

## ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ЧАСТИНОК ҐРУНТУ ПО ҐРУНТОВИНОСНИХ ЛОПАТКАХ РОБОЧИХ ОРґАНІВ ДИНАМІЧНОЇ ДІЇ

Пелевін Л.Є.<sup>1</sup>, Азенко А.В.<sup>1</sup>, Горбатюк Є.В.<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Київський національний університет будівництва й архітектури

*Анотація.* Проведено дослідження руху частинок ґрунту по ґрунтовиносних лопатках робочих органів динамічної дії. У результаті аналізу наявних публікацій взято за мету роботи аналітичне дослідження, результат якого дозволить проектувати робочі органи із заданими параметрами лопаток та необхідними режимами роботи, мінімізуючи шлях проходження частинок ґрунту по них.

*Ключові слова:* рух частинок ґрунту, робочі органи динамічної дії.

### Вступ

У зв'язку з тенденцією збільшення обсягів земляних робіт існує потреба у новому підході до методів екскавації ґрунту в процесі розробки нових конструкцій робочого обладнання для руйнування та виносу ґрунту із забою. Один зі шляхів інтенсифікації розробки ґрунту – це використання машин безперервної дії, найчастіше з дисковими робочими органами з метачем у вигляді ґрунтовиносних лопаток, які встановлені безпосередньо на робочому органі [1].

У процесі розробки ґрунту дисковими робочими органами із ґрунтовиносними лопатками відбувається одночасне різання ґрунту та екскавація по ґрунтовиносних лопатках. Тому дослідження робочих органів із ґрунтовиносними лопатками стають усе більш актуальними в міру збільшення інтенсифікації виробництва, через можливість не тільки розробки ґрунту, а і його виносу із зони розробки.

### Аналіз публікацій

У роботах [1, 2] проведено дослідження прямолінійних та криволінійних лопаток, а також вибору їх раціональних параметрів. Більш перспективним видається використання криволінійних лопаток. Методи вибору їх форми й аналізу руху частинок ґрунту по них розглянуто в роботах [2, 4–5]. Проведено аналіз наявних патентів України [6, 7], у конструкціях яких використовуються ґрунтовиносні лопатки.

Методи вибору форми лопаток, аналізу руху частинок ґрунту по них у цей час розроблені недостатньо.

Унаслідок аналізу наявних публікацій зроблено висновок, що актуальними є дослідження, результати яких матимуть практичне

застосування у вдосконаленні робочих органів динамічної дії з ґрунтовиносними елементами.

### Мета і постановка завдання

У процесі створення робочих органів динамічної дії з ґрунтовиносними лопатками виникає потреба у мінімізації енергетичних затрат, а саме на проходження частинок ґрунту по ґрунтовиносних лопатках.

Тому актуальною проблемою є дослідження питань, спрямованих на підвищення технологічних характеристик робочих органів за рахунок вибору оптимальної форми ґрунтовиносних лопаток.

Метою роботи є аналітичне дослідження руху частинок ґрунту, що виносяться ґрунтовиносними лопатками робочих органів динамічної дії, що дозволить проектувати робочі органи із заданими параметрами лопаток та необхідними режимами роботи, мінімізуючи шлях проходження частинок ґрунту по них.

### Дослідження руху частинок ґрунту по криволінійній ґрунтовиносній лопатці

Розглянемо робочий процес руху частинок ґрунту по лопатках робочого органу, виконаних у вигляді частини еліпса.

Рівняння руху частинки ґрунту по лопатках будуть такими [1]:

$$\begin{aligned} Y &= R_i \cos \varphi; \\ Z &= R_i \sin \varphi + V_m t; \\ X &= V_x t, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $V_m$  – швидкість подачі робочого органу на забій;  $V_x$  – швидкість руху частинок ґрунту уздовж осі  $x$ ;  $R_i$  – відстань до осі  $z$   $i$ -ї части-

нки ґрунту;  $\varphi$  – кут повороту робочого органу.

Ураховуючи, що  $\varphi = \omega t$ , перетворимо систему (1) до вигляду

$$\begin{aligned} Y &= R_i \cos \omega t; \\ Z &= R_i \sin \omega t + V_m t; \\ X &= V_x t. \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість робочого органу.

Для знаходження кінематичних параметрів продиференціюємо кожне рівняння системи (2), визначаємо проекції швидкостей частинки ґрунту, що рухається по лопатці:

$$\begin{aligned} V_y &= dy/dt = -R_i \omega \sin \omega t; \\ V_z &= dz/dt = R_i \omega \cos \omega t + V_m; \\ V_x &= dx/dt = V_x. \end{aligned}$$

Поділяючи змінні, отримаємо в диференціалах:

$$\begin{aligned} dy &= -R_i \omega \sin \omega t dt; \\ dz &= (R_i \omega \cos \omega t + V_m) dt; \\ dx &= V_x dt. \end{aligned} \quad (3)$$

Швидкість взаємодії лопаток з частинками ґрунту

$$V = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2},$$

або, враховуючи рівняння (3):

$$V = \sqrt{R_i^2 \omega^2 + V_m^2 + V_x^2 + 2R_i \omega V_m \cos \omega t}. \quad (4)$$

Враховуючи рух робочого органу, частинки ґрунту по лопатках, які виконані у вигляді частини еліпса, рухаються по еліпсоїду обертання, рівняння якого має вигляд:

$$1 - X^2 = K^2(Y^2 + Z^2), \quad (5)$$

де коефіцієнт  $K$  залежить від півосей еліпсоїда, які мають однакову довжину, і дорівнює:

$$K = \frac{1}{a^2} = \frac{1}{b^2},$$

де  $a$  та  $b$  – рівні півосі еліпсоїда обертання.

Підставляючи систему рівнянь (2) в рівняння еліпсоїда обертання (5), отримаємо:

$$\begin{aligned} 1 - V_x^2 t^2 &= (R_i^2 \cos^2 \omega t + R_i^2 \sin^2 \omega t + \\ &+ V_m^2 t^2 + 2R_i V_m t \sin \omega t) K^2 \end{aligned}$$

або

$$\begin{aligned} 1 - V_x^2 t^2 &= (R_i^2 + V_m^2 t^2 + \\ &+ 2R_i V_m t \sin \omega t) K^2 \end{aligned}$$

Після перетворень отримаємо:

$$\begin{aligned} R_i^2 + 2R_i V_m t \sin \omega t + \\ + V_m^2 t^2 - \frac{1 - V_x^2 t^2}{K^2} = 0 \end{aligned}$$

Звідси

$$R_i = \frac{\sqrt{V_x^2 t^2 - V_m^2 K^2 t^2 \cos^2 \omega t - 1}}{K} - V_m t \sin \omega t. \quad (6)$$

#### Розробка математичної моделі процесу руху частинки ґрунту по лопатках

Розробимо математичну модель процесу руху частинки ґрунту по лопатках; для цього позначимо сили, які діють на частинку ґрунту (рис. 1).

Запишемо рівняння сил, які діють на частинку ґрунту, яка рухається по лопатках. Спроекуємо всі сили, що діють на частинку ґрунту на вісь  $x$ :

$$\begin{aligned} dP_B \cdot \sin \alpha - dP_{тр} \cdot \sin \beta - dP_g - \\ - dmw \cdot \sin \beta = 0, \end{aligned}$$

де  $P_B$  – сила, потрібна для викидання частинки ґрунту з лопатки з певною швидкістю;  $P_{тр}$  – сила тертя, що діє на частинки ґрунту, який рухається по лопатці;  $P_g$  – сила тяжіння частинки ґрунту;  $dm$  – маса елементарної частинки ґрунту;  $w$  – прискорення частинки ґрунту.

Величина сили тертя дорівнює:

$$P_{тр} = k \cdot P_n, \quad (7)$$

де  $k$  – коефіцієнт тертя частинки ґрунту по сталевих лопатках,  $P_n$  – сила нормального тиску, що дорівнює:

$$P_n = mg \cos \beta. \quad (8)$$

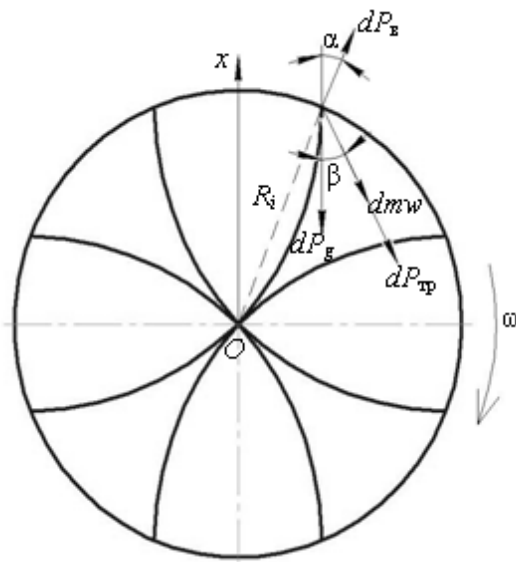


Рис.1. Схема сил, що діє на частинку ґрунту під час руху по ґрунтовиносній лопатці

Величина сили тертя дорівнює:

$$P_{тр} = kmg \cos \beta . \quad (9)$$

Тоді сила тертя, що діє на частинки ґрунту, який рухається по лопатках, дорівнює:

$$dP_{тр} = kg \cos \beta \cdot dm . \quad (10)$$

Сила тяжіння, як відомо, дорівнює:

$$dP_g = gdm . \quad (11)$$

Прискорення частинки ґрунту дорівнює:

$$w = \omega^2 \cdot R_i . \quad (12)$$

Звідси сила, потрібна для викидання частинки ґрунту з ґрунтовиносної лопатки, дорівнює:

$$dP_{в} = \left( \frac{kg \sin \beta \cos \beta + g + \omega^2 R_i \sin \beta}{\sin \alpha} \right) dm .$$

### Висновки

Отже, у процесі аналітичного дослідження руху частинок ґрунту, що виноситься ґрунтовиносними лопатками робочих органів динамічної дії, унаслідок перетворень отримано рівняння руху частинки ґрунту по еліпсоїду обертання та рівняння сили, необхідної для викидання частинки ґрунту з ґрунтови-

носних елементів. Це дозволяє проектувати робочі органи із ґрунтовиносними лопатками з необхідними режимами роботи та параметрами лопаток, мінімізуючи шлях проходження частинок ґрунту по них.

### Література

1. Пелевін Л. Є., Горбатюк Є. В. Створення високопродуктивних робочих органів землерийних машин: монографія. Київ: КНУБА, 2011. 128 с.
2. Лобачевский Я. П., Старовойтов С. И., Гринь А. М. Энергетические и технологические аспекты работы дискового рабочего органа. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. URL: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2017-1-18-22>
3. Шатохін В. М., Семіків О. М., Попова А. М. Про оптимальну форму лопатки роторного металника ґрунту: праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2012. С. 260–269.
4. Бартенев И. М., Драпалюк И. М., Шабанов М. Л. Система машин для лесного хозяйства и защитного лесоразведения: учеб. пособие. Воронеж: ВГЛТА, 2010. 215 с.
5. Брагинец Н. В. Анализ конструкций дисковых рабочих органов и теоретическое обоснование повышения эффективности процесса обработки почвы за счет использования более совершенных рабочих органов. URL: [http://khntusg.com.ua/files/sbornik/vestnik\\_111/statiya\\_13.pdf](http://khntusg.com.ua/files/sbornik/vestnik_111/statiya_13.pdf).
6. Бартенев И. М., Попов И. В. Влияние геометрических параметров универсального почвообрабатывающего орудия на его эффективность. *Лесотехнический журнал*. 2014. № 2. С. 197–203.
7. Голубченко О. І., Хожило М. Е. Розробка робочого обладнання землерийно-транспортної машини безперервної дії // *Інтенсифікація робочих процесів будівельних і дорожніх машин: сб. науч. тр. Днепропетровск: ПГАСА, 2009. Вып. 51. С. 110–113.*
8. Трубилин Е. И., Сохт К. А., Коновалов В.И., Данюкова О. В. Рабочие органы дисковых борон и лушильников. *Научный журнал КубГАУ. Краснодар, 2013. № 91 (07).*
9. Робочий орган землерийної машини: пат. 126621 Україна: МПК E02F 5/08; заявл. 07.02.2018, опубл. 25.06.2018, Бюл. № 12. 6 с.
10. Дисковий робочий орган динамічної дії: пат. 129712 Україна: МПК E02F 5/08; заявл. 02.05.2018, опубл. 12.11.2018, Бюл. № 21. 9 с.

### References

1. Pelevin L.E, Horbatyuk E.V. (2011). Stvorennya vysokoproduktyvnykh robochykh orhaniv zemleruynykh mashyn [Creation of high-performance working machines for earthmoving machines] *Monograph*. (Kyiv, 2011) [in Ukraine].

2. Lobachevskyy YA.P., Starovoytov S.Y., Hryn' A.M. (2017) Énerhetycheskye y tekhnolohycheskye aspekty raboty diskovoho rabocheho orhana. [Technological aspects of the work of the discussion working organ] *Sel'skokhozyaystvennyye mashyny y tekhnolohyy*. 2017. [in Russia].
3. Shatokhin V.M., Semkiv O.M., Popova A.M. (2012) Pro optimal'nu formu lopatky rotornoho metal'nyka gruntu [On the optimal shape of the blade of a rotor thrower of soil] *Pratsi Tavriys'koho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu*. (Melitopol, 2012). [in Ukraine].
4. Bartenev Y.M., Drapalyuk M.V., Shabanov M.L. (2010) Systema mashyn dlya lesnoho khozyaystva y zashchytnoho lesorazvedenyia [System of machines for forestry and protective forest reproduction], *ucheb. posobyе*. VHLTA (Voronezh, 2010). [in Russia].
5. Brahynets N.V. Analiz konstruktsyy diskovykh rabochykh orhanov y teoretycheskoe obosnovanye povyshenyia éffektyvnosti protsessa obrabot-ky pochvy za schet yspol'zovanyia bolee sover-shennykh rabochykh orhanov [Analysis of structures of disk working bodies and theoretical substantiation of increasing the efficiency of the process of soil cultivation through the use of more advanced working bodies] URL: [http://khntusg.com.ua/files/sbornik/vestnik\\_111/statia\\_13.pdf](http://khntusg.com.ua/files/sbornik/vestnik_111/statia_13.pdf). [in Russia].
6. Bartenev Y.M., Popov Y.V. (2014) Vlyyanye heometrycheskykh para-metrov unyversal'noho pochvoobrabatyvayushcheho orudyia na ého éffektyvnost' [Influence of geometric parameters of universal soil-cultivating tools on its efficiency] *Lesotekhnicheskyi zhurnal*. [in Russia].
7. Holubchenko O.I., Khozhylo M.E. (2009) Rozrobka robochoho obladnan-nya zemleryynotransportnoyi mashyny bezperervnoyi diyi [Development of working equipment of a continuous-moving excavation machine] *Sb. nauch. tr. yntensyfykatsyya rabochykh protsessov stroytel'nykh y dorozhnykh mashyn*. [in Ukraine].
8. Trubylyn E.Y., Sokht K.A., Konovalov V.Y. (2013) Rabochye orhany diskovykh boron y lushchyl'nykov [Working organs of disk harrows and peelers]. *Nauchnyy zhurnal KubHAU*. (Krasnodar 2013). [in Russia].
9. Azenko A.V., Pelevin L.YE., Horbatyuk YE.V., Fomin A.V., Patent na korysnu model' [Working body of earthmoving machine] № 126621, «Robochyy orhan zemleryynoyi mashyny», 25.06.2018, Byul. № 12 [in Ukraine].
10. Pelevin L.YE., Azenko A.V., Horbatyuk YE.V., Patent na korysnu model' № 129712, «Diskovyy robochyy orhan dynamichnoyi diyi» [Disk Work Body of Dynamic Action], 12.11.2018, Byul. № 21 [in Ukraine].

**Пелевін Леонід Євгенійович**<sup>1</sup>, к.т.н., професор, +380(67) 777-81-72, [pelevin\\_leonid@ukr.net](mailto:pelevin_leonid@ukr.net),

**Азенко Артем Віталійович**<sup>1</sup>, аспірант, +380(66)094-05-61, [azenkoartem@ukr.net](mailto:azenkoartem@ukr.net),

**Горбатюк Євгеній Володимирович**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, +380(67) 910-59-43, [gek\\_gor@i.ua](mailto:gek_gor@i.ua).

<sup>1</sup>Київський національний університет будівництва й архітектури

### Investigating the motion of soil particles on soil blades of working bodies of dynamic action

**Abstract.** *The study of the motion of soil particles by soil blades of working bodies of dynamic action was carried out. The analysis of existing researches and publications, in which the main **problem** is highlighted, namely that the **methodology** of selecting blades, the analysis of the motion of soil particles on them at this time is not enough. As a **result** of the analysis of existing researches and publications, the purpose of research is set, namely: analytical researches, the result of which will allow to develop working bodies with predetermined parameters of blades and necessary modes of work, minimizing the path of passing particles of soil on them. The methodology of research is the analytical studies of the motion of particles of soil on the ground shovels. In studying the motion of soil particles on soil blades formed equations of motion of the particle of soil, and the speed of the soil fraction is obtained from the soil blade. The result of the research is a mathematical model of the motion of a soil particle on a soil-like blade, a scheme of forces acting on a soil particle has been developed, the force required for the emission of soil particles from soil blades has been obtained. As a **result** of the study of the motion of the soil particles by the soil-like blades of the working bodies of the dynamic action, the equations of the motion of the soil particle were obtained as a result of the transformations. An ellipsoid of rotation and an equation of force necessary for throwing the soil out of the soil elements were obtained. the **practical value** lies in the fact that the obtained equations allow designing the working bodies by ground treatment and the parameters of the blades that minimize the path of the passage of soil particles onto them. The **originality** lies in the fact that the resulting equations will allow the design of new working bodies of dynamic action with soil blades.*

**Key words:** motion of particle of soil, working organs of dynamic action

**Pelevin Leonid**<sup>1</sup>, PhD, Professor, tel. +380(67) 777-81-72, [pelevin\\_leonid@ukr.net](mailto:pelevin_leonid@ukr.net),

**Azenko Artem**<sup>1</sup>, PhD Student, [azenkoartem@ukr.net](mailto:azenkoartem@ukr.net), tel. +380(66)094-05-61,

**Gorbatyuk Ievgenii**<sup>1</sup>, PhD, Associate Professor, tel. +380(67) 910-59-43, [gek\\_gor@i.ua](mailto:gek_gor@i.ua).

<sup>1</sup>Kyiv National University of Construction and Architecture, Povitroflotsky ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03037.

**Исследование движения частичек грунта по грунтовыносным лопаткам рабочих органов динамического действия**

**Аннотация.** Проведено исследование движения частиц грунта по грунтовыносным лопаткам рабочих органов динамического действия. Проведен анализ существующих исследований и публикаций, в которых выделена основная проблема, а именно: методология выбора лопастей, анализ движения частиц грунта по ним в настоящее время разработаны недостаточно. В результате анализа существующих исследований и публикаций выделена цель исследования, а именно: аналитические исследования, в результате которых будет возможно разрабатывать рабочие органы с заданными параметрами лопаток и необходимыми режимами работы, минимизирующими путь прохождения грунта по грунтовыносным лопаткам. При изучении движения частиц грунта на грунтовыносных лопатках сформированы уравнения движения частиц грунта, а также уравнение скорости грунта по грунтовыносной

лопатке. Результатом исследования является математическая модель движения частицы грунта по грунтовыносным лопаткам, разработана схема сил, действующих на частицу грунта, сила, необходимая для выброса частиц грунта по грунтовыносным лопаткам. Оригинальность заключается в том, что полученные уравнения позволят проектировать новые рабочие органы динамического действия с грунтовыносными лопатками.

**Ключевые слова:** движение частицы грунта, рабочие органы динамического действия.

**Пелевин Леонид Евгеньевич**<sup>1</sup>, к.т.н., профессор, +380(67) 777-81-72, [pelevin\\_leonid@ukr.net](mailto:pelevin_leonid@ukr.net),  
**Азенко Артем Витальевич**<sup>1</sup>, аспирант, +380(66)094-05-61, [azenkoartem@ukr.net](mailto:azenkoartem@ukr.net),  
**Горбатюк Евгений Владимирович**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, +380(67) 910-59-43, [gek\\_gor@i.ua](mailto:gek_gor@i.ua).

<sup>1</sup>Киевский национальный университет строительства и архитектуры, пр. Воздухофлотский, 31, г. Киев, Украина.