

**Гриценко О. П.**

наук. співробітник

Степаненко С. П.

Д.Т.Н., С.Н.С.

Насонов В. А.

К.Т.Н.

Говоров О. Ф.

К.Т.Н., С.Н.С.

**Інститут механіки та
автоматики
агропромислового
виробництва
Національної академії
аграрних наук України**

Gritsenko O.

Researcher

Stepanenko S.

Dr.Tech. Sc.

Nasonov V.

Ph.D

Govorov O.

Ph.D., Senior Research Fellow

**Institute of mechanics and
automatics
of agroindustrial production
of the National Academy of
Agrarian Sciences of
Ukraine**

УДК 631.313.6**DOI: 10.37128/2306-8744-2023-3-1**

АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ АСИМЕТРИЧНОЇ ДИСКОВОЇ БОРОНИ

Проаналізувавши технології передпосівної підготовки поля слід зробити висновок, що ґрунт перед посівом обробляють культиваторами, дисковими, зубовими та голчастими боронами, а також ґрунтообробними котками. Прикочування перед посівом забезпечує руйнування грудок ґрунту, а також часткове вирівнювання поверхні поля. Однак завдання якісної підготовки поля до посіву із застосуванням дискових борін в даний час вирішено недостатньо, тому необхідно обґрунтувати раціональні конструкційні параметри асиметричної дискової борони, що містить робочі органи, які включають, зокрема, сферичні диски.

Слід також відмітити наступне, якщо борона призначена для використання на більш твердому, наприклад, чорноземному ґрунті, то штанга приєднується до отвору більш віддаленому від осі повороту двоплечового важеля, що забезпечує віддалення причіпного пристрою від середньої лінії борони, що обумовлює збереження її зрівноваження при роботі на такому ґрунті.

Розглянуто процес прямолінійного руху та обертання сферичних дисків з деяким радіусом R , у ґрунті на глибині h , які встановлено під різними кутами до напрямку руху борони. В роботі розглянуто зіткнення сферичних дисків з рештками стерні, подрібненої соломи, встановлено що сферичні диски повинні затискати між загостреною ріжучою кромкою та ґрунтом і розрізати їх.

Встановлено, що для гарантованого обертання сферичного диска у ґрунті з мінімальним проковзуванням і опором коченню необхідно обґрунтувати його діаметр. Так як сферичний диск для обробки ґрунту встановлений під кутом атаки α , до напрямку руху борони, то в поздовжньо-вертикальній площині проекція сферичного диска є еліпс з півосями.

Теоретично обґрунтовано раціональний діаметр сферичного диска дискової асиметричної борони за умов її обертання в ґрунті з мінімальними значеннями ковзання та опором коченню, а також якісним процесом різання ґрунту, стерні та зміщенням ґрунту. Встановлено, що раціональні значення діаметра сферичного диска дискової асиметричної борони залежить від глибини h обробки ґрунту, кута атаки α та фізико-механічних властивостей ґрунту.

Ключові слова: сферичний диск, ґрунт, асиметрична дискова борона, діаметр, глибини обробки ґрунту, кут атаки.

Вступ Проаналізувавши відомі технології підготовки поля, можна зробити висновок, що ґрунт перед посівом обробляють різними технічними засобами, найбільш розповсюджені на території нашої держави:

культиватори, дискові, зубові і голчасті борони, а також ґрунтообробні котки [1-6, 8-12, 14-25].

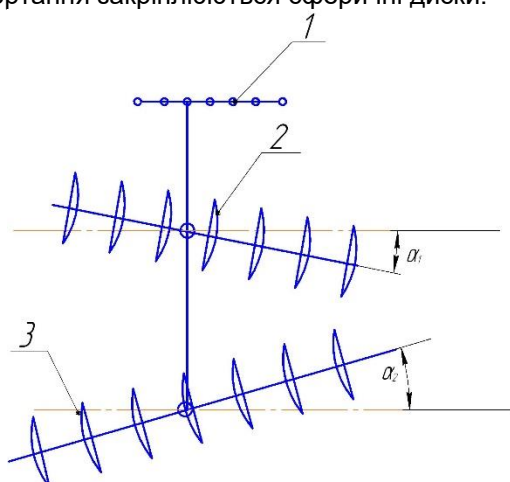
Слід відмітити, що завдання якісної підготовки поля до посіву із застосуванням асиметричних дискових борін, які поєднують у



собі різні принципи впливу на ґрунт, в даний час досліджено не достатньо. Отже, необхідно обґрунтувати раціональні конструкційні параметри асиметричної дискової борони зі сферичними дисками для обробітку ґрунту.

Об'єкти та методи досліджень. З метою підвищення якості обробітку ґрунту, розпушення ґрунту і забезпечення зароблення у ґрунт стерні, подрібненої соломи і органічних добрив в ІМА АПВ НААН розроблено універсальне знаряддя для обробки ґрунту [1, 2, 5, 8]. Універсальність полягає в тому, що його можна використовувати в комбінації з культиваторами, зерновими сівалками і агрегатами для безвідвальної обробки ґрунту.

Знаряддя для обробітку ґрунту (рис. 1) включає: причіпний пристрій 1; передню батарею 2; задню батарею 3 на яких на одній вісі обертання закріплюються сферичні диски.



1 – причіпний пристрій; 2 – передня батарея; 3 – задня батарея; 4 - компенсатор

Рис. 1. Схема асиметричної дискової борони.

Задачею дослідження є встановлення взаємозв'язку між асиметричною дисковою бороною, в якій шляхом встановлення кінематичного зв'язку між причіпним пристроєм і передньою поворотною балкою та при зміні кутів атаки дисків, автоматично переміщується на необхідну відстань і причіпний пристрій. Поставлена задача вирішується завдяки тому, що в асиметричній дисковій бороні рис. 2, яка містить раму, до поперечного бруса котрої одним кінцем, з можливістю переміщення вздовж нього, закріплений причіпний пристрій, причому рама встановлена на опорних колесах, до якої, з можливістю повороту у горизонтальній площині, закріплені дві поворотні балки - передня і задня, котрі розміщені у вигляді літери "V" і до яких приєднані батареї дисків, відповідно до рис. 2., причіпний пристрій кінематично з'єднаний з передньою поворотною балкою, причому кінематичний зв'язок між причіпним пристроєм і

передньою поворотною вилкою виконаний у вигляді шарнірно закріпленого до рами двоплечого важеля, одне плече якого шатуном з'єднане з причіпним пристроєм, а друге штангою, з двома шарнірами на кінцях, приєднане до передньої поворотної балки, а в двоплечому важелі виконано ряд отворів для приєднання штанги до одного із них.

Завдяки такому виконанню асиметричної дискової борони, одночасно зі збільшенням кутів атаки дисків, яке обумовлює зростання поворотного моменту, що діє на борону з боку дисків, за рахунок кінематичного зв'язку між причіпним пристроєм і передньою поворотною балкою, причіпний пристрій автоматично віддаляється від середньої лінії борони і тому відповідно зростає момент, який діє на борону з боку трактора. Тому рівність цих моментів і зрівноваження борони зберігаються.

Слід також відмітити наступне, якщо борона призначена для використання на більш твердому, наприклад, чорноземному ґрунті, то штанга приєднується до отвору більш віддаленому від осі повороту двоплечого важеля, що забезпечує віддалення причіпного пристрою від середньої лінії борони, що обумовлює збереження її зрівноваження при роботі на такому ґрунті.

Приклад реалізації даного процесу наведено на рис. 2., де зображена асиметрична дискова борона (вид зверху).

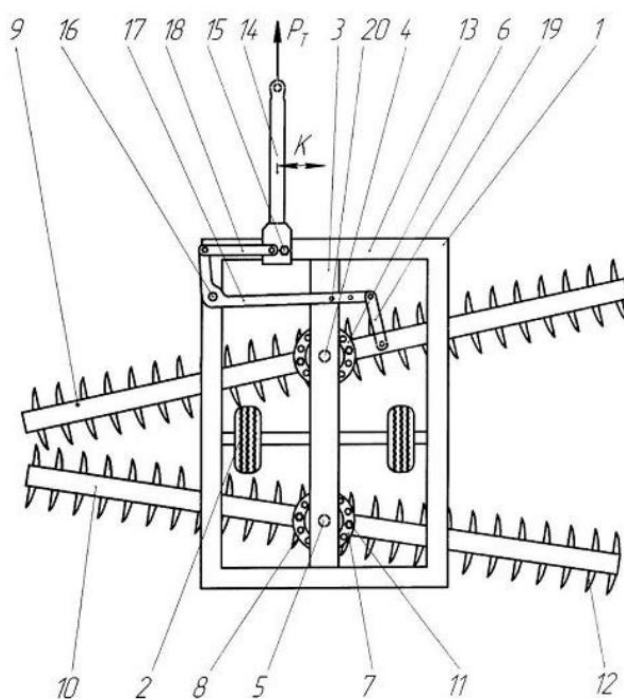
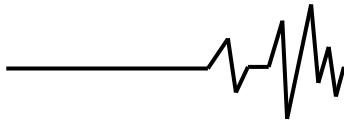


Рис. 2. Конструкційна схема асиметричної дискової борони [5].

Асиметрична дискова борона містить раму 1, яка встановлена на опорних колесах 2, обладнаних пристроєм для переведення



борони в транспортне положення. До середнього бруса 3 рами 1 вертикальними шарнірами 4 і 5 і парами шайб 6 і 7 з отворами 8 закріплені дві поворотних балки 9 і 10, які розміщені у вигляді літери "V". Причому 10 верхні шайби кожної пари 6 і 7 закріплені до середнього бруса 3 рами 1, а нижні до поворотних балок відповідно 9 і 10 і кожна пара шайб з'єднана між собою стяжними болтами 11.

До кожної з балок 9 і 10 приєднана батарея дисків 12, розміщених в один ряд, причому диски 12 переднього і заднього рядів спрямовані у протилежні боки. Таке сполучення батарей дисків 12 з рамою 1 дає можливість шляхом повороту балок 9 і 10 навколо шарнірів 4 і 5, при видалених балках 11 із 15 отворів 8, змінювати кути атаки дисків 12. До поперечного бруса 13 рами 1 закріплений одним кінцем, з можливістю переміщення вздовж цього бруса причіпний пристрій 14, який обладнаний фіксатором 15 для закріплення в заданому положенні і кінематично з'єднаний з передньою поворотною балкою 9. Причому цей, кінематичний зв'язок може бути виконаний гідравлічним у вигляді двох гідроциліндрів, з'єднаних між собою маслопроводами, або механічним.

Механічний 20 зв'язок виконаний у вигляді закріпленого до рами 1 шарніром 16 двоплечого важеля 17, одне плече якого шатуном 18 з'єднане з причіпним пристроєм 14, а його друге плече штангою 19, з двома шарнірами на кінцях, приєднане до передньої поворотної балки 9. Причому, якщо борона розроблена для використання на однотипних ґрунтах, наприклад, тільки на чорноземах, то в двоплечому важелі 17 виконаний лише один отвір 20 для приєднання штанги 19. Якщо ж борона розроблена для використання на ґрунтах трьох типів - сіроземних, чорноземних і глинястих, то отворів 20 виконано три.

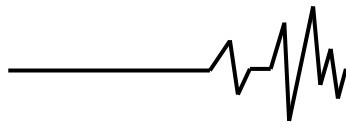
Перед початком роботи борони, в залежності від типу ґрунту, штанга 19 закріплюється до відповідного отвору 20 у важелі 17. Так якщо, наприклад, борона буде використовуватись на найбільш тяжких глинястих ґрунтах, то штанга 19 закріплюється до отвору 20, розміщеного на кінці плеча важеля 17. При цьому, початкова відстань К від причіпного пристрою 14 до середньої лінії борони буде максимальною. В результаті цього поворотний момент, що передається від сили тяги трактора на борону буде максимальним і він буде зрівноважувати підвищений поворотний момент, який буде діяти на борону від опору переміщенню дисків 12 важкого глинястого ґрунту. А якщо борона буде використовуватись на легких супіщаних ґрунтах, то штанга 19 закріплюється до отвору 20, найбільш віддаленого від кінця плеча

важеля 17. При цьому початкова відстань К від причіпного пристрою до середньої лінії борони буде мінімальною але поворотний момент, що діє від сили тяги трактора буде достатнім для зрівноваження меншого моменту, який діє на борону від меншого опору легкого супіщаного ґрунту переміщенню дисків 12.

Після цього, в залежності від необхідної глибини обробітку ґрунту, встановлюються необхідні кути атаки дисків 12. Для цього борона відповідним пристроєм коліс 2 переводиться в транспортне положення, стяжні болти 11 виймаються із отворів 8 пар шайб 6 і 7 і звільняється фіксатор 15. Зусиллям тракториста повороті балки 9 і 10 повертаються навколо шарнірів 4 і 5 на необхідні кути і стяжні болти 11 вставляються в інші отвори 8 (ті, що співпадають), а пари шайб 6 і 7 знову стягуються болтами 11. Причому, при повертанні передньої балки 9 рух через кінематичний зв'язок (штангу 19, двоплечий важіль 17 і шатун 18) передається на причіпний пристрій 14, який автоматично переміщується вздовж бруса 13 на необхідну відстань. При збільшенні кутів атаки дисків 12 відстань К від причіпного пристрою 14 до середньої лінії борони зростає, що забезпечує відповідне збільшення поворотного моменту, що передається від сили тяги трактора на борону, і забезпечує зрівноваження збільшеного за рахунок зростання глибини обробітку ґрунту поворотного моменту, яке діє на борону за рахунок опору ґрунту переміщенню дисків 12. При зменшенні кутів атаки дисків 12 відстань К автоматично зменшується, що також забезпечує рівність цих двох моментів.

Таким чином, під час роботи даної асиметричної дискової борони на різних ґрунтах і при різних кутах атаки дисків 12 зберігається рівність поворотних моментів, який обумовлюється зміщенням сили тяги трактора від середньої лінії борони і від опору ґрунту дискам при їх роботі. Оскільки ці моменти спрямовані у протилежні боки, то сумарний поворотний момент, який діє на борону, буде дорівнювати нулю, тобто при роботі борона повністю врівноважується і працює як симетрична. Одночасно з цим вона значно простіша симетричної, має меншу питому металоємність і забезпечує кращу якість обробітку ґрунту.

Після проходження дискової борони по полю верхній шар ґрунту вирівнюється, має дрібнокомкувату структуру, а максимальний розмір грудок ґрунту не перевищує мінімальних розмірів грудок ґрунту, що допускаються агротехнічними вимогами до передпосівної обробки. Наявність пухкої та дрібнокомкуватої структури у верхньому шарі ґрунту запобігає



винесенню вологи та утворенню тріщин на поверхні поля.

Результати досліджень.

Розглянемо процес прямолінійного руху та обертання сферичних дисків з радіусом R , м, у ґрунті на глибині h , м, і встановлених під кутом α_1 та α_2 до напрямку руху борони повинен відбуватися наступним чином. При зіткненні з рештками стерні, подрібненої соломи сферичні диски повинні затискати між загостреною ріжучою кромкою та ґрунтом і розрізати їх. В цьому випадку кут контакту дисків α з ґрунтом буде кутом защемлення, як наведено на рис. 3.

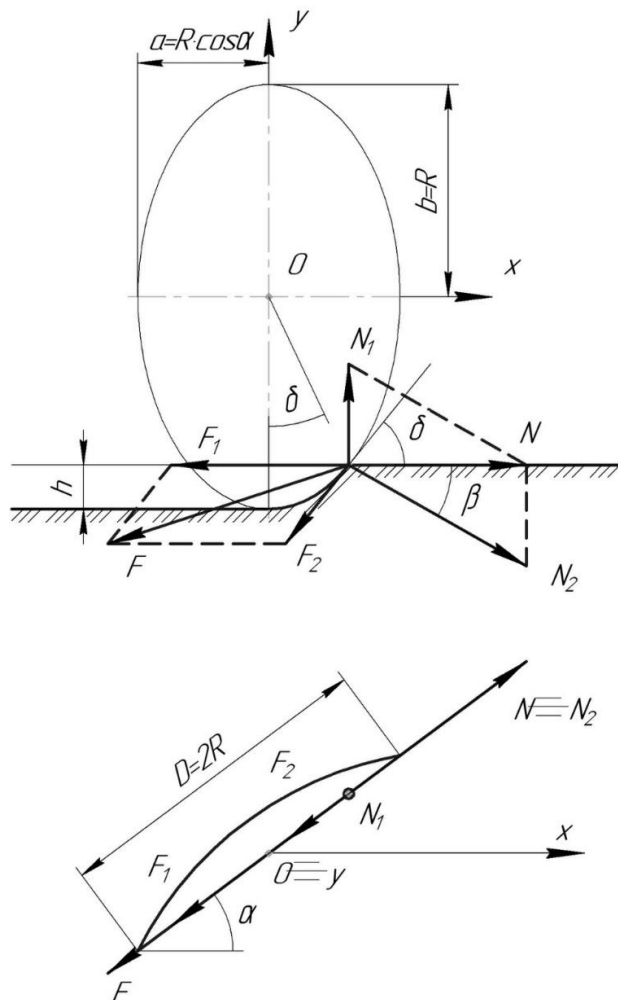


Рис. 3. Схема до визначення діаметра сферичного диска

При взаємодії ріжучої кромки сферичного диска з грудкою ґрунту, або рештками стерні виникають дві нормальні сили: $N_1 = N \cdot \tan \beta$ – сила, яка буде прагнути виштовхнути грудку або соломину, і $N_2 = N / \cos \beta$ – перпендикулярна до загостреної ріжучої кромки, де β – кут між напрямками сил N і N_2 . Результуюча сила $N = N_1 + N_2$, яка буде прагнути виштовхнути грудку з защемлення

загостреної ріжучої кромки сферичного диска і поверхні ґрунту в напрямку осі Ох.

Між поверхнею грудки і поверхнею ґрунту також виникає сила тертя F_1 і сила тертя F_2 між загостреною ріжучою кромкою сферичного диска та ґрунтом. Результуюча сила тертя $F = F_1 + F_2$ буде спрямована у бік, зворотній напрямку обертання сферичного диска борони.

З рис. 3 також впливає, що:

$$F_1 = N_1 \cdot \tan \gamma_1 \quad (1)$$

$$F_2 = N_2 \cdot \tan \gamma_2 \quad (2)$$

де γ_1 – кут тертя між загостреною ріжучою кромкою сферичного диска та грудкою, град.; γ_2 – кут тертя між поверхнею грудки та ґрунтом, град.

Защемлення грудок між загостреними ріжучими кромками сферичного диска і ґрунтом відбуватиметься за умови [7, 13, 20-22]:

$$F_1 + F_2 \cdot \cos \delta \geq N \quad (3)$$

або

$$N_1 \cdot \tan \gamma_1 + N_2 \cdot \tan \gamma_2 \cdot \cos \delta \geq N \quad (4)$$

Підставивши в рівняння (4) сили N_1 і N_2 за умови, що $\beta = 90 - \delta$, отримаємо:

$$\tan \gamma_1 + \tan \gamma_2 \geq 1 \quad (5)$$

Якщо ж: $\tan \gamma_1 + \tan \gamma_2 < 1$, то грудка витіснитиметься з защемлення між загостреною ріжучою кромкою і поверхнею ґрунту.

Для гарантованого обертання сферичного диска у ґрунті з мінімальним проковзуванням і опором коченню необхідно обґрунтувати його діаметр. Так як сферичний диск для обробітку ґрунту встановлений під кутом атаки α , до напрямку руху борони, то в поздовжньо-вертикальній площині проекція сферичного диска є еліпс з півсями R і $(R \cdot \cos \alpha)$.

Як відомо рівняння еліпса виглядає наступним чином:

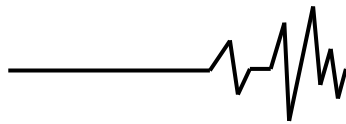
$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (6)$$

де $a = R \cdot \cos \alpha$ – мала вісь еліпса, м; $b = R$ – велика вісь еліпса, м.

З урахуванням геометричних параметрів сферичного диска рівняння (6) набуде вигляду:

$$\frac{x^2}{[R \cdot \cos \alpha]^2} + \frac{y^2}{R^2} = 1 \quad (7)$$

З рівняння (7) визначимо y , тоді:



$$y = \pm \sqrt{R^2 \cdot \left[1 - \frac{x^2}{[R \cdot \cos \alpha]^2}\right]} = \frac{\sqrt{[R \cdot \cos \alpha]^2 - x^2}}{\cos \alpha} \quad (8)$$

Для визначення величини кута δ , який утворений силою N і дотичною лінією до загостреної ріжучої кромки сферичного диска, необхідно про диференціювати вираз (8) по змінній величині x :

$$\tan \delta = \frac{dy}{dx} = \frac{-x}{\cos \alpha \sqrt{[R \cdot \cos \alpha]^2 - x^2}}; \quad (9)$$

$$x = \pm \sqrt{[R \cdot \cos \alpha]^2 \cdot \left[1 - \frac{[R-h]^2}{R^2}\right]} = \pm \cos \alpha \sqrt{R^2 - [R-h]^2} \quad (11)$$

Підставивши формулу (11) у вираз (9), визначимо:

$$\tan \delta = \frac{\pm \cos \alpha \sqrt{R^2 - [R-h]^2}}{\cos \alpha \sqrt{[R \cdot \cos \alpha]^2 - [\pm \cos \alpha \sqrt{R^2 - [R-h]^2}]^2}}; \quad (12)$$

Для визначення величини x необхідно врахувати, що в точці контакту загостреної ріжучої кромки сферичного диска з грудкою ґрунту $y = -[R-h]$.

Підставивши значення y до виразу (7), отримаємо:

$$\frac{x^2}{[R \cdot \cos \alpha]^2} + \frac{[R-h]^2}{R^2} = 1 \quad (10)$$

Виразивши з формули (10) змінну величину x , отримаємо:

Піднесемо до другого степеня праву і ліву частини рівняння (12) і враховуючи, що $\tan \delta = \tan \gamma_1 + \tan \gamma_2$, отримаємо квадратичне рівняння:

$$[\tan \delta]^2 \cdot [R \cdot \cos \alpha]^2 - [\pm \cos \alpha \sqrt{R^2 - [R-h]^2}]^2 = R^2 - [R-h]^2 \quad (13)$$

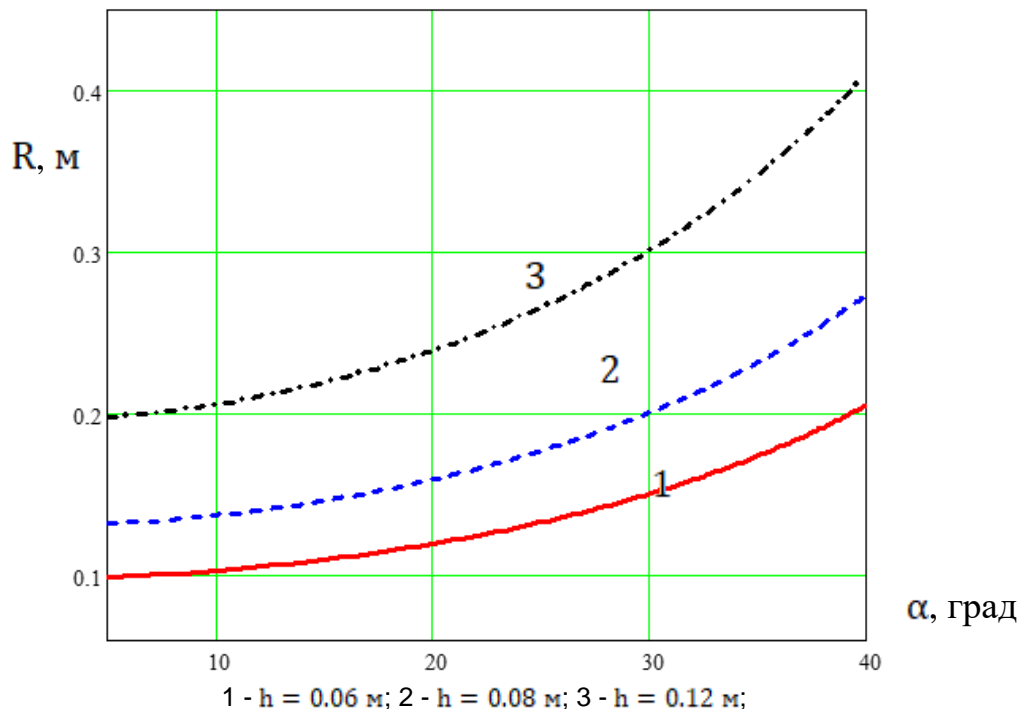


Рис. 4. Залежність радіуса сферичного диска R від кута атаки сферичних дисків α за різних значень глибини обробки ґрунту

Вирішуючи квадратне рівняння відносно R отримаємо:

$$R = h \cdot \left[\frac{1}{[\tan \delta]^2 \cdot [\cos \alpha]^2} + 1 + \sqrt{\frac{1}{[\tan \delta]^2 \cdot [\cos \alpha]^2} + 1} \right] \quad (14)$$

або

$$R = h \cdot \left[\frac{1}{[\tan \gamma_1 + \tan \gamma_2]^2 \cdot [\cos \alpha]^2} + 1 + \sqrt{\frac{1}{[\tan \gamma_1 + \tan \gamma_2]^2 \cdot [\cos \alpha]^2} + 1} \right] \quad (15)$$

Кут тертя між загостреною ріжучою кромкою сферичного диска і грудкою для чорноземних ґрунтів дорівнює $\gamma_1 = 20 \dots 24^\circ$, а

кут тертя між поверхнями грудки і ґрунтом $\gamma_2 = 48^\circ$. У цьому випадку при врізанні сферичного диска у ґрунт на глибину передпосівної обробки



$h = 0,06$ м їх радіус при мінімальному куті $\alpha = 5^\circ$ складе $0,21$ м, а при максимальному куті $\alpha = 35^\circ$ $R = 0,17$ м, як показано на рис. 4.

Таким чином, раціональний діаметр сферичного диска дискової борони залежить від величини його занурення в ґрунт h , кута атаки α і фізико-механічних властивостей ґрунту. Як показали проведені дослідження в польових умовах, для якісної обробки ґрунту мінімальний радіус сферичного диска повинен бути не менше $0,14$ м.

Висновки. Застосування асиметричних дискових борін для обробітку ґрунту підвищує якість обробки ґрунту, покращує водний режим та повітряні умови для подальшого розвитку сільськогосподарських культур. Теоретичними дослідженнями встановлено, що раціональний діаметр сферичного диска асиметричної дискової борони для обробітку ґрунту залежить від глибини h їх занурення в ґрунт, кута атаки α і фізико-механічних властивостей ґрунту γ_1, γ_2 .

Список використаних джерел

1. Гриценко О.П. Деякі аспекти підвищення ефективності дискових борін. // *Міжвідом. темат. наук. зб. Механізація та електрифікація сільського господарства*. - Глеваха, 2005 – Вип.93. – С.260-263.
2. Гриценко О.П. Теоретичні дослідження стійкості руху асиметричної дискової борони // *Міжвідом. темат. наук. зб. Механізація та електрифікація сільського господарства*. - Глеваха, 2009 – Вип.93. – С.89-100.
3. Гуков Я.С. Механіко- технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України [Текст] : автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.20.01 / Гуков Яків Серафимович ; Ін-т механізації та електрифікації сіл. госп-ва УААН. - 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 [Текст] / Я. С. Гуков. - К. : Нора-Принт, 1999. - 280 с.
5. Патент України №99016, МПК (2012.01) A01B 21/08 (2006.01). Асиметрична дискова борона /О.П. Гриценко, Я.С. Гуков, В.І. Саченко, В.К. Мойсеєнко (Україна). - № а 2010 13465; заявлено 12.11.2010; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13.
6. Зубець М.В. Актуальні проблеми технічної політики в аграрному секторі України [Текст] / М. Зубець [и др.]; УААН, ННЦ «ІМЕСГ». - Глеваха : 2005. - 77 с.
7. Теорія стійкого руху дискової борони / В.В. Адамчук та ін. *Механізація та*

електрифікація сільського господарства / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2021. - Вип. №14 (113). – С. 10-22. DOI: <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2021-14-1>

8. Патент України №90803, МПК A01B5/00. Дискове ґрунтообробне знаряддя /Я.С. Гуков, О.П. Гриценко, В.А. Вольський, С.М. Дудак, Б.П. Польовий, О.Ф. Говоров, О.О. Лисий (Україна). - №a200812975; заявлено 25.02.2009; опубл. 25.05.2010, Бюл.№10.

9. Bulgakov, V., Pascuzzi, S., Ivanovs, S. & Volskyi, V. (2019) Experimental investigations in draft resistance of spherical working tool of disk harrow. *Engineering Rural Device*, 18, 144–152. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N171>.

10. Nadykto, V., Arak, M., & Olt, J. (2015). Theoretical research into the frictional slipping of wheel-type undercarriage taking into account the limitation of their impact on the soil. *Agronomy Research*, 13, 148–157. https://agronomy.emu.ee/wpcontent/uploads/2015/05/13_1_18_B5.pdf#abstract-3344.

11. Bulgakov, V., Pascuzzi S., Nadykto, V., & Ivanovs, S. (2018). A mathematical model of the plane-parallel movement of an asymmetric machine-and-tractor aggregate. *Agriculture*, 8 (10), 151. <https://doi.org/10.3390/agriculture8100151>

12. Damanauskas, V., Velykis, A., & Satkus, A. (2019). Efficiency of disc harrow adjustment for stubble tillage quality and fuel consumption. *Soil Tillage Resources*, 194: 104311. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104311>.

13. Serrano, J. M., Peça, J.O., & Pinheiro, A. C. (2008). Short communication. evaluation of the energy requirements in tractor-disc harrow systems. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6, 205–209.

14. Salokhe, V., Soni, P., Nalavade, P., & Niyamapa, T. (2010). Performance of free rolling and powered tillage discs. *Soil and Tillage Research*, 109, 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.05.004>.

15. Balsari, P., Biglia, A., Comba, L., Sacco, D., Eloi Alcatrao, L., Varani, M., & Ricauda Aimonino, D. (2021). Performance analysis of a tractor-power harrow system under different working conditions. *Biosystem Engineering*, 2020, 28–41. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.11.009>.

16. Лінник М.К., Вольський В.А., Коцюбанський Р.В. (2019). До питання щодо прийнятого напрямку різання ґрунту сферичним диском / Збірник тез доповідей VII-ї міжнародної наукової конференції «Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК» (04-07 червня 2019 року) в рамках роботи XXXI Міжнародної агропромислової виставки «АГРО 2019». Київ, 2019. С. 124-127.



17. Вольський В. А. Результати досліджень щодо уточнення процесу різання ґрунту сферичним дисковим робочим органом / *Механізація та електрифікація сільського господарства* / ННЦ“ІМЕСГ”. Глеваха, 2019. - Вип. №9 (108). – С. 30-36.

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

19. Sheichenko, V., Volskyi, V., Kotsiubanskyi, R., Dnes, V., Shevchuk, M., Bilovod, O., & Drozhchana, O. (2021). Design of a roll crusher for sunflower stems and substantiation of the rational modes of its operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6, 1 (114), 28–37. doi:10.15587/1729-4061.2021.244903

20. Bulgakov, V., Aboltins, A., Beloev, H., Nadykto, V., Kyurchev, V., Adamchuk, V., & Kaminskiy, V. (2021). Experimental investigation of plow-chopping unit. *Agriculture (Switzerland)*, 11 (1), 1–14. doi: 10.3390/agriculture11010030

21. Nadykto, V., Ivanov, S., & Kistechok O. (2017). 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*, 62, 136–139.

22. Bohatyrov, D. V., Salo, V. M., Leshchenko, S. M., & Machok, Yu. V. (2015). Eksperymentalni doslidzhennia vplyvu shvydkosti rukhu kotka-podribniuvacha na yakist podribnennia roslynnykh reshtok kukurudzy. *Silskohospodarski mashyny*, 31, 10–17.

23. Sheichenko, V., Volskyi, V., Kotsiubanskyi, R., Skoriak, Y., & Priliepo, N. (2022). Analysis of the operation of the blades of the skating rink-chopper in the conditions of its rolling on the ground. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (2), 296–306. doi:10.31210/visnyk2022.02.35

24. Бойко А.І., Свірень М.О., Шмат С.І., Ножнов М.М. Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин. К., 2003. 203 с.

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

References

1. Hrytsenko O.P. (2005). *Deyaki aspekty pidvyshchennya efektyvnosti dyskovykh borin.* // *Mizhvidom. temat. nauk. zb. Mekhanizatsiya ta*

elektryfikatsiya sil's'koho hospodarstva. – Hlevakha, Vyp.93. 260-263. [in Ukrainian].

2. Hrytsenko O.P. (2009). *Teoretychni doslidzhennya stiykosti rukhu asymetrychnoyi dyskovoyi borony* // *Mizhvidom. temat. nauk. zb. Mekhanizatsiya ta elektryfikatsiya sil's'koho hospodarstva.* - Hlevakha, Vyp.93. 89-100. [in Ukrainian].

3. Hukov YA. S. (1998). *Mekhaniko-tekhnologichne obhruntuvannya enerhozberihayuchykh zasobiv dlya mekhanizatsiyi obrobittu hruntu v umovakh Ukrayiny* [Tekst] : avtoref. dys... d-ra tekhn. nauk: 05.20.01 / Hukov Yakiv Serafymovych ; In-t mekhanizatsiyi ta elektryfikatsiyi sil. hosp-va UAAN. - Hlevakha, 32. [in Ukrainian].

4. Hukov YA. S. (1999). *Obrobittu hruntu. Tekhnolohiya i tekhnika. Mekhaniko-tekhnologichne obhruntuvannya enerhozberihayuchykh zasobiv dlya mekhanizatsiyi obrobittu hruntu v umovakh Ukrayiny* [Tekst] / YA. S. Hukov. - K. : Nora-Prynt, 280. [in Ukrainian].

5. Patent Ukrayiny №99016, MPK (2012.01) A01B 21/08 (2006.01). *Asymetrychna dyskova borona* /O.P. Hrytsenko, YA.S. Hukov, V.I. Sachenko, V.K. Moyseyenko (Ukrayina). - № a 2010 13465; zayavleno 12.11.2010; opubl. 10.07.2012, Byul. № 13. [in Ukrainian].

6. Zubets' M.V. (2005). *Aktual'ni problemy tekhnichnoyi polityky v ahromomu sektori Ukrayiny* [Tekst] / M. Zubets' [y dr.]; UAAN, NNTS «IMES-H». – Hlevakha. 77 . [in Ukrainian].

7. *Teoriya stiykoho rukhu dyskovoyi borony* / V. V. Adamchuk ta in. *Mekhanizatsiya ta elektryfikatsiya sil's'koho hospodarstva / NNTS“IMES-H”.* Hlevakha, 2021. - Vyp. №14 (113). – S. 10-22. DOI: <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2021-14-1>. [in Ukrainian].

8. Patent Ukrayiny №90803, MPK A01V5/00. *Dyskove gruntoobrobne znaryaddya* /YA.S. Hukov, O.P. Hrytsenko, V.A. Vol's'kyi, S.M. Dudak, B.P. Pol'ovyy, O.F. Hovorov, O.O. Lysyy (Ukrayina). - Nea200812975; zayavleno 25.02.2009; opubl. 25.05.2010, Byul.№10. [in Ukrainian].

9. Bulhakov V., Paskuttsi S., Ivanov S. & Vol's'kyi V. (2019) *Eksperymental'ni doslidzhennya tyahovoyi stiykosti sferychnoho robochoho orhanu dyskovoyi borony.* *Inzhenernyy sil's'kyi prystriy*, 18, 144–152. [in English].

10. Nadykto V., Arak M. ta Olt Dzh. (2015). *Teoretychni doslidzhennya fryktsiynoho buksuvannya kolisnykh khodovykh chastyn z urakhuvannyam obmezheniya yikh vplyvu na grunt.* *Ahronomichni doslidzhennya*, 13, 148–157. https://agronomy.emu.ee/wpcontent/uploads/2015/05/13_1_18_B5.pdf#abstract-3344. [in English].



11. Bulhakov V., Paskutstsi S., Nadykto V. ta Ivanov S. (2018). *Matematychna model' ploskoparalelnoho rukhu nesymetrychnoho mashynno-traktornoho ahrehatu. Sil's'ke hospodarstvo*, 8 (10), 151. <https://doi.org/10.3390/agriculture8100151>. [in English].
12. Damanauskas, V., Velykys, A., i Satkus, A. (2019). *Efektynist' rehulyvannya diskovoyi borony na yakist' obrobky sterni ta vytratu palyva. Resursy obrobky gruntu*, 194: 104311. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104311>. [in English].
13. Serrano, Dzh. M., Pesa, ZH. O., Pin'eyro, A. K. (2008). *Korotke spilkuvannya. otsinka enerhetychnykh potreb u systemakh traktorno-dyskova borona. Ispans'kyi zhurnal sil's'kohospodars'kykh doslidzhen'*, 6, 205–209. [in English].
14. Salokhe V., Soni P., Nalavade P. ta Niyamapa T. (2010). *Produktyvnist' vil'noho kochennya ta mekhanichnykh gruntoobrobnykh diskiv. Doslidzhennya gruntu ta obrobky zemli*, 109, 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.05.004>. [in English].
15. Balsari, P., Bil'ya, A., Komba, L., Sakko, D., Eloyi Al'katrao, L., Varani, M., i Rikauda Aymonino, D. (2021). *Analiz roboty systemy traktor-borona v riznykh umovakh roboty. Biosystemna inzheneriya*, 2020, 28–41. [in English].
16. Linnyk M.K., Vol's'kyi V.A., Kotsyubans'kyi R.V. (2019). *Do pytannya shchodo pryynyatoho napryamku rizannya hruntu sferychnym dyskom / Zbirnyk tez dopovidey VII-yi mizhnarodnoyi naukovoï konferentsiyi «Innovatsiyne zabezpechennya vyrobnytst va orhanichnoyi produktsiyi v APK» (04-07 chervnya 2019 roku)» v ramkakh roboty XXXI Mizhnarodnoyi ahropromyslovoyi vystavky «AHRO 2019»*. Kyiv, 2019. S. 124-127. [in Ukrainian].
17. Vol's'kyi V. A. (2019) *Rezultaty doslidzhen' shchodo utochnennya protsesu rizannya gruntu sferychnym diskovym robochym orhanom / Mekhanizatsiya ta elektryfikatsiya sil's'koho hospodarstva / NNTS“IMES-H”*. Hlevakha, Vyp. №9 (108). – 30-36. [in Ukrainian].
18. Vol's'kyi V. A. (2011). *Matematychna model' dlya vyznachennya kuta rizannya pry vzayemodiyi sferychno-dyskovoho robochoho orhana z gruntom / Mekhanizatsiya ta elektryfikatsiya sil's'koho hospodarstva / NNTS“IMES-H”*. Hlevakha, Vyp. 95. 80–91. [in Ukrainian].
19. Sheychenko V., Vol's'kyi V., Kotsyubans'kyi R., Dnes V., Shevchuk M., Bilovod O., Drozhchana O. (2021). *Konstruktsiya valkovoyi drobarky stebel sonyashnyku ta obgruntuvannya ratsional'nykh rezhymiv yiyi roboty. Skhidno-Yevropeys'kyi zhurnal pidpryyemnyts'kykh tekhnolohiy*, 6, 1 (114), 28–37. doi:10.15587/1729-4061.2021.244903. [in English].
20. Bulhakov V., Aboltins A., Byeloyev KH., Nadykto V., Kyurchev V., Adamchuk V. ta Kamins'kyi V. (2021). *Eksperymental'ne doslidzhennya pluzhno-rizal'noho ahrehatu. Sil's'ke hospodarstvo (Shveytsariya)*, 11 (1), 1–14. doi: 10.3390/agriculture11010030. [in English].
21. Nadykto V., Ivanov S., Kistechok O. (2017). *Doslidzhennya tyahovo-sylovyykh ta ahrotekhnichnykh pokaznykiv roboty ornoho ahrehatu, stvorenoho za skhemoyu «push-tyaha»*. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 62, 136–139. [in English].
22. Bohatyrov D. V., Salo V. M., Leshchenko S. M., Machok YU. V. (2015). *Eksperymental'ni doslidzhennya vplyvu shvydkosti rukhu kotka-podribnyuvacha na yakist' podribnennya roslynnykh reshtok kukurudzy. Sil's'kohospodars'koho mashyn, 31, 10–17*. [in English].
23. Sheychenko V., Vol's'kyi V., Kotsyubans'kyi R., Skoryak YU., Prylyepo N. (2022). *Analiz roboty lopatey katka-chopera v umovakh yoho kochennya po hruntu. Visnyk Poltavskoyi derzhavnoyi aharnoyi akademiyi*, (2), 296–306. doi:10.31210/visnyk 2022.02.35. [in English].
24. Boyko A.I., Sviren' M.O., Shmat S.I., Nozhnov M.M. (2020) *Novi konstruktsiyi gruntoobrobnykh ta posivnykh mashyn*. K., 2003. 203 s.[in Ukrainian].
25. Bulhakov V., Olt YA., Kuvachov V. ta in. (2020) *Teoretychne ta eksperymental'ne doslidzhennya tyahovykh vlastyvostey sil's'kohospodars'kykh portal'nykh system*. Agraarteadus: Zhurnal sil's'kohospodars'koyi nauky. № XXXI (1). R. 10–16. [in English].

ANALYTICAL DETERMINATION OF ASYMMETRIC PARAMETERS DISK HARROW

Having analyzed the technologies of pre-sowing field preparation, it should be concluded that the soil is processed before sowing with cultivators, disk, tooth and needle harrows, as well as soil tillers. Rolling before sowing ensures the destruction of soil lumps, as well as partial leveling of the field surface. However, the task of qualitative preparation of the field for sowing with the use of disk harrows is currently insufficiently solved, therefore it is necessary to substantiate the rational design parameters of an asymmetric disk harrow containing working bodies, which include, in particular, spherical disks.

The following should also be noted, if the harrow is intended for use on harder, for example, chernozem soil, then the rod is attached to the hole further from the axis of rotation of the two-armed lever, which ensures the distance of the attachment device from the middle line of the



harrow, which conditions the preservation of its balance when working on such soil.

The process of rectilinear movement and rotation of spherical disks with a certain radius R in the soil at a depth h , which are installed at different angles to the direction of harrow movement, is considered. In the work, the impact of spherical disks with the remains of stubble, chopped straw was considered, it was established that spherical disks should be clamped between the sharpened cutting edge and the soil and cut them.

It has been established that for guaranteed rotation of a spherical disk in the soil with minimal slippage and rolling resistance, its diameter must be substantiated. Since the spherical disk for soil cultivation is installed at an angle of attack α , to the direction of harrow movement, the projection of the spherical disk in

the longitudinal-vertical plane is an ellipse with semi-axes.

The rational diameter of the spherical disc of the asymmetric disc harrow under the conditions of its rotation in the soil with minimal values of sliding and rolling resistance, as well as a high-quality process of cutting the soil, stubble and soil displacement, is theoretically substantiated. It was established that the rational values of the diameter of the spherical disc of the asymmetric disc harrow depends on the depth h of soil treatment, the angle of attack α and the physical and mechanical properties of the soil.

Key words: spherical disk, soil, asymmetric disc harrow, diameter, depth of soil treatment, angle of attack.

Відомості про авторів

Гриценко Олександр Павлович н.с., Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України (08631, Київська область, Фастівський район, смт Глеваха, вул. Вокзальна, 11/1)

Степаненко Сергій Петрович д.т.н., с.н.с., Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України (08631, Київська область, Фастівський район, смт Глеваха, вул. Вокзальна, 11/1, e-mail: stepanenko_s@ukr.net; ORCID iD 0000-0002-8331-4632)

Насонов Василь Андрійович к.т.н., Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України (08631, Київська область, Фастівський район, смт Глеваха, вул. Вокзальна, 11/1, e-mail: vnason@ukr.net)

Говоров Олександр Федорович к.т.н., с.н.с., Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України (08631, Київська область, Фастівський район, смт Глеваха, вул. Вокзальна, 11/1, e-mail: Aleksandr_Govorov@ukr.net; ORCID iD 0000-0002-1645-1725)

Gritsenko Oleksandr Researcher, Institute of mechanics and automatics of agroindustrial production of the national academy of agrarian sciences of Ukraine. (11/1, Vokzalna St, Glevakha, Fastiv district, Kyiv region, 08631)

Stepanenko Sergey Dr.Tech. Sc., Institute of mechanics and automatics of agroindustrial production of the national academy of agrarian sciences of Ukraine. (11/1, Vokzalna St, Glevakha, Fastiv district, Kyiv region, 08631, e-mail: stepanenko_s@ukr.net; ORCID iD 0000-0002-8331-4632)

Nasonov Vasyi Ph.D, Institute of mechanics and automatics of agroindustrial production of the national academy of agrarian sciences of Ukraine. (11/1, Vokzalna St, Glevakha, Fastiv district, Kiyv region, 08631)

Govorov Oleksandr Ph.D., Senior Research Fellow, Institute of mechanics and automatics of agroindustrial production of the national academy of agrarian sciences of Ukraine. (11/1, Vokzalna St, Glevakha, Fastiv district, Kiyv region, 08631, e-mail: Aleksandr_Govorov@ukr.net; ORCID iD 0000-0002-1645-1725)