(\gamma)$ (з врахуванням повного динамічного напору); 2 – $R_x^q(\gamma)$ (з врахуванням часткового динамічного напору).

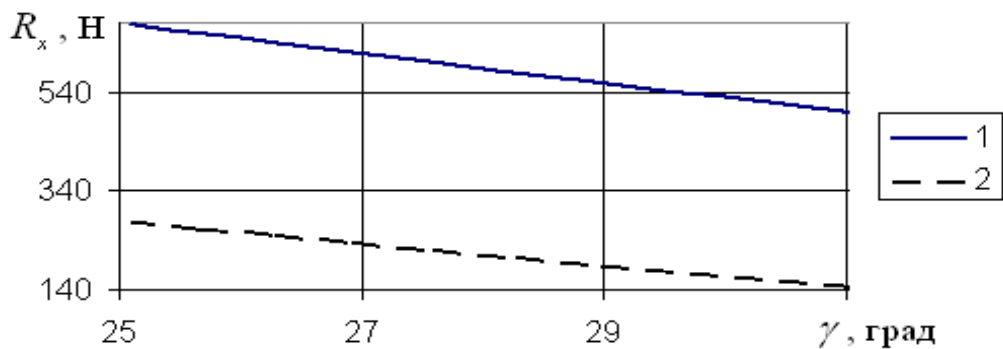


Рис. 5. Залежності питомого тягового опору від кута розхилу стрілкової лапи γ : 1 – $R_x^d(\gamma)$ (з врахуванням повного динамічного напору); 2 – $R_x^q(\gamma)$ (з врахуванням часткового динамічного напору).

Аналіз отриманих залежностей показує, що не врахування динамічного напору не дозволяє вирішувати задачу визначення раціонального кута розхилу стрілкової лапи та призводить, в окремих випадках, до значної похибки визначення тягового опору робочих органів культиваторів.

Висновок.

При визначенні раціональних значень кута розхилу стрілкової лапи необхідно враховувати повний динамічний напір, що дозволяє з більшою вірогідністю визначити тяговий опір робочих органів культиваторів.

Література

1. *Заїка П.М.* Теорія сільськогосподарських машин [Текст] / *П.М. Заїка.* – Харків: Око, 2001. – Т. 1, Ч. 1. – 444 с.
2. *Синеоков Г.Н.* Теория и расчет почвообрабатывающих машин [Текст] / *Г.Н.Синеоков, И.М. Панов.* – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.
3. *Цымбал А.Г.* Исследование некоторых физико-механических свойств предкавказского чернозема, как основы для расчета параметров почвообрабатывающих рабочих органов: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11 / *Цымбал А.Г.* – Волгоград, 1967. – 25 с.
4. *Кравченко Б.И.* К обоснованию угла раствора лезвий культиваторных лап [Текст] / *Б.И. Кравченко* // Тракторы и сельскохозяйственные машины. –1968.– №2. – С. 22-23.
5. *Гаврильченко О.С.* Обґрунтування параметрів та розробка конструкції культиваторних лап з криволінійним лезом: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11 / *Гаврильченко Олександр Степанович.* – Глеваха, 2005. – 20 с.
6. *Шкрегаль О.М.* Обґрунтування параметрів процесу і енергозберігаючих робочих органів культиваторів: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11 / *Шкрегаль Олександр Миколайович.* – Харків, 2011. – 20 с.
7. *Д'яконов С.О.* Обґрунтування параметрів технологічного процесу і робочих органів сівалки прямого сіву: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11 / *Д'яконов С.О.*– Х., 2007.– 20 с.

Kozachenko O.V, Shkrega O.M, Kadenko V.S. Mathematical simulation of interaction blades soil environment

The theoretical aspects of the interaction of the blade tines with the soil environment, the expediency of taking into account the dynamic pressure of the soil on the blade in the determination of the opening angle of the working body of the cultivator.

Keywords: dynamic pressure of the soil cultivator paw, apex angle, traction resistance, form the blade

References

1. Zayika P.M. Teoriya silskogospodarskih mashin [Tekst] / P.M. Zayika. – Harkiv: Oko, 2001. – T. 1, T. 1. – 444 s.
2. Sineokov G.N. Teoriya i raschet pochvoobrabatyivayuschih mashin [Tekst] / G.N.Sineokov, I.M. Panov. – M.: Mashinostroenie, 1977. – 328 s.
3. Tsyimbal A.G. Issledovanie nekotoryih fiziko-mehanicheskikh svoystv predkavkazskogo chernozema, kak osnovyi dlya rascheta parametrov pochvoobrabatyivayuschih rabochih organov: avtoref. dis. kand. tehn. nauk: 05.05.11 / Tsyimbal A.G. – Volgograd, 1967. – 25 s.
4. Kravchenko B.I. K obosnovaniyu ugla rastvora lezviy kultivatornyih lap [Tekst] / B.I. Kravchenko // Traktoryi i selskohozyaystvennyie mashiny. –1968.– #2. – S. 22-23.
5. Gavrilchenko O.S. Obgruntuvannya parametriv ta rozrobka konstruktsiyi kultivatornih lap z krivoliniynim lezom: avtoref. dis. kand. tehn. nauk: 05.05.11 / Gavrilchenko Oleksandr Stepanovich. – Glevaha, 2005. – 20 s.
6. Shkregal O.M. Obgruntuvannya parametriv protsesu i energozberigayuchih robochih organiv kultivatoriv: avtoref. dis. kand. tehn. nauk: 05.05.11 / Shkregal Oleksandr Mikolayovich. – Harkiv, 2011. – 20 s.
7. D'yakonov S.O. Obgruntuvannya parametriv tehnologichnogo protsesu i robochih organiv sivalki pryamogo sivu: avtoref. dis. kand. tehn. nauk: 05.05.11 / D'yakonov S.O.– H., 2007.– 20 s.