

DOI: 10.31319/2519-8106.1(46)2022.258410

УДК 631.17.001

С.С. Тищенко, д.т.н., професор кафедри вищої математики, voloskrs@i.ua

КЗО «Академічний багатoproфільний ліцей № 120» ДМР, м. Дніпро

ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ҐРУНТУ ПО ПОВЕРХНІ РОБОЧОГО ОРГАНУ

Робочі органи, які працюють у щільному середовищі мають високий тяговий опір однією складовою його є переміщення ґрунту по поверхні робочого органу. Ця складова тягового опору є дуже великою, тому дослідження такої величини є дуже важливим. У статті розглядається дослідження руху ґрунту по поверхні робочого органу за допомогою сферичних індикатрис дотичних. Встановлено, що по розгортним поверхням ґрунт рухається впорядковано, що знижує тяговий опір.

Ключові слова: щільне середовище, ґрунт, робочі органи, тяговий опір.

Working bodies that work in a dense environment have a high traction resistance, one of its components is the movement of soil on the surface of the working body. This component of traction resistance is very large, so the study of this value is very important. The article considers the study of soil movement on the surface of the working body with the help of spherical tangent indicators. It is established that the soil moves in an orderly manner along the deployed surfaces, which reduces the traction resistance word.

Key words: dwelling environment, soil, working bodies, traction resistance.

Постановка проблеми

Дуже багато машин і механізмів мають робочі органи, які працюють у щільному середовищі. Найбільш розповсюдженим середовищем є ґрунт. Всі ґрунтообробні робочі органи як то плуги, плоскорізи, культиватори мають робочі органи, які працюють у щільному середовищі тобто у ґрунті. Багато будівельних машин, а саме скрепери, екскаватори усіх типів та призначень, та інші машини, мають робочі органи, які працюють у ґрунті. До цих машин можна віднести канавокопачі, меліоративні машини, робочі органи яких теж працюють у щільному середовищі тобто ґрунті. Це викликає велику увагу до проектування поверхонь робочих органів [1, 2, 3]. В наш час розроблені узагальнені геометричні моделі поверхонь робочих органів [4, 8], але вони потребують досліджень стосовно обтіканню середовищем робочого органу.

Процес взаємодії робочого органу з ґрунтом складається з двох фаз: руйнування ґрунту та його переміщення по поверхні. Фаза руйнування ґрунту розглянута в літературі досить детально, а рух ґрунту по поверхні робочого органу потребує додаткового вивчення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

При роботі сільськогосподарських плугів на переміщення ґрунту по поверхні робочого органу витрачається близько 25 % енергії [7], яка витрачається на обробіток ґрунту. Теж саме можна сказати про ковші екскаваторів, полиць бульдозерів. Тому вивчення закономірностей руху ґрунту по поверхні ґрунтообробного робочого органу дозволить помітити шляхи зниження енергоємності обробітку ґрунту.

Після руйнування, під дією лемеша, ґрунт починає рух по поверхні робочого органу, залишаючись з нею в контакті до тих пір, доки не зійде з неї у борозну. Залишаючись у контакті з поверхнею ґрунт опише деякі траєкторії L_t , які є єдиними свідками взаємодії робочого органу з ґрунтом і тому несуть всю інформацію про кінематичні та динамічні властивості поверхні, тобто про сили та витрати енергії, що витрачаються на переміщення ґрунту.

Одним із методів побудови траєкторій є метод рисок, які залишає ґрунт, що рухається по поверхні робочого органу [9]. Використовуючи риси як дотичні можна побудувати траєкторію руху, задавши початкову точку на лемеші. В результаті побудови будемо мати сукупність траєкторій, які будуть накривати поверхню. Після чого ці траєкторії можна аналізувати щоб визначити кінематичні та динамічні характеристики руху скиби ґрунту по поверхні робочого органу.

Формулювання мети дослідження

Метою досліджень є запровадження сферичних індикатрис дотичних до траєкторій для вивчення кінематичних характеристик руху по поверхні робочого органу.

Виклад основного матеріалу

Дослідження кінематичних та динамічних характеристик руху ґрунту проводились на гвинтових полицях плужних корпусів КВС-40А (рис. 1, а) по типу корпусу «Оверум Брук», ККВ.01.000-01 (рис. 1, б) по типу корпусу «Квернеланд» причому всі ці полиці мали розгортну поверхню, яка розгорталась на площину без складок та розривів. Одночасно з цими полицями у дослідженнях приймали участь полиці гвинтового типу ККВ.01.000 (рис. 1, в), який мають нерозгортну поверхню. Загальний вид плужних корпусів представлено на рис. 2.

Розгортні поверхні виділяються від інших лінійчатих поверхонь такими диференціально-геометричними властивостями:

– гаусова кривина поверхні дорівнює нулю;

– дотична площина дотикається всієї поверхні і не змінює свого положення при переміщенні точки дотику вздовж твірної.

Гаусова кривина [2, 3, 4] є основною характеристикою поверхні у точці і обчислюється формулі

$$K = k_1 \cdot k_2,$$

де k_1 і k_2 — головні кривини поверхні по двом взаємно-перпендикулярним напрямкам. Так як у розгортній поверхні один з головних напрямків співпадає з твірною [5, 8], то гаусова кривина буде дорівнювати нулю

$$K = \frac{1}{r_1} \cdot \frac{1}{\infty} = 0.$$

Тому що радіус кривини прямолінійної твірної дорівнює нулю $r_2 = \infty$.

Внаслідок цієї властивості скиба ґрунту на торсовій поверхні буде випробувати деформацію простого згину. З відхиленням поверхні від торсової у скибі ґрунту будуть з'являтися пластичні деформації, які визвано стиском та розтягуванням скиби ґрунту, причому вони будуть тим більші, чим більш поверхня буде відхиляться від розгортної.

Дослідження проводились при умовах: ґрунт — важко суглинистий, чорнозем, рельєф поля — вирівняний. Середня вологість ґрунту у шарах 0—25 см склала 18,4 %, а твердість відповідно 1,69 МПа. Дослідження проводились на швидкостях $V_0 = 1,37$ м/с і $V_0 = 3,06$ м/с.

Для вивчення кінематичних та динамічних характеристик руху ґрунту знімались три траєкторії. Потім координатним методом ці траєкторії переносились на проєкції робочої поверхні. В результаті мали горизонтальні та провздожньо-вертикальні проєкції руху ґрунту.

Дослідження руху ґрунту по поверхням проводилось за допомогою сферичних індикатрис дотичних.

При руху по поверхні полиці кожна точка скиби буде рухатись по просторовій кривій, яку можна в загальному випадку представити таким чином

$$L: \vec{r} = \vec{r}(t), \quad (1)$$

де \vec{r} — поточний радіус-вектор; t — час.

Продиференціювавши (1) по часу отримаємо такий вираз:

$$\vec{v} = \frac{ds}{dt} \vec{\tau}, \quad (2)$$

де $\frac{ds}{dt}$ — швидкість руху точки по дузі траєкторії; $\vec{\tau}$ — одиничний вектор, дотичний до траєкторії L у точці A .

Формула (2) вказує, що вектор швидкості \vec{v} завжди має напрямок дотичної до траєкторії L , а сама швидкість руху точки $\frac{ds}{dt}$ — величина скалярна. Таким чином, напрямок одиничного вектора $\vec{\tau}$ в будь якій точці поверхні співпадає з напрямком відносної швидкості V .



Рис. 2. Загальні види корпусів, що приймали участь у дослідженнях: *a* — ККВ.01.000-01; *б* — КВС-40А; *в* — ПЛЕ-21; *г* — ККВ.01.000

Визначимо у кожній точці A_i ($i=1, n$), траєкторії L вектор дотичної $\vec{\tau}_i$. Тоді кінець цього вектора, точка M_i , дасть на сфері одиничного радіусу криву m , яка називається сферична індикатриса дотичних [1, 10]. Кожній траєкторії L на сфері одиничного радіусу буде відповідати певна сферична індикатриса дотичних.

Положення точки M_i на сфері одиничного радіусу визначається кутами α_{xz} і α_{xy} . Знаючи ці кути можна побудувати відображення сферичної індикатрисы дотичних на площину як функцію зміни одного кута від другого, наприклад $\alpha_{xz} = f(\alpha_{xy})$. По данній функції можна судити як змінюється напрямок відносної швидкості ґрунту V вздовж кожної траєкторії.

На рис. 3 наведено відображення сферичних індикатрис дотичних траєкторій L_1 , L_2 , L_3 . Траєкторія L_1 розташовується ближче до верхнього обрізу полиці, а траєкторія L_3 — до нижнього обрізу полиці.

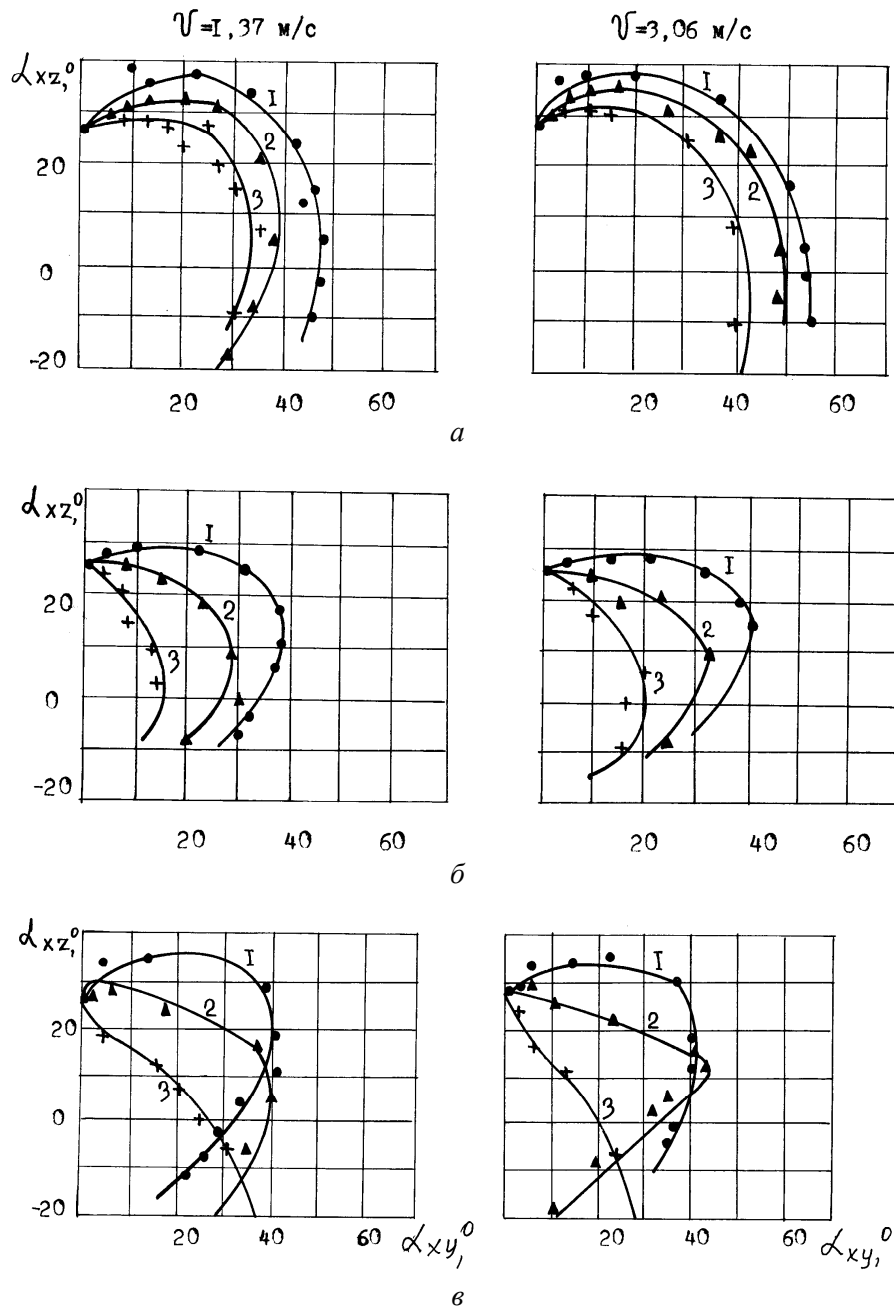


Рис. 3. Сферичні індикатриси дотичних до траєкторій на поверхнях гвинтових полиць: *a* — розгортна поверхня гвинтового корпусу КВС-40А; *б* — розгортна поверхня гвинтового корпусу ККВ.01.000-01; *в* — нерозгортна поверхня гвинтового корпусу ККВ.01.000

Як видно з рисунку криві 1, 2, 3 мають значно різний характер. У розгортних полиць корпусів КВС-40А і ККВ.01.000-01 криві 1, 2, 3 схожі між собою, вони мають еквідистантний характер. Це означає, що вектори \vec{V} , при руху по траєкторіям L_1 , L_2 , L_3 , обертаються з однаковою швидкістю. Таким чином, траєкторії L_1 , L_2 , L_3 подібні. Це, в свою чергу, вказує на те, що скиба ґрунту, рухаючись по розгортній поверхні, не відчуває місцевих стиснень та розтягувань, характерних для пластичних деформацій.

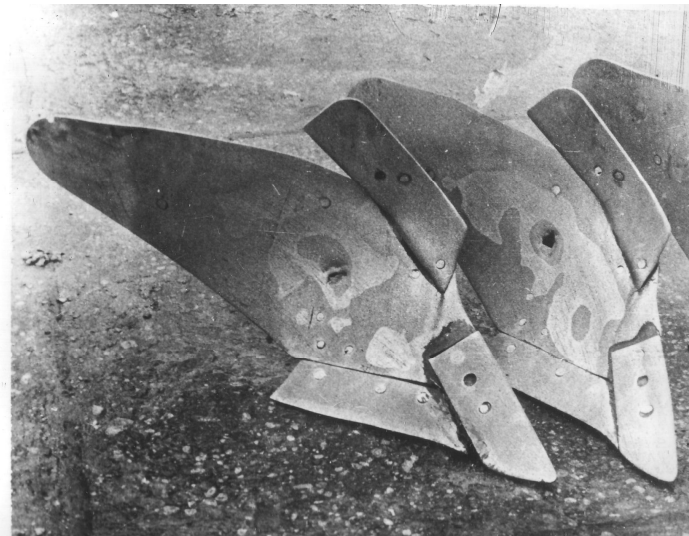


Рис. 4. Максимальний знос гвинтових полиць з нерозгортною поверхнею

Іншу картину будемо бачити при руху скиби по нерозгортній поверхні корпуса ККВ.01.000 (рис. 3). У цьому випадку криві 1, 2, 3 мають різну кривину та скрут, що приводе до їх перетину. Різна кривина кривих 1, 2, 3 вказує, що траєкторії L_1 , L_2 , L_3 , руху скиби по нерозгортній поверхні відрізняються по кривині та скруту. При цьому траєкторії L_1 , L_2 , L_3 , на поверхні полиці різні, що приводе до місцевих стискувань (у місцях максимального зближення сусідніх траєкторій) і розтягувань (у місцях найбільшого розходження траєкторій), на подолання яких потрібно затратити додаткову енергію. Місця найбільшого стискання скиби будуть у містах перетину кривих 1, 2, 3 на рис. 3, в.

У місцях стискання скиби утворюються максимальні нормальні напруження які визивають найбільший знос полиці плужного корпусу. На рис. 4 наведено знос гвинтових корпусів ККВ.01.000 з нерозгортною поверхнею. Як видно з рисунку на грудині знос максимальний — полиця зношена повністю. Це місце відповідає перетину сферичних індикатрис дотичних відповідно до рис. 3, з.

Висновки

На основі проведених досліджень по застосування сферичних індикатрис дотичних можна зробити наступні висновки.

1. Сферичні індикатрис дотичних дозволяють просторову картину обтікання ґрунтом поверхні робочого органу перетворити на плоску картину на площині.
2. Застосування сферичних індикатрис дотичних до траєкторій дозволяє виявити місця максимального нормального тиску скиби ґрунту на робочий орган.
3. Вивчення сферичних індикатрис дотичних вказує на те, що корпуси плугів з розгортними поверхнями полиць мають менший тяговий опір за рахунок впорядкованого руху скиби ґрунту, що виключає місцеві стиснення та розтягування.
4. Наступні дослідження потрібно проводити у дослідженні розрахункових траєкторій з метою виявлення максимального зносу поверхні робочого органу.

Список використаної літератури

1. Голованов Н.Н. Геометрическое моделирование. Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2002, 472 с.
2. Котов И.И. Методическое пособие по начертательной геометрии "Алгоритмы конструирования каркасных поверхностей". Москва : МАИ, 1975, 63 с.
3. Мальй А.Д., Попудняк О.Ю., Ульченко Т.В., Старосольська Т.В. Квазилинейные графические модели пространства. *Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика*. 2014. № 5. С. 51–56.
4. Найдыш В.М. Конструирование поверхностей из многопараметрических множеств линий и поверхностей. *Научные труды Украинской сельскохозяйственной академии*. 1980. № 234. С. 141–144.
5. Найдыш В.М. Конструирование поверхностей, проходящих через их специальные линии. *Известие высших учебных заведений: авиационная техника*. 1981. № 234. С. 88–90.

6. Найдыш В.М., Балюба И.Г. Развертывающиеся линейчатые поверхности, заданные линией пространства параметров. *Прикладная геометрия и инженерная графика*. 1979. № 27. С. 89–90.
7. Тищенко С.С. Геометрическая адаптация поверхностей почвообрабатывающих рабочих органов к выполняемому процессу. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. 2007. № 59. С. 110–114.
8. Тищенко С.С. Геометрическая модель адаптивной поверхности почвообрабатывающего рабочего органа инцидентной двум кривым / С. С. Тищенко. // Сборник научных работ Крымского государственного университета. 2005. № 84. С. 242–247.
9. Тищенко С.С., Карась В.В. Конструирование поверхности окучника для пропашных культур по абсолютным траекториям движения почвы. *Вісник Дніпропетровського державного агроуніверситету*. 2006. № 1. С. 27–30.
10. Lawrence D. Brown. A semiparametric multivariate partially linear model: A difference approach / Lawrence D. Brown, Michael Levine, Lie Wang // *Journal of Statistical Planning and Inference*. 2016. Vol. 178. P. 99–111. doi:10.1016/j.jspi.2016.06.005

INVESTIGATION OF SOIL MOVEMENT ON THE SURFACE OF THE WORKING BODY

S. Tishchenko

Abstract

Many machines and mechanisms have working bodies that work in a dense environment. The most common environment is soil. All tillage implements such as plows, flat cutters, cultivators have implements that work in a dense environment, ie in the soil. Many construction machines, namely scrapers, excavators of all types and purposes, and other machines, have working bodies that work in the ground. These machines include diggers, reclamation machines, the working bodies of which also work in a dense environment, if soil. This causes a lot of attention to the design of the surfaces of the working bodies.

Nowadays, generalized geometric models of working body surfaces have been developed, but they require research on the flow around the working body.

During the operation of agricultural plows, about 25 % of energy is used to move the soil on the surface of the working body, which is spent on tillage. The same can be said about buckets of excavators, shelves of bulldozers. Therefore, the study of the patterns of soil movement on the surface of the tillage working body will notice ways to reduce the energy intensity of tillage.

One of the methods of constructing trajectories is the method of strokes left by the soil moving on the surface of the working body. Using the lines as tangents, you can build a trajectory by setting the starting point on the ploughshare. As a result of construction we will have a set of trajectories which will cover a surface. Then these trajectories can be analyzed to the kinematic characteristics of the movement of soil chips on the surface.

The aim of the research is to introduce spherical indicators of tangents to the trajectories to study the kinematic characteristics of soil movement on the surface of the working body.

Studies of soil movement on the surfaces of plow bodies have established that the spatial picture of soil flow around the working body can be turned into a flat one. Research has shown that the soil moves in orderly on the unfolding surfaces, at the same time on the unfolded surfaces the soil moves, forming local sources of pressure on the surface of the working body. Local pressure sources lead to increased wear of the working bodies.

Thus, the use of spherical indicators tangent to the trajectories allows the spatial picture of soil movement on the surface of the working body to lead to a flat and identify local places of increased wear.

References

- [1] Golovanov, N.N. (2002). *Geometricheskoe modelirovanie: nauchnoe. izdanie [Geometrical design: scientific publication]* Moscow: Publishing house of physical and mathematical literature [in Russia].
- [2] Kotov, I.I. (1975) *Metodicheskoe posobie po nachertatelnoy geometrii "Algoritmy konstruirovaniya karkasnykh poverkhnostey" [Methodical manual on descriptive geometry "Algorithms of constructing of framework surfaces"]*. Moscow: Publishing House Mosk. Aviation in-that [in Russia].
- [3] Malyy, A.D., & Popudnyak Yu.Ya., & Ulchenko T.V., Starosolskaya T.V. (2014). *Kvazilineynye graficheskie modeli prostranstva [Quasilinear graphical space mode]. Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhennya, praktika - Bridges and tunnels: theory, research, practice, 5, 51–56 [in Ukraine]*.
- [4] Naydysh V.M. (1980). *Konstruirovaniye poverkhnostey iz mnogoparametricheskikh mnozhestv liniy i poverkhnostey [Designing surfaces from multiparameter sets of lines and surfaces] Nauchnye trudy Ukrainskoy selskokhozyaystvennoy akademii - Scientific works of the Ukrainian Agricultural Academy, 234, 141–144 [in Ukraine]*.
- [5] Naydysh V.M. (1981) *Konstruirovaniye poverkhnostey, prokhodyashchikh cherez ikh spetsialnye linii [Construction of surfaces passing through their special lines] Izvestie vysshikh uchebnykh zavedeniy: aviatsionnaya tekhnika - Izvestie of higher educational institutions: aviation engineering, 2, 88–90 [in Russia]*.
- [6] Naydysh V.M. (1979) *Razvertyvayushchiesya lineichatye poverkhnosti zadannye liniei prostranstva parametrov [Expanding ruled surfaces defined by a parameter space line] Prikladnaia geometriia i inzhenernaia grafika - Applied Geometry and Engineering Graphics, 27, 89–90 [in Ukraine]*.
- [7] Tishchenko S.S. (2007) *Geometricheskaya adaptatsiya poverkhnostey pochvoobrabatyvayushchikh rabochikh organov k vypolnyaemomu protsessu [Geometric adaptation of the surfaces of tillage workers to the process being performed] Visnyk Kharkivskogo nacionalnogo tekhnichnogo universytety im p. vasylenka - Вісник Харківського національного технічного університету імені П. Василенка, 59, 110–114 [in Ukraine]*.
- [8] Tishchenko S.S. (2005) *Geometricheskaya model adaptivnoy poverkhnosti pochvoobrabatyvayushchego rabocheho organa intsidentnoy dvum krivym [Geometric model of the adaptive surface of a soil-cultivating working body incident to two curves] Sbornik nauchnykh rabot Krymskogo gosudarstvennogo universiteta - Collection of scientific works of the Crimean State University, 84, 242–247 [in Ukraine]*.
- [9] Tishchenko S.S., & Karas V.V. (2006) *Konstruirovaniye poverkhnosti okuchnika dlya propashnykh kultur po absolyutnym traektoriyam dvizheniya pochvy [Designing the surface of the hoop for row crops on absolute paths of soil movement] Visnyk Dnipropetrovskogo derzhavnogo agrouniversytety - Bulletin Dnipropetrovsk sovereign agroneurs, 1, 27–30 [in Ukraine]*.
- [10] Lawrence D. Brown. A semiparametric multivariate partially linear model: A difference approach / Lawrence D. Brown, Michael Levine, Lie Wang // *Journal of Statistical Planning and Inference*. 2016. Vol. 178. P. 99–111. doi:10.1016/j.jspi.2016.06.005