

DOI:

УДК 631.3.02.001

С.С. Тищенко, д.т.н., професор кафедри вищої математики, voloskrs@i.ua
Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ҐРУНТУ ПО ПОВЕРХНІ ДОЛОТА

Складено диференціальне рівняння руху ґрунту по долоту, яке має циліндричну поверхню. Дослідження вказують, що при невеликих радіусах кривини долото працює у режимі розпушування і переміщення ґрунту. Зі зростанням кривини переміщення ґрунту знижується і долото працює тільки у режимі розпушування.

Ключові слова: ґрунт; поверхня; долото; обробка ґрунту.

The differential equation of soil motion along the bit, which has a cylindrical surface, is made. Studies indicate that at small radii of curvature, the bit works in the mode of loosening and moving the soil. As the curvature increases, the movement of the soil decreases and the bit works only in the mode of loosening.

Keywords: soil; surface; chisel; tillage.

Постанова проблеми

Долото як ґрунтообробний робочий орган, застосовується для розпушування ґрунту і збереження дернини та рослинних рештків на поверхні поля.

Розташовуючись за робочим органом, воно відводить на свою поверхню частину потоку ґрунту, впливаючи тим самим на процес обробки ґрунту.

Долото як правило має криволінійну поверхню, яка універсальна, однак в даний час немає достатньо повних досліджень руху ґрунту по криволінійному долоту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Найбільш простий криволінійною поверхнею є циліндрична поверхня з постійним радіусом кривизни. Рух по такій поверхні в кожен момент часу можна розкласти на поступальний і обертальний. Так, в роботі [5] розглянуто методику визначення узагальненого коефіцієнта тертя. В роботі [1, 3] розглянуто рух ґрунту по культиваторній стійці, а в [6] по поверхні снігоочисника. Окрім цього робочі органи типу «долото» застосовуються при окремих технологічних операціях [4], наприклад, вапнуванні ґрунту.

Найбільш близькою є робота [2] в якій розглянуто рух частинки під дією сили тяжіння по криволінійній поверхні.

Однак всі ці роботи не дають повної зв'язку між рухом і параметрами поверхні.

Формулювання мети досліджень

У статті розглянуто рух структурного агрегату ґрунту по поверхні долота в залежності від параметрів поверхні і швидкості руху знаряддя.

Виклад основного матеріалу

В якості поверхні робочого органу приймаємо модель, в якій твірна інцидентна до однієї напрямної кривої. При цьому напрямна крива розташована у вертикальній площині, а твірна — розташована горизонтально. В якій напрямної кривої приймемо дугу кола. Основними параметрами напрямної в цьому випадку будуть:

- радіус дуги кола;
- кут нахилу дотичної до горизонту в початковій точці.

Рівняння напрямної кривої в полярній системі має вигляд

$$r(\varphi) = R,$$

де R — початковий радіус вектор, м.

А в Декартовій системі:

$$x = R \cdot \sin(\alpha + \alpha_0),$$

$$z = R \cdot \cos(\alpha + \alpha_0),$$

де α_0 — початковий кут повороту радіус-вектора (рис. 1), який дорівнює куту установки лапи до горизонту $\alpha_0 = \alpha_p$, град.

Координати полярного центру будуть визначатися таким чином:

$$x_{OR} = R \cdot \sin \alpha_0,$$

$$z_{OR} = R \cdot \cos \alpha_0,$$

З метою обґрунтування параметрів напрямної кривої розглянемо рух грудки ґрунту по напрямній кривій згідно зі схемою на рис. 1. Для визначення швидкості руху ґрунтової частинки по напрямній, залежно від кута повороту радіус-вектора, запишемо диференціальне рівняння рівноваги частинки ґрунту:

$$m \frac{dV_R}{dt} = -f_1 \cdot Q - f_1 \cdot P \cdot \cos \alpha - P \cdot \sin \alpha,$$

де m — маса частинки ґрунту, кг; V_R — швидкість руху частинки по напрямній, м/с; t — час руху частинки по напрямній, с; f_1 — коефіцієнт тертя ґрунту поверхні робочого органу, відносні од.; Q — відцентрова сила інерції, діюча на частинку, Н; P — вага частинки ґрунту, Н; α — кут нахилу дотичної до напрямної до горизонту, град.

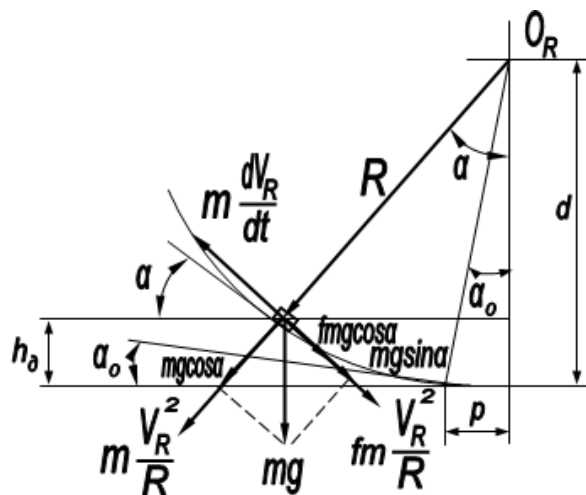


Рис. 1. Схема руху частинки ґрунту по напрямній кривій поверхні долота

Позначивши силу ваги і силу інерції наступним чином:

$$P = m \cdot g; \quad Q = m \frac{V_R^2}{R},$$

де g — прискорення сили тяжіння, м/с²; R — радіус напрямної кривої, м.

Запишемо рівняння рівноваги частинки ґрунту при руху по напрямній кривій в наступному вигляді:

$$m \frac{dV_R}{dt} = -f_1 m \frac{V_R^2}{R} - f_1 mg \cos \alpha - mg \sin \alpha. \quad (1)$$

Відомо, що при русі по колу виконуються наступні співвідношення:

$$ds = R d\alpha = V_R dt,$$

$$dt = \frac{R d\alpha}{V_R}, \quad (2)$$

де ds — довжина дуги кола, м.

Підставивши (1) і (2) та скоротивши на масу, прийдемо до наступного диференціального рівняння руху частинки ґрунту

$$\frac{dV_R}{d\alpha} = -f_1 \cdot V_R - \frac{R \cdot g}{V_R} (f_1 \cdot \cos \alpha + \sin \alpha).$$

Інтегрування отриманого рівняння дає нам наступний вираз

$$V_R^2 = \left(-\frac{2R \cdot g \cdot \exp(2f_1 \cdot \alpha)}{4f_1^2 + 1} [(2f_1^2 - 1) \cos \alpha + 3f_1 \cdot \sin \alpha] + C \right) \exp(-2f_1 \cdot \alpha).$$

Постійну інтегрування знаходимо з початкових умов в момент часу $t = 0$, коли швидкість руху частинки ґрунту по напрямній поверхні лапи дорівнює швидкості руху культиватора V , а початковий кут нахилу дотичної до напрямної дорівнює α_0 . У цьому випадку постійна інтегрування дорівнює

$$C = V_0^2 \exp(2f_1 \alpha_0) + \frac{2Rg \exp(2f_1 \alpha_0)}{4f_1^2 + 1} [(2f_1^2 - 1) \cos \alpha_0 + 3f_1 \sin \alpha_0].$$

Підставляючи знайдене значення постійної інтегрування, отримаємо наступний вираз для швидкості руху частинки ґрунту по напрямній кривій поверхні лапи у функції кута підйому:

$$V_R^2 = -\frac{2R \cdot g}{4f_1^2 + 1} [(2f_1^2 - 1) \cos \alpha + 3f_1 \sin \alpha] + V_0^2 \exp[2f_1 (\alpha_0 - \alpha)] + \\ + \frac{2R \cdot g}{4f_1^2 + 1} [(2f_1^2 - 1) \cos \alpha_0 + 3f_1 \sin \alpha_0] \exp[2f_1 (\alpha_0 - \alpha)].$$

На рис. 2 наведені графіки зміни швидкості руху ґрунту по напрямній кривій поверхні культиваторної лапи і кута підйому ґрунту при початковому куті нахилу дотичній $\alpha_0 = 10^\circ$ і $\alpha_0 = 20^\circ$ при середньому коефіцієнті тертя $f_1 = 0,58$.

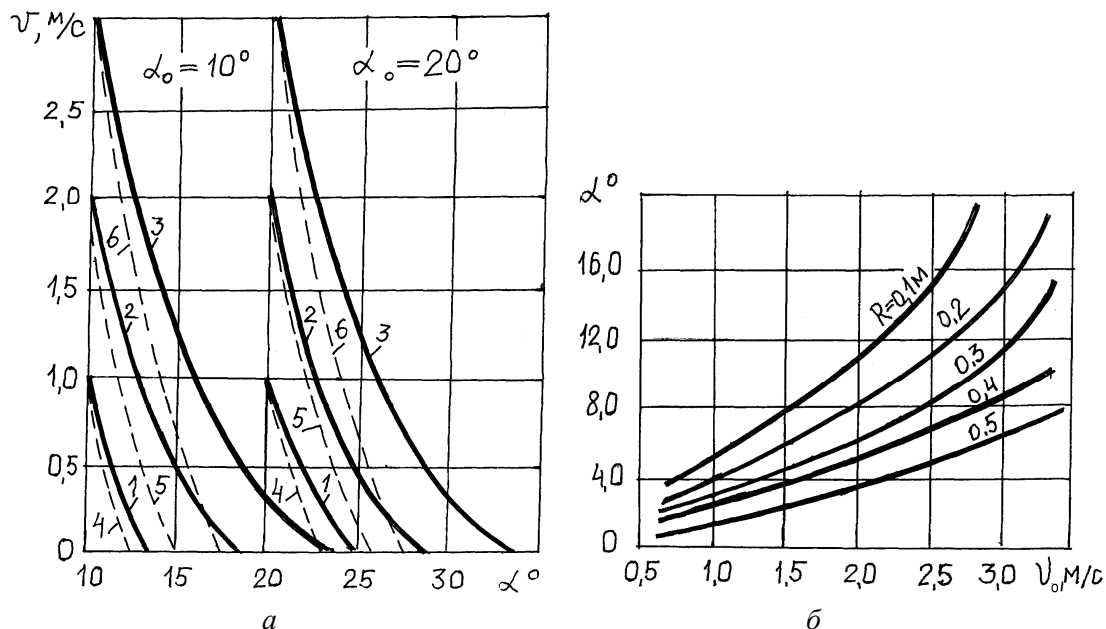


Рис. 2. Характеристики руху частинки ґрунту по долоту, виконаного по дузі кола: a — залежність швидкості руху; b — залежність кута підйому від швидкості руху:

1 — $V_0 = 1$ м/с; $R = 0,2$ м;

2 — $V_0 = 2$ м/с; $R = 0,2$ м;

3 — $V_0 = 3$ м/с; $R = 0,2$ м;

4 — $V_0 = 1$ м/с; $R = 0,5$ м;

5 — $V_0 = 2$ м/с; $R = 0,5$ м;

6 — $V_0 = 3$ м/с; $R = 0,5$ м;

Як видно з графіків, при радіусі дуги $R = 0,1$ м функція $\alpha(V_0)$ різко йде вгору. Із збільшенням радіуса дуги кривина залежності $\alpha(V_0)$ падає, а для радіусу дуги $R = 0,5$ м практично наближається до прямої лінії. Така поведінка функції пояснюється тим, що, починаючи з початкової швидкості $V_0 = 2$ м/с, яка є швидкістю руху знаряддя, починає проявлятися сила інерції, яка долає силу тяжіння пласта. Особливо це помітно при $R = 0,1$ м. З ростом радіуса дуги сила інерції зменшується, отже, зменшується і кут підйому ґрунту. При радіусі дуги $R = 0,5$ м і більше дія сили інерції практично не помітна.

Висновки

1. Встановлено, що при радіусі кривини долота $R \geq 0,5$ м і при робочій швидкості руху $V_0 \leq 2$ м/с забезпечується розпушування ґрунту.
2. При збільшенні радіусу кривини долота вище 0,5 м, або підвищенню робочої швидкості вище 2 м/с окрім розпушування ґрунту забезпечується загортання рослинних решток ґрунтом.

Список використаної літератури

1. Бурченко П.Н. Механико-технологические основы почвообрабатывающих машин нового поколения. М.: ГНУ ВИМ. 2002. 211 с.
2. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. К.: Из-во УАСХН. 1960. 283 с.
3. Свечников П.Г. Оптимальный профиль лапы культиватора плоскореза. *Тракторы и сельхозмашины*. 2012. № 1. С. 40–41.
4. Свечников П.Г., Стрижов В.А., Мухаматнуров М.М. Совершенствование технологи известкования путем тщательного перемешивания извести с почвой *Техника и оборудование для села*. 2012. №1. С. 22–24.
5. Шайков М.К. Коэффициент трения сыпучих материалов по цилиндрической поверхности *Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства*. 1974. № 4. С. 53–54.
6. Шалман Д.А. Снегоочистители. Л.: Машиностроение. 1973. 215 с.

SIMULATION OF SOIL MOVEMENT ON CHAIN SLAVES

Tishchenko S.

Abstract

The article is devoted to the topical problem of shelfless tillage in which there is no plowing with a shelf plow. Thus tillage is carried out by various working bodies which are fixed on racks.

The shape of the rack on which the selfless working bodies intended for shelfless tillage are fixed is of great importance. Since it is a continuation of the working body, the quality of work depends a lot on its shape. The quality of work of shelfless tillage includes loosening the soil and earning crop residues.

The article considers modelling of the movement of soil chips on the cylindrical surface of the rack. The forces acting on a piece of soil when moving on a cylindrical surface are considered. The model of motion of soil chips in the form of the differential equation of motion of a part of soil is deduced. As a result of modelling, the dependences of the speed of soil chips and the angle of rise on the rack depending on the speed of the rack and its radius were constructed.

Modeling of soil movement on the rack of the working body established:

1. It is established that at a radius of curvature of a bit of 0,5 m and at working speed of movement of 2 m / s loosening of soil is provided.

2. When the radius of curvature of the bit is increased above 0.5 m, or the working speed is increased above 2 m / s, in addition to loosening the soil, the plant remains are wrapped in soil. The established fact can be applied in the design of tillage implements, such as chisels, cultivators and tillage machines.

The established fact can be applied in the design of tillage implements, such as chisels, cultivators and tillage machines.

References

- [1] Burchenko P.N. (2002) *Mehaniko-tehnologicheskie osnovy pochvoobrabatyivayuschih mashin novogo pokoleniya* [Mechanical and technological fundamentals of new generation soil cultivation machines]. Moscow; [in Russian].
- [2] Vasilenko P.M. (1960) *Teoriya dvizheniya chastitsyi po sferohovatyim poverhnostyam sel'skohozyaystvennyih mashin* [The theory of particle motion on the rough surfaces of agricultural machines] Kiev, [in Ukraine].
- [3] Svechnikov P. G. (2012) Optimalnyiy profil lapyi kultivatora ploskoreza [Optimum paw profile of the flat cutter cultivator] *Traktory i sel'hozmashiny - Tractors and agricultural machinery, 1, 40-41* (in Russian).
- [4] Svechnikov P. G., Strizhov V. A., Muhamatnurov M. M. (2012) Sovershenstvovanie tehnologi izvestkovaniya putem tschatelnogo peremeshivaniya izvesti s pochvoy [Improvement of liming technology by thorough mixing of lime with soil] *Tehnika i oborudovanie dlya sela - Rural machinery and equipment, 1, 22-24.* (in Russian).
- [5] Shaykov M.K. (1974) Koeffitsient treniya syipuchih materialov po tsilindricheskoy poverhnosti [Coefficient of friction of bulk materials on a cylindrical surface] *Mehanizatsiya i elektrifikatsiya sotsialisticheskogo sel'skogo hozyaystva-Mechanization and electrification of socialist agriculture, 4, 53-54* (in Russian).
- [6] Shalman D.A. (1973) *Snegoochistiteli* [Snow blowers] Leningrad. (in Russian).