

УДК 631.313

Результати досліджень щодо уточнення процесу різання ґрунту сферичним дисковим робочим органом

Вольський В. А.

к.т.н., Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»; ORCID iD 0000-0002-7639-4216,
e-mail: vladimir_volskiy@ukr.net, тел.: (+380) 97-740-80-72

Анотація

Мета. Уточнити величину і напрямок різання ґрунту з урахуванням впливу координат миттєвого центра диска на повертання його діаметра в мить розташування його у вертикальному положенні.

Методи. Використані положення фізики, теоретичної механіки та опору матеріалів.

Результати. Встановлено вплив координат розташування миттєвого центра диска на кут різання ґрунту точками леза диска та векторів їхньої траєкторії в ґрунтовому середовищі, що дозволяє більш точно визначати величину кута різання ґрунту залежно від параметрів і режимів роботи сферичного дискового робочого органа, а його найменшу можливу величину використано як критерій оцінки у виборі й обґрунтуванні раціональних параметрів і режимів роботи дискових борін. Встановлено, що кут різання ґрунту $\gamma_{\text{різ}}$ збільшується зі зменшенням кута нахилу диска β та збільшенням кута атаки α' .

Висновки

1. Уточнено напрямок переміщення точок леза диска в ґрунтовому середовищі завдяки повертання діаметра диска в мить його вертикального розташування під впливом координат миттєвого центра, що підтверджується профілем формування dna борзни вирізним диском робочого органа.

2. Одержано уточнену залежність для визначення кута різання ґрунту точками леза сферичного дискового робочого органа, яка об'єднує всі його параметри і найменшу можливу величину кута різання ґрунту, і доцільність її використання у виборі й обґрунтуванні раціональних параметрів робочих органів дискової борони.

Ключові слова: ґрунт, ґрунтове середовище, сферично-дисковий робочий орган, точки леза диска, швидкість руху точок леза диска, кут різання ґрунту, кут атаки, кут нахилу диска до вертикалі.

UDC 631.313

The results of research to clarify the process of cutting soil spherical disk working body

Volsky V. A.,

Ph.D., National Science Center "Institute of agricultural engineering and electrification", e-mail: vladimir_volskiy@ukr.net, phone: + 38097-740-80-72

Annotation

Purpose. Clarify the size and direction of cutting the soil, taking into account the influence of the coordinates of the instantaneous center of the disk on the rotation of its diameter at the time of its location in a vertical position.

Methods. Using the provisions of physics, theoretical mechanics and resistance of materials.

Results. The influence of the coordinates of the location of the instantaneous center of the disk on the angle of cutting of the soil by the points of the blade of the disk and the vectors of their trajectory in the soil medium is established, which makes it

possible to more accurately determine the value of the angle of cutting of the soil depending on the parameters and operating modes of the spherical disk working body, and its smallest possible value was used in as an evaluation criterion in the selection and justification of rational parameters and operating modes of disk harrows. It has been established that the cutting angle γ_{cut} increases with decreasing angle of inclination of the disk β and an increase in the angle of attack α' .

Conclusions

1. The direction of movement of the points of the blade of the disk in the soil medium

is clarified due to the rotation of the diameter of the disk at the moment of its vertical location under the influence of the coordinates of the instant center, this is confirmed by the profile of the formation of the bottom of the furrow with a notched disk of the working body.

2. A refined dependence is obtained for determining the angle of soil cutting by the points of the blade of a spherical disk working body, which combines all its parameters and the smallest possible

value of the angle of soil cutting, and the expediency of its use in the selection and justification of rational parameters of the working bodies of the disk harrow.

Keywords: soil, soil environment, the spherical disc working body, the points of the blade of the disk, the speed of movement of points of the blade of the disk, the cutting angle of the soil, the angle of attack, the angle of inclination of the disk to the vertical.

УДК 631.313

Результаты исследований по уточнению процесса резания почвы сферическим дисковым рабочим органом

Вольский В. А.,

к.т.н., Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»,

e-mail: vladimir_volskiy@ukr.net, тел.: + 38097-740-80-72

Аннотация

Цель. Уточнить величину и направление резания почвы с учетом влияния координат мгновенного центра диска на поворачивание его диаметра в момент расположения его в вертикальном положении.

Методы. Используются положения физики, теоретической механики и сопротивления материалов.

Результаты. Установлено влияние координат местоположения мгновенного центра диска на угол резания грунта точками лезвия диска и векторов их траектории в почвенной среде, что позволяет более точно определять величину угла резания грунта в зависимости от параметров и режимов работы сферического дискового рабочего органа, а его наименьшую возможную величину использовано в качестве критерия оценки в выборе и обосновании рациональных параметров и режимов работы дисковых борон. Установлено, что угол резания почвы $\gamma_{рез}$ увеличивается с уменьшением угла наклона диска β и увеличением угла атаки α' .

Выводы

1. Уточнено направление перемещения точек лезвия диска в почвенной среде благодаря вращению диаметра диска в момент его вертикального расположения под влиянием координат мгновенного центра, это подтверждается профилем формирования дна борозды вырезным диском рабочего органа.

2. Получена уточненная зависимость для определения угла резания почвы точками лезвия сферического дискового рабочего органа, которая объединяет все его параметры и наименьшую возможную величину угла резания почвы, и целесообразность ее использования при

выборе и обосновании рациональных параметров рабочих органов дисковой бороны.

Ключевые слова: почва, почвенная среда, сферический дисковый рабочий орган, точки лезвия диска, скорость движения точек лезвия диска, угол резания почвы, угол атаки, угол наклона диска к вертикали.

Постановка проблемы. Раніше прийнятій напрямком різання ґрунту за повздожнім напрямком руху диска підлягає сумніву щодо його вірності й не дозволяє одержати зображення дискового робочого органа в контакті з ґрунтом [1–8]. Було виявлено й обґрунтовано напрямок переміщення точок леза диска як ріжучого профілю вбік до повздожнього напрямку руху диска, що відбувається завдяки зміні кута атаки від α до нуля і в подальшому збільшення цього кута від нуля до α в процесі обертання диска навколо осі [9, 10]. На основі цього була виведена спрощена формула для визначення кута різання ґрунту в процесі роботи диска. Проте в цій формулі не враховано вплив координат розміщення миттєвого центра на повертання діаметра диска в мить його вертикального розташування. Водночас спостерігається збільшення швидкості руху точок леза цього диска. Виконання досліджень із визначення впливу координат розміщення цього миттєвого центра на повертання діаметра диска і на кут різання ґрунту точками леза диска та їхніх векторів траєкторії руху в ґрунтового

середовищі дозволяє більш точно визначати його величину залежно від параметрів і режимів роботи сферичного дискового робочого органа. А його величину можна використовувати як критерій оцінки у виборі й обґрунтуванні раціональних параметрів і режимів роботи для удосконалення конструкції дискових борін, що дозволить практично знизити затрати енергії на процес різання під час обробітку ґрунту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виявлений і обґрунтований у першому наближенні напрямок руху точок леза диска дозволив одержати формули для визначення кута різання ґрунту залежно від параметрів і режимів роботи сферичного дискового робочого органа [9, 10]. Цей напрямок скерований убік від осьової лінії проти напрямку руху диска. На основі цього передбачення виведена формула визначення величини кута різання в момент розташування точки леза диска за максимального її заглиблення, а також загальна формула, коли точка леза диска знаходиться в будь-якому іншому місці ґрунтового середовища. Слід відзначити, що ці формули одержані за

припущення, що точки леза диска переміщуються поперек, тобто перпендикулярно напрямку руху диска без урахування відхилення їх напрямку проти повздовжнього руху диска. Таке припущення впливає на оцінку напрямку руху точки леза і кут різання ґрунту.

Мета досліджень. Уточнити величину і напрямок різання ґрунту з урахуванням впливу координат миттєвого центра диска на повертання його діаметра в мить розташування його у вертикальному положенні.

Методи досліджень. Використані положення фізики, теоретичної механіки та опору матеріалів.

Результати досліджень. Розглянемо більш детально зміну переміщення точок леза диска з урахуванням впливу координат його розташування миттєвого центра на повертання діаметра диска в мить його вертикального розташування в ґрунтовому середовищі. На рисунку 1 показано поперечний перетин диска в контакт з ґрунтом (рис. 1, а) та наведена схема напрямків руху точок диска (рис. 1, б).

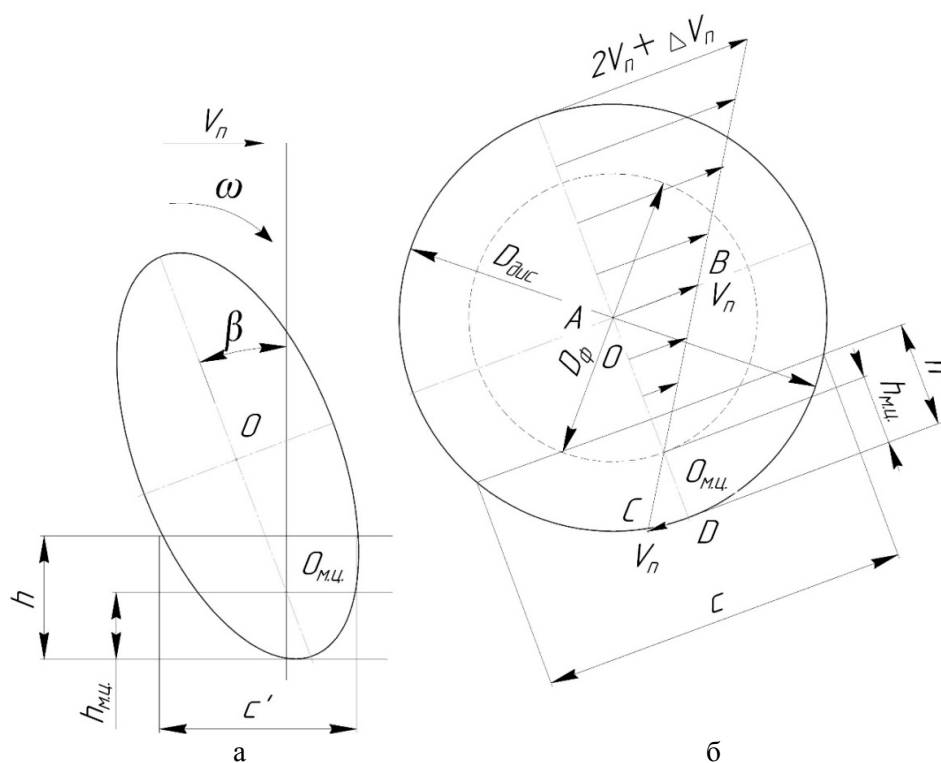


Рис. 1. Схема напрямків руху точок диска:
 а – поперечний перетин диска; б – схема швидкостей у площині руху точок диска
Fig. 1. Scheme of motion directions of disk points:
 а – cross section of disk; б – circuit of speeds in the motion plane of disk points

Довжина хорди сегмента в площині диска дорівнює:

$$c = D_{\text{disc}} \sin \left[\arccos \left(1 - \frac{2h}{D_{\text{disc}}} \right) \right],$$

де c – довжина хорди сегмента в площині диска, м;
 D_{disc} – діаметр диска, м;
 h – глибина дискування ґрунту, м.

З урахуванням кута атаки α і кута нахилу β диска до вертикалі довжина цієї хорди поперечного перетину шару ґрунту дорівнює:

$$c' = D_{\text{disc}} \left\{ \sin \alpha \cdot \sin \left[\arccos \left(1 - \frac{2h}{D_{\text{disc}} \cdot \cos \beta} \right) \right] \right\}.$$

Зрозуміло, що точки леза диска розміщуються в площині диска, яка постійно знаходиться під кутом атаки α диска. Проте для точок леза диска щодо горизонтальної повздовжньої осьової лінії руху в процесі обертання диска кут атаки постійно змінюється. У разі обертання диска на 90° кут α змінюється від α до 0° . Нульова величина α для точок леза диска спостерігається у верхньому і нижньому положеннях діаметра диска в мить його вертикального розташування. У зоні контакту з ґрунтом точки леза диска не переміщуються вперед по ходу руху диска, не маючи можливості подолати реакцію сили опору ґрунту. Навпаки, завдяки впливу координат його розташування миттєвого центра $O_{\text{м.ц.}}$ на повертання діаметра диска в мить його вертикального розташування, точки його леза частково переміщуються назад зі швидкістю ΔV_n , яку можна визначити з відношення сторін подібних трикутників $ABO_{\text{м.ц.}}$ і $CDO_{\text{м.ц.}}$ (рис. 1, б):

$$\frac{AB}{AO_{\text{м.ц.}}} = \frac{CD}{DO_{\text{м.ц.}}},$$

звідки знаходимо:

$$CD = \frac{AB \cdot DO_{\text{м.ц.}}}{AO_{\text{м.ц.}}},$$

де $CD = \Delta V_n$, $AB = V_n$.

Оскільки $AO_{\text{м.ц.}} = \frac{1}{2} D_{\text{disc}} - h_{\text{м.ц.}}$, $DO_{\text{м.ц.}} = h_{\text{м.ц.}}$, то в результаті одержуємо формулу:

$$\Delta V_n = \frac{V_n \cdot h_{\text{м.ц.}}}{0,5 \cdot D_{\text{disc}} - h_{\text{м.ц.}}},$$

де V_n – швидкість повздовжнього руху диска, тобто його осі обертання, м/с;

$h_{\text{м.ц.}}$ – висота розміщення миттєвого центра, м.

Отже, вектор $\Delta V_n'$ складової швидкості ΔV_n , спрямований проти напрямку руху V_n диска, дорівнює:

$$\Delta V_n' = - \frac{V_n \cdot h_{\text{м.ц.}} \cdot \cos \alpha}{0,5 \cdot D_{\text{disc}} - h_{\text{м.ц.}}}, \quad (1)$$

а вектор за напрямком бокового переміщення цієї точки леза диска $\Delta V_n''$ становить:

$$\Delta V_n'' = - \frac{V_n \cdot h_{\text{м.ц.}} \cdot \sin \alpha}{0,5 \cdot D_{\text{disc}} - h_{\text{м.ц.}}}. \quad (2)$$

Висоту розміщення миттєвого центра $O_{\text{м.ц.}}$ на вертикальній лінії, що проходить через вісь обертання, можна визначити за формулою:

$$h_{\text{м.ц.}} = \frac{1}{2} \left(D_{\text{disc}} - \frac{L}{\pi n_d} \right),$$

де n_d – кількість обертів диска на відстані L ;
 L – довжина ділянки поля, на якій експериментально визначається n_d , м.

Величина $L/\pi n_d$ дорівнює фіктивному діаметру D_ϕ центральної частини диска, на якій точки диска обертаються по траєкторії у вигляді циклоїди:

$$D_\phi = \frac{L}{\pi n_d}.$$

На основі розгляду поперечного діаметрального перетину (рис. 1, а) в місці найглибшого розташування точки D з урахуванням кута загострення леза диска i та заднього кута різання диска ε маємо кут різання $\gamma_{\text{різ}}$ ґрунту (рис. 2), що визначається за формулою [9, 10]:

$$\gamma_{\text{різ}} = 90^\circ - \frac{\varphi_{\text{сф}}}{2} - \beta, \quad (3)$$

де $\varphi_{\text{сф}}$ – кут сферичності диска, який визначається за формулою [1]:

$$\varphi_{\text{сф}} = 2 \arcsin \frac{D_{\text{disc}}}{2 \cdot R_{\text{сф}}},$$

де $R_{\text{сф}}$ – радіус сферичності диска, м;

β – кут нахилу диска до вертикалі, град.

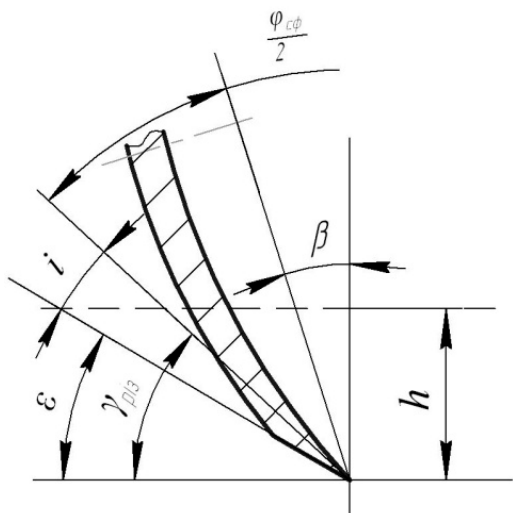


Рис. 2. Фрагмент поперечного вертикального перетину заглибленого диска

Fig. 2. Fragment cross-section of the in-depth disk

У цьому положенні для точки леза диска кут атаки $\alpha = 0$. Якщо розглядати перетин у горизонтальній площині на рівні максимального заглиблення диска, то в точці D можна спостерігати напрямок переміщення точки леза диска, рух якої скерований під кутом атаки α (рис. 3).

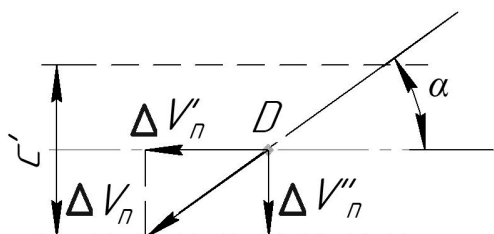


Рис. 3. Схема напрямків векторів прискорення швидкості руху точки леза диска в ґрунтовому середовищі

Fig. 3. Diagram of the directions vectors of acceleration speed of movement of a disk blade point in the soil environment

За формулами (1), (2) величини ΔV_n , $\Delta V'_n$, $\Delta V''_n$ залежать від висоти розміщення $h_{м.ц.}$, яка залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту і швидкості руху диска V_n .

Наочно можна переконатися в тому, що напрямок руху точок леза диска дійсно є таким, який спостерігається на профілі дна борозни після проходження диска, лезо якого має вирізи (рис. 4).



Рис. 4. Профіль дна борозни після проходження вирізного диска

Fig. 4. Profile bottom of the furrow after the passage of the cutting disk

Під час максимального заглиблення точка леза диска як ріжучого профілю має найменший кут різання ґрунту (рис. 2, формула (3)). В інших місцях контакту точок леза диска з ґрунтом завдяки зміні їхнього кута атаки α кут β також частково зменшується ($\beta' = \beta \cdot \cos \alpha$) і відповідно кут різання $\gamma_{різ}$ збільшується. Це відбувається в межах сегмента контакту точок леза диска з ґрунтом.

Кут обертання диска ωt від горизонтальної лінії на рівні осі обертання до початку контакту з ґрунтом дорівнює [10]:

$$\omega t = 90^\circ - \arccos \left(1 - \frac{2h}{D_{\text{дис}}}, \right),$$

де ω – кутова швидкість обертання диска, рад/с⁻¹;

t – час обертання диска, с.

З врахуванням кута нахилу β диска ωt дорівнює [10]:

$$\omega t = 90^\circ - \arccos \left(1 - \frac{2h}{D_{\text{дис}} \cdot \cos \beta} \right).$$

За стабільної швидкості руху диска V_n зміна кута атаки α в межах від α до нуля здійснюється пропорційно зміні кута обертання диска і визначається за формулою:

$$\alpha' = \alpha - \alpha \left[1 - \frac{\arccos \left(1 - \frac{2h}{D_{\text{дис}} \cdot \cos \beta} \right)}{90} \right].$$

Загальна формула для визначення кута різання ґрунту $\gamma_{\text{різ}}$ у будь-якому місці розташування точки леза в межах контакту з ґрунтом має такий вигляд:

$$\gamma_{\text{різ}} = 90^\circ - \arcsin \frac{D_{\text{диск}}}{2 \cdot R_{\text{сф}}} - \beta \cdot \cos \left\{ \alpha \left[1 - \frac{90 - \arccos \left(1 - \frac{2h}{D_{\text{диск}} \cdot \cos \beta} \right)}{90^\circ} \right] \right\}.$$

Отже, кут різання ґрунту $\gamma_{\text{різ}}$ збільшується завдяки зменшенню кута нахилу диска β від впливу зміни кута атаки α .

Висновки

1. Уточнено напрямок переміщення точок леза диска в ґрунтовому середовищі завдяки повертанню діаметра диска в мить його вертикального розташування під впливом координат миттєвого центра, що підтверджується профілем формування дна борозни вирізним диском робочого органа.

2. Одержано уточнену залежність для визначення кута різання ґрунту точками леза сферичного дискового робочого органа, яка об'єднує всі його параметри і найменшу можливу величину кута різання ґрунту, і доцільність її використання у виборі й обґрунтуванні раціональних параметрів робочих органів дискової борони.

Бібліографія

1. Синеоков Г. Н. Дисковые рабочие органы почвообрабатывающих машин. Теория и расчет. М.: Mashgiz, 1949. 86 с.
2. Taylor P. A. Field measurement of forces and moments on wheat land plow disk. *Transaction of ASAE*. 1967. Vol. 10. No. 6. Pp. 762–768, 770.
3. Нартов П. С. Дисковые почвообрабатывающие орудия. Воронеж: Издательство ВГУ, 1972. 184 с.
4. Лучинский Н. Д. Воздействие почвы на плоский и сферический диск. *Доклады ВАСХНИЛ*. 1976. № 11. С. 40–42.
5. Стрельбицкий В. Ф. Дисковые почвообрабатывающие машины и орудия. М.: Машиностроение, 1978. 135 с.
6. Канарев Ф. М. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия. М.: Машиностроение, 1983. 142 с.
7. Кушнарев А. С., Кушнарев С. А. Дискатор – новое техническое решение на рынке почвообрабатывающей техники. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2011. № 6. С. 35–37.
8. Дискатор – новое почвообрабатывающее орудие, обеспечивающее переход от традиционной технологии производства сельскохозяйственной продукции к энергосберегающей технологии No-till / А. С. Кушнарев, Н. И. Милют-

кин, Н. И. Есьмян и др. Белая Церковь – Кинель, 2010. 65 с.

9. Пат. № 77248 Україна, А 01 В 5/00. Спосіб визначення величини кута різання ґрунту ґрунтообробним сферично-дисковим робочим органом / М. П. Романенко, Б. П. Польовий, В. А. Вольський, С. М. Дудак. № u 2012 07847 А 01 В 5/00; заявл. 26.06.2012; опубл. 11.03.2012, Бюл. № 3.

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

Bibliografia

1. Sineokov G. N. Diskovyye rabochiye organy pochvoobrabatyvayushchikh mashin. Teoriya i raschet. Moscow: Mashgiz, 1949. 86 s.
2. Taylor P. A. Field measurement of forces and moments on wheat land plow disk. *Transaction of ASAE*. 1967. Vol. 10. No. 6. Pp. 762–768, 770.
3. Nartov P. S. Diskovyye pochvoobrabatyvayushchiye orudiya Voronezh: Izdatel'stvo VGU, 1972. 184 s.
4. Luchinskiy N. D. Vozdeystviye pochvy na ploskiy i sfericheskiy disk. *Doklady VASKHNIL*. 1976. № 11. S. 40–42.
5. Strelbitskiy V. F. Diskovyye pochvoobrabatyvayushchiye mashiny i orudiya. Moscow: Mashinostroyeniye, 1978. 135 s.
6. Kanarev F. M. Rotatsionnyye pochvoobrabatyvayushchiye mashiny i orudiya. Moscow: Mashinostroyeniye, 1983. 142 s.
7. Kushnarev A. S., Kushnarev S. A. Diskator – novoye tekhnicheskoye resheniye na rynke pochvoobrabatyvayushchey tekhniki. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2011. № 6. S. 35–37.
8. Diskator – novoye pochvoobrabatyvayushcheye orudiye, obespechivayushcheye perekhod ot traditsionnoy tekhnologii proizvodstva sel'skokhozyaystvennoy produktsii k energosberegayushchey tekhnologii No-till / A. S. Kushnarev, N. I. Milyutkin, N. I. Yes'myan i dr. Belaya Tserkov' – Kinel', 2010. 65 s.
9. Pat. № 77248 Ukraїna, A 01 V 5/00. Sposib viznachennya velichini kuta rizannya ґruntu

ğruntoobrobnim sferichno-diskovim robochim organom / M. P. Romanenko, B. P. Pol'oviy, V. A. Vol'skiy, S. M. Dudak. № u 2012 07847 A 01 V 5/00; zayavl. 26.06.2012; opubl. 11.03.2012, Byul. № 3.

10. Vol'skiy V. A. Matematichna model' dlya viznachennya kuta rizannya pri vzaemodii sferichno-diskovogo robochogo organu z ġruntom. *Mekhanizatsiya ta yelektrifikatsiya sil'skogo gospodarstva*. Glevakha, 2011. Vip. 95. S. 80–91.

References

1. Sineokov G. N. Disc working bodies of tillage machines. Theory and calculation. Moscow: Mashgiz, 1949. 86 p.
2. Taylor P. A. Field measurement of forces and moments on wheat land plow disk. *Transaction of ASAE*. 1967. Vol. 10. No. 6. Pp. 762–768, 770.
3. Nartov P. S. Disc tillage tools. Voronezh: VSU Publishing House, 1972. 184 p.
4. Luchinsky N. D. Impact of soil on a flat and spherical disk. *Reports of the Academy of Agricultural Sciences*. 1976. No. 11. Pp. 40–42.
5. Strelbitsky V. F. Disc tillage machines and tools. Moscow: Mechanical Engineering, 1978. 135 p.
6. Kanarev F. M. Rotary tillage machines and implements. Moscow: Mechanical Engineering, 1983. 142 p.
7. Kushnarev A. C., Kushnarev S. A. Diskator – new technical solution in the market of tillage equipment. *Agricultural machinery and technology*. 2011. No. 6. Pp. 35–37.
8. Diskator is a new tillage tool that provides a transition from the traditional technology of agricultural production to energy-saving No-till technology / A. S. Kushnarev, N. I. Milyutkin, N. I. Esmyan and others. White Church – Kinel, 2010. 65 p.
9. Pat. № 77248 Ukraine, A 01 B 5/00. The value of the magnitude of the kuta is rendered to the ground by a second spherical-disk working organ / M. P. Romanenko, B. P. Poloviy, V. A. Volsky, S. M. Dudak. № u 2012 07847 A 01 B 5/00; declare 06/26/2012; publ. 11.03.2012, Bull. No. 3.
10. Volsky V. A. Mathematic model for the designation of the kuta rizannya when interacting with a spherical-disk working body with a shank. *Mechanism that electrification of the state government*. Glevakha, 2011. Issue 95. Pp. 80–91.