



DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-1-85-95

УДК 631.313.6

О. П. Гриценко¹, наук. співр.

ORCID: 0009-0005-1315-3676

С. П. Степаненко¹, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0002-8331-4632

*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва**Національна академія аграрних наук України*e-mail: stepanenko_s@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ ДИСКОВОЇ БОРОНИ ВІД НАВАНТАЖЕННЯ НА СФЕРИЧНИЙ ДИСК

Анотація. Дискові борони з рядним розташуванням сферичних дисків на індивідуальній осі знаходять широке застосування в ресурсозберігаючих технологіях підготовки ґрунту під посів. Робочі органи дискових борін, диски - не забиваються рослинними рештками та ґрунтом.

Одним з якісних показників роботи дискової борони, як вказують відомі вчені в галузі обробітку ґрунту є коефіцієнт корисної дії. Встановлено, що тяговий опір дискової борони залежить, як від конструкційних так і технологічних параметрів сферичного диска та швидкості руху МТА. Проведеними дослідженнями обґрунтовано, що експлуатаційна вага дискової борони визначається залежно від кількості сферичних дисків та необхідного навантаження для забезпечення раціональної глибини обробітку ґрунту. В ході теоретичних досліджень встановлено, що коефіцієнт корисної дії дискової борони не залежить від конструкційних та технологічних параметрів роботи сферичного диска. Розроблені математичні моделі, які встановлюють взаємозв'язок між конструкційними та технологічними параметрами роботи сферичного диска та доводять, що збільшення коефіцієнта корисної дії дискової борони досягається за рахунок збільшення витрат на роботу сферичного диска і зниженням навантаження на сферичний диск, яке пропорційне зниженню експлуатаційної ваги технічного засобу.

Ключові слова. Борона, машинно-тракторний агрегат, тяговий опір, діаметр сферичного диска, експлуатаційна вага.

Постановка проблеми. Багатьма проведеними дослідженнями встановлено взаємозв'язок між тяговим опором дискової борони від конструкційних та технологічних параметрів сферичного диска та швидкості руху машинно-тракторного агрегату (МТА) [1-7]. Відомі також дослідження, щодо впливу експлуатаційної ваги дискової борони залежно від кількості дисків та деякого навантаження для забезпечення зазначеної глибини обробітку ґрунту. Попередній огляд наукових досліджень з даного напрямку свідчить, що на даний час відсутня узагальнююча розрахункова залежність для визначення



коефіцієнта корисної дії дискової борони з паралельним розташуванням сферичних дисків, тому визначення даної взаємозалежності є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень. Науковими дослідженнями, які проводилися вітчизняними та закордонними вченими [3-7, 10, 13, 16-21] на протязі багатьох років, були обґрунтовані елементи методики, щодо вибору та комплектування тягових агрегатів на базі сучасних тракторів. У ресурсозберігаючих технологіях підготовки ґрунту під посів зернових після просапних культур знаходять широке застосування дискові борони з рядною установкою сферичних дисків на індивідуальній стійці. Якість обробітку ґрунту такими знаряддями відповідає вихідним вимогам до ґрунтообробних машин, серед яких повне підрізання рослин, подрібнення грудок ґрунту до необхідного розміру фракції. Залежно від числа паралельно встановлених рядів на рамі розрізняють: дворядні, трирядні та чотирирядні дискові борони. Дворядні і трирядні дискові борони використовують для обробітку ґрунту після цукрових буряків і багаторічних трав, чотирирядні - для обробки ґрунту після великостеблових просапних культур (кукурудза і соняшник).

Встановлено, що дворядне розташування сферичних дисків через велику відстань між сусідніми дисками у ряді створює необроблені смуги в міждисковому просторі [4-16]. При проведенні передпосівної культивуації для посіву зернових за два проходи ці дискові знаряддя забезпечують подрібнення ґрунту відповідно до вимог ДСТУ.

Чотирирядні дискові борони забезпечують якісну обробку великостеблових просапних культур. За два проходи дискової борони ступінь подрібнення пожнивних решток великостеблових просапних культур становить понад 50%, що відповідає вимогам. Для виконання технологічної операції робочою машиною потрібні певні витрати механічної енергії. Частка корисних витрат енергії оцінюється коефіцієнтом корисної дії. Значення цього коефіцієнта варіює в інтервалі від 0,2 до 0,8 [17]. Огляд літературних джерел [4, 6] свідчить, що на даний час відсутня узагальнююча розрахункова формула для визначення коефіцієнта корисної дії дискової борони з паралельним розташуванням сферичних дисків.

Відомо, що тяговий опір дискової борони описується раціональною формулою В.П. Горячкина для плуга [8]. Величина тягового опору стосовно дискової борони із загальним числом дисків n , кожен з яких встановлений на індивідуальній осі, має вигляд:

$$R = f \cdot G + k \cdot a \cdot b \cdot n + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot v^2 \quad (1)$$

де R – тяговий опір дискової борони, кН;

f – коефіцієнт, аналогічний коефіцієнту тертя;

G – експлуатаційна вага машини, кН;



a – глибина обробки, м;
 b – ширина захоплення сферичного диска, м;
 n – загальна кількість дисків, шт.;
 k – коефіцієнт опору на перекочування дискової борони по стерні;
 ε – коефіцієнт, який характеризує витрати енергії на відкидання скиби ґрунту, $\text{кН} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$;
 v – швидкість руху машинно-тракторного агрегату, м/с.

Величина тягового опору дискової борони, як відомо [4, 7], включає витрати енергії на перекочування та витрати на технологічний процес обробітку ґрунту, кришення та відкидання ґрунту із зовнішньої поверхні сферичного диска.

Науковими дослідженнями [4, 7] встановлено, що ширина захоплення одиничного сферичного диска визначається за відомою залежністю:

$$b = 2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta \cdot \sqrt{a \cdot [D \cdot \cos \beta - a]} \quad (2)$$

де α – кут встановлення сферичного диска до напрямку руху агрегату, град.;

β – кут нахилу сферичного диска до вертикальної площини, град.;

D – діаметр сферичного диска, м.

Від значення кута встановлення сферичного диска до напрямку руху агрегату залежить глибина обробки. Отже з урахуванням залежності (2) тяговий опір дискової борони набуде наступного вигляду:

$$R = f \cdot G + 2 \cdot a \cdot n \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta \cdot [k + \varepsilon \cdot v^2] \cdot \sqrt{a \cdot [D \cdot \cos \beta - a]} \quad (3)$$

Формулювання мети статті. Визначити чинники, що впливають на коефіцієнт корисної дії дискової борони з встановленням диска на індивідуальній осі.

Основна частина. Одним з найважливіших параметрів роботи дискової борони є навантаження на сферичний диск, величина якого визначає здатність диска підтримувати встановлену глибину обробки для різних технологічних операцій. Значення даного параметра визначає деяку частку ваги дискової борони, яка припадає на сферичний диск під час виконання технологічної операції. Навантаження на сферичний диск, визначимо, як:

$$P = G/n \quad (4)$$

де P – навантаження на диск, кН.

З аналізу літературних джерел [6, 20], а також з виробничого досвіду [6] параметра навантаження на сферичний диск дискових борін свідчить, що за ширини захвату борони до 3 м включно навантаження на диск не перевищує 0,6 - 0,7 кН, а при ширині захвату борони до 8 м досягає майже 1,4 – 1,5 кН [3, 7]. Аналіз конструкцій



закордонних дискових борін свідчить, що навантаження на диск не перевищує 0,7 - 0,8 кН [3, 7].

Збільшення навантаження на сферичний диск можна досягти за рахунок встановлення додаткових вантажів на раму. Експлуатаційна вага дискової борони виходячи з необхідного навантаження на сферичний диск визначається залежністю:

$$G = P \cdot n \quad (5)$$

Тяговий опір дискової борони з урахуванням залежності (5) запишемо у вигляді:

$$R = f \cdot P \cdot n + 2 \cdot a \cdot n \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta \cdot [k + \varepsilon \cdot v^2] \cdot \sqrt{a \cdot [D \cdot \cos \beta - a]} \quad (6)$$

Коефіцієнт корисної дії дискової борони, як відомо [11, 20], становить деяку частку корисної роботи від загальної роботи на виконання технологічної операції обробітку ґрунту. Багатьма науковими та виробничими дослідженнями [11, 20] встановлено, що для дискових борін «шкідливими» витратами є: експлуатаційна вага борони, яка прямопропорційно залежить від витрат матеріалу на її виготовлення. Корисна робота здійснюється сферичним диском борони у процесі підрізання, кришення та відкидання «скиби» ґрунту.

Зрозуміло, що збільшення маси конструкції дискової борони відповідно збільшує і величину питомих витрат на її перекочування. Слід відмітити, що позитивною рисою дискових борін від інших ґрунтообробних знарядь в процесі їх експлуатації є те, що вага технічного засобу корисно витрачається на створення навантаження на сферичний диск. Величина даного навантаження під час руху агрегату забезпечує дотримання раціональної глибини обробітку ґрунту, а чисельні значення навантаження залежать від кута встановлення сферичного диска до напрямку руху МТА.

Значення коефіцієнта корисної дії дискової борони можна записати залежністю:

$$\mu = \frac{R_T}{R} \quad (8)$$

де R_T – сила тяги борони за раціональних умов виконання технологічної операції обробітку ґрунту, кН.

За аналогією з коефіцієнтом корисної дії, що використовується для ґрунтообробних знарядь за В.П. Горячкиним [7] для дискової борони величина даного коефіцієнта запишиться залежністю:

$$\mu = \frac{2 \cdot a \cdot n \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta \cdot [k + \varepsilon \cdot v^2] \cdot \sqrt{[D \cdot a \cdot \cos \beta - a^2]}}{f \cdot P \cdot n + 2 \cdot a \cdot n \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta \cdot [k + \varepsilon \cdot v^2] \cdot \sqrt{[D \cdot a \cdot \cos \beta - a^2]}} \quad (9)$$

На рис. 1 представлено залежність коефіцієнта корисної дії (9) від навантаження на сферичний диск.

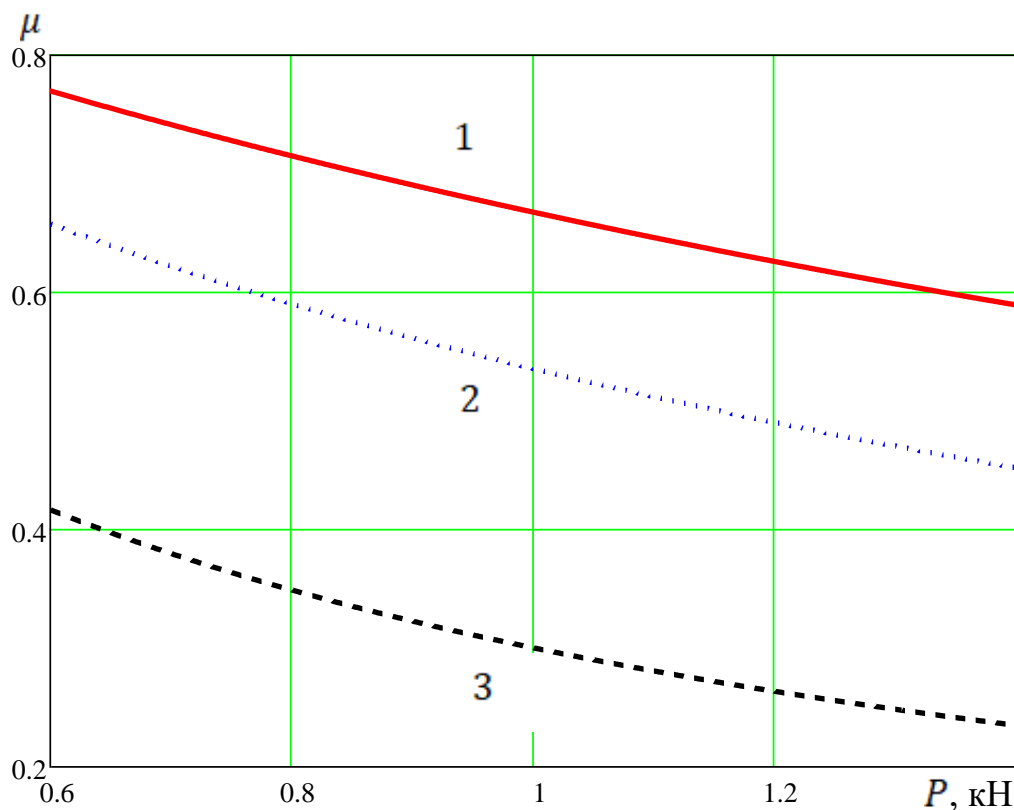


Рис. 1. Залежність коефіцієнта корисної дії від навантаження на сферичний диск; 1 – глибина обробітку 0,15 м; 2 – глибина обробітку 0,10 м; 3 – глибина обробітку 0,05 м

Для побудови графічних залежностей (рис. 1), було запропоновано наступні вихідні дані: коефіцієнт опору на перекочування дискової борони по стерні - 0,2-0,25; кут встановлення сферичного диска до напрямку руху МТА - 20°; кут нахилу диска до вертикальної площини - 0°; питомий тяговий опір ґрунту 40 кПа; витрати енергії на відкидання скиби ґрунту $0,4 \text{ кН} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$; швидкість руху агрегату - 3,5 м/с; кількість дисків - 16.

Аналіз графічних залежностей свідчить, що зі збільшенням навантаження на сферичний диск збільшується експлуатаційна вага дискової борони, за умов сталої (раціональної) глибини обробітку ґрунту знижується коефіцієнт корисної дії технічного засобу, що обумовлено зростанням необхідної сили на переміщення технічного засобу по поверхні поля. За умов сталих значень навантаження на сферичний диск та значень експлуатаційної ваги технічного засобу і відповідного збільшення глибини обробітку ґрунту від 0,05 до 0,15 м збільшуються корисні витрати енергії, що зумовлює збільшення коефіцієнта корисної дії дискової борони.

Залежність коефіцієнта корисної дії дискової борони від глибини обробітку ґрунту представлена на (рис. 2).

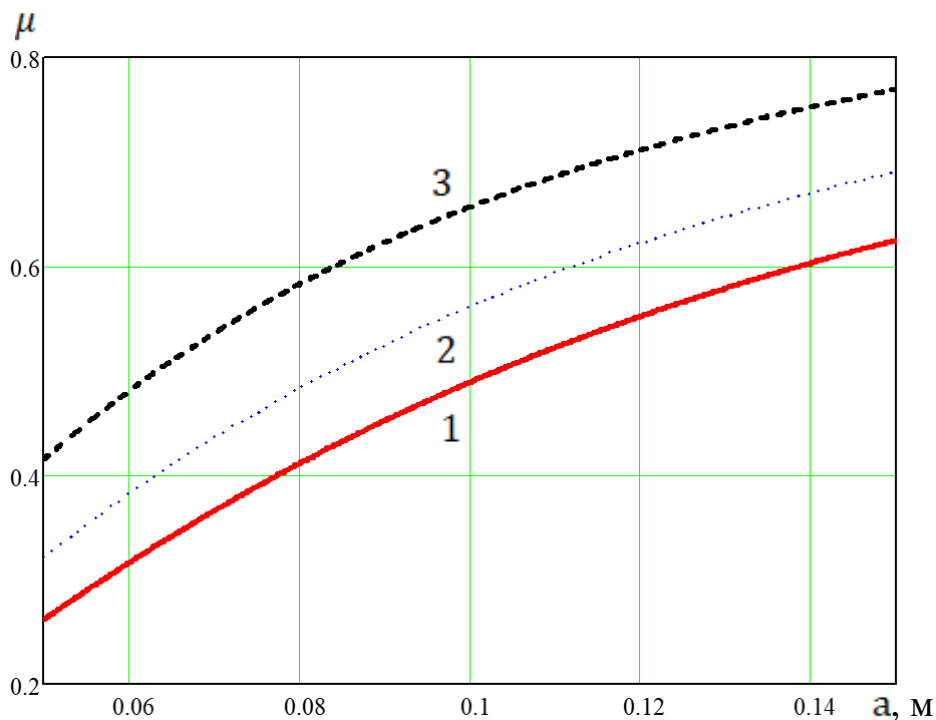


Рис. 2. Залежність коефіцієнта корисної дії дискової борони від глибини обробітку ґрунту: 1 – навантаження на сферичний диск 1,2 кН; 2 – навантаження на сферичний диск 0,9 кН; 3 – навантаження на сферичний диск 0,6 кН

Початкові дані для отримання графічних залежностей (рис. 2) коефіцієнта корисної дії дискової борони від глибини обробітку ґрунту взяті з попередніх аналітичних досліджень [2, 3]: коефіцієнт опору на перекочування дискової борони по стерні - 0,2-0,25; кут встановлення сферичного диска до напрямку руху МТА - 20°; кут нахилу диска до вертикальної площини - 0°; питомий тяговий опір ґрунту 40 кПа; витрати енергії на відкидання скиби ґрунту $0,4 \text{ кН} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$; швидкість руху агрегату - 3,5 м/с; кількість дисків - 16.

Аналіз отриманих графічних залежностей свідчить, що за умов збільшення глибини обробітку ґрунту та відповідних констант значень навантаження на сферичний диск, зростає сила на підрізання, кришення та відкидання скиби ґрунту від сферичного диска, що безумовно призводить до зростання коефіцієнта корисної дії роботи дискової борони зі сферичними дисками. За умов зменшення навантаження на сферичний диск від 1,2 до 0,6 кН відповідно знижуються і витрати енергії на перекочування, що збільшує коефіцієнт корисної дії дискової борони.

Залежність коефіцієнта корисної дії дискової борони від питомого тягового опору ґрунту за різних значень навантаження на диск наведена на (рис. 3), а також залежність коефіцієнта корисної дії

дискової борони від глибини обробітку ґрунту за різних значень питомого тягового опору (рис. 4).

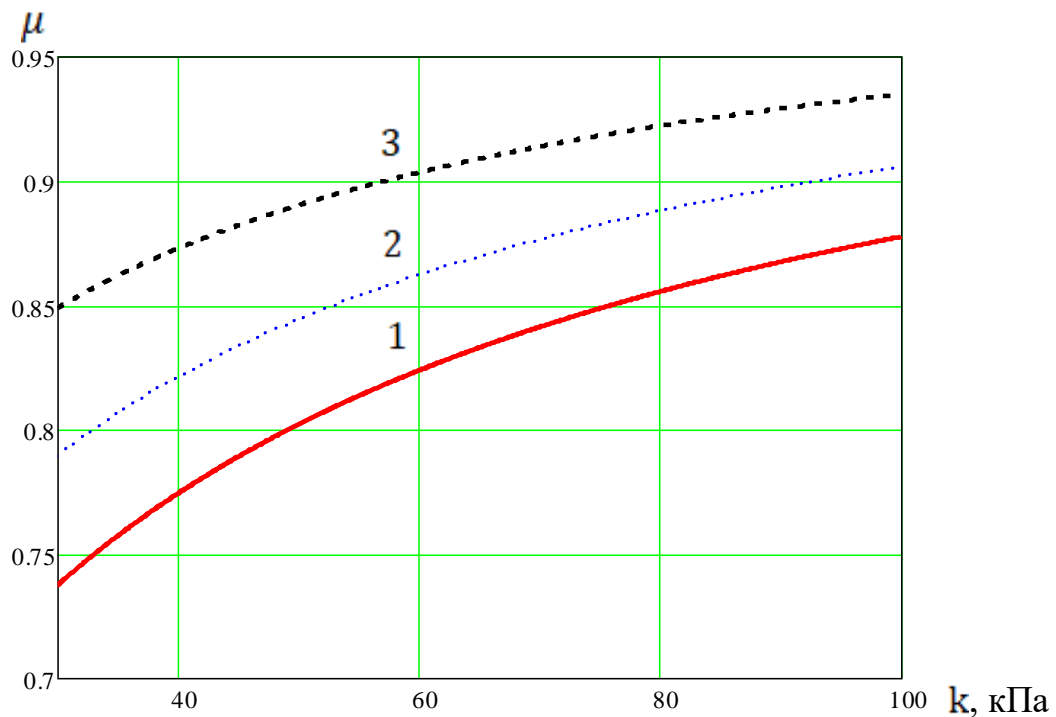


Рис. 3. Залежність коефіцієнта корисної дії від питомого тягового опору ґрунту: 1 – навантаження на сферичний диск 1,2 кН; 2 – навантаження на сферичний диск 0,9 кН; 3 – навантаження на сферичний диск 0,6 кН

Встановлено, що за сталих значень питомого тягового опору ґрунту залишається незмінною величина тягового опору. Зменшення навантаження на сферичний диск з 1,2 до 0,6 кН призводить до пропорційного зменшення експлуатаційної ваги та зниження собівартості виготовлення дискових борін.

Слід зауважити, що зі зниженням експлуатаційної ваги дискової борони за незмінних величин витрат на підрізання, кришення та відкидання скиби ґрунту буде спостерігатися і збільшенням коефіцієнта корисної дії.

Аналіз графічних залежностей наведених на (рис. 3, рис. 4) свідчить, що за сталих значень навантаження на сферичний диск і незмінній експлуатаційній вазі дискової борони за умов збільшення питомого опору ґрунту зростає величина тягового опору, що веде за собою збільшення коефіцієнта корисної дії дискової борони зі сферичними дисками.

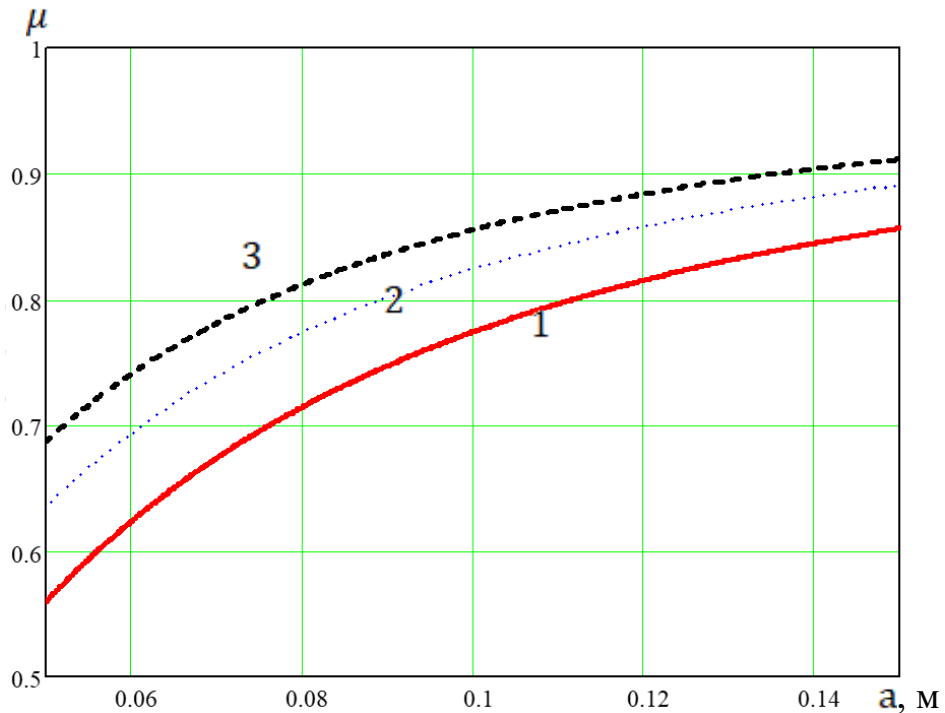


Рис. 4. Залежність коефіцієнта корисної дії дискової борони від глибини обробітку ґрунту: 1 – питомий тяговий опір ґрунту 40 кПа; 2 – питомий тяговий опір ґрунту 60 кПа; 3 – питомий тяговий опір ґрунту 80 кПа; ($P = 1,2$ кН)

Висновки.

1. Тяговий опір дискової борони залежить, як від конструкційних так і технологічних параметрів сферичного диска та швидкості руху МТА.

2. Експлуатаційна вага дискової борони визначається залежно від кількості сферичних дисків та необхідного навантаження для забезпечення раціональної глибини обробітку ґрунту.

3. Коефіцієнт корисної дії дискової борони не залежить від конструкційних та технологічних параметрів роботи сферичного диска.

4. Збільшення коефіцієнта корисної дії дискової борони досягається за рахунок збільшення витрат на роботу сферичного диска і зниженням навантаження на сферичний диск, яке пропорційне зниженню експлуатаційної ваги технічного засобу.

Список використаних джерел

1. Гриценко О. П. Деякі аспекти підвищення ефективності дискових борін. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2005. Вип. № 93. С. 260–263.

2. Гриценко О. П. Теоретичні дослідження стійкості руху асиметричної дискової борони. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2009. Вип. № 93. С. 89–100.



3. Гуков Я. С. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: 05.20.01. Глеваха, 1998. 32 с
4. Гуков Я. С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України. Київ: Нора-Принт, 1999. 280 с.
5. Асиметрична дискова борона: пат. 99016 Україна: МПК А01В 21/08. № а 2010 13465; заявлено 12.11.2010; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13.
6. Зубець М. та ін. Актуальні проблеми технічної політики в аграрному секторі України. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2005. 77 с.
7. Адамчук В. В. та ін. Теорія стійкого руху дискової борони. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2021. Вип. 14(113). С. 10-22. <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2021-14-1>.
8. Горячкин В. П. Общий курс земледельческих машин и орудий. Москва: Типолит. Рихтер, 1904. 157 с.
9. Дискове ґрунтообробне знаряддя: пат. №90803 Україна: МПК А01В5/00. №а200812975; заявлено 25.02.2009; опубл. 25.05.2010, Бюл. № 10.
10. Bulgakov V., Pascuzzi S., Ivanovs S. & Volskyi V. Experimental investigations in draft resistance of spherical working tool of disk harrow. *Engineering Rural Device*. 2019. Vol. 18. P. 144–152. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N171>
11. Nadykto V., Arak M., Olt J. Theoretical research into the frictional slipping of wheel-type undercarriage taking into account the limitation of their impact on the soil. *Agronomy Research*. 2015. Vol.13. P. 148–157. https://agronomy.emu.ee/wpcontent/uploads/2015/05/13_1_18_B5.pdf#abstract-3344 (дата звернення 14.08.2023).
12. Bulgakov V., Pascuzzi S., Nadykto V., Ivanovs S. A mathematical model of the plane-parallel movement of an asymmetric machine-and-tractor aggregate. *Agriculture*. 2018. № 8(10). P. 151. <https://doi.org/10.3390/agriculture8100151>.
13. Лінник М. К., Вольський В. А., Коцюбанський Р. В. До питання щодо прийнятого напрямку різання ґрунту сферичним диском. *Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК*: зб. тез доповідей VII-ї міжнар. наук. конф. (04-07 червня 2019 року). Київ, 2019. С. 124-127.
14. Вольський В. А. Результати досліджень щодо уточнення процесу різання ґрунту сферичним дисковим робочим органом. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2019. Вип. 9 (108). С. 30-36.



15. Вольський В. А. Математична модель для визначення кута різання при взаємодії сферично-дискового робочого органа з ґрунтом. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2011. Вип. 95. С. 80–91.

16. Sheichenko V., Volskyi V., Kotsiubanskyi R., Dnes V., Shevchuk M., Bilovod O., Drozhchana O. Design of a roll crusher for sunflower stems and substantiation of the rational modes of its operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. № 6/1(114). P. 28–37. <https://doi:10.15587/1729-4061.2021.244903>

17. Bulgakov V., Aboltins A., Beloiev H., Nadykto V., Kyurchev V., Adamchuk V. & Kaminskiy V. Experimental investigation of plow-chopping unit. *Agriculture (Switzerland)*. 2021. № 11(1). P. 1–14. <https://doi:10.3390/agriculture11010030>

18. Nadykto V., Ivanov S. & Kistechok O. Investigation of the draft-and-power, and agrotechnical indicators of the work of a ploughing aggregate, created according to the scheme ‘push-pull’. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. 2017. Vol. 62. P. 136–139.

19. Bohatyrov D. V., Salo V. M., Leshchenko S. M., Machok Yu. V. Eksperymentalni doslidzhennia vplyvu shvydkosti rukhu kotkapodribniuvacha na yakist podribnennia roslynnykh reshtok kukurudzy. *Silskohospodarski mashyny*. 2015. Vol. 31. P. 10–17.

20. Бойко А. І., Свірець М. О., Шмат С. І., Ножнов М. М. Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин. Київ, 2003. 203 с.

21. Bulgakov V., Olt J., Kuvachov V. et al. A theoretical and experimental study of the traction properties of agricultural gantry systems. *Agraarteadus: Journal of Agricultural Science*. 2020. № XXXI (1). P. 10–16.

Стаття надійшла до редакції 07.09.2023 р.

O. Gritsenko¹, S. Stepanenko¹

¹Institute of mechanics and automatics of agroindustrial production of the national academy of agrarian sciences of Ukraine

INVESTIGATION OF THE COEFFICIENT OF THE USEFUL EFFECT OF A DISK HARROW FROM THE LOAD ON SPHERICAL DISC

Summary.

Disc harrows with a row arrangement of spherical discs on an individual axis are widely used in resource-saving technologies for soil preparation for sowing. The working bodies of disc harrows, discs - are not clogged with plant residues and soil.

One of the quality indicators of the disk harrow's work, as indicated by well-known scientists in the field of soil cultivation, is the efficiency factor. It was



established that the traction resistance of the disc harrow depends on both the structural and technological parameters of the spherical disc and the speed of the MTA.

The conducted studies substantiated that the operational weight of a disc harrow is determined depending on the number of spherical discs and the required load to ensure a rational depth of soil cultivation. In the course of theoretical studies, it was established that the efficiency of the disk harrow does not depend on the design and technological parameters of the spherical disk.

Mathematical models have been developed that establish the relationship between the structural and technological parameters of the spherical disk and prove that the increase in the efficiency of the disk harrow is achieved by increasing the costs of the spherical disk and reducing the load on the spherical disk, which is proportional to the decrease in the operating weight of the technical tool. It was established that at constant values of the specific traction resistance of the soil, the value of the traction resistance remains unchanged. Reducing the load on the spherical disk from 1.2 to 0.6 kN leads to a proportional decrease in operating weight and a decrease in the cost of manufacturing disk harrows. It should be noted that with a decrease in the operational weight of the disc harrow, at unchanged values of costs for cutting, crushing and discarding the soil sliver, an increase in the efficiency factor will be observed. The analysis of graphical dependencies shows that at constant values of the load on the spherical disk and the unchanged operating weight of the disk harrow, under the conditions of an increase in the specific resistance of the soil, the amount of traction resistance increases, which leads to an increase in the efficiency of the disk harrow with spherical disks.

Keywords: Harrow, machine-tractor unit, traction resistance, spherical disk diameter, operating weight, efficiency factor, operational weight, costs, soil tillage depth.