

УДК 004.925.8:631.3

ДО ПИТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДИСКОВИХ СФЕРИЧНИХ ПІДГОРТАЧІВ

DOI: 10.33842/2313-125X-2026-29-33-43

Вірченко Г.А., д-р. техн. наук,

kpivir@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9586-4538

Яблонський П.М., д-р. техн. наук,

yprn@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1971-5140

Воробйов О.М.,

vorobyov.kpi@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5314-1075

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (м. Київ, Україна)

Фоменко В.Г., канд. фіз.-мат. наук,

fomenko.vladymyr@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0558-4688

Таблер Т.І.

Tabler.Tetyana@mspu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-5489-3874

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького (м. Запоріжжя, Україна)

У статті розглянуто деякі питання комп'ютерного геометричного моделювання таких сільськогосподарських ґрунтообробних знарядь, як дискові сферичні підгортачі. Актуальність зазначеної тематики обумовлена наступними фактами. У нинішній складний воєнний час провідною галуззю економіки нашої держави є аграрний сектор. Тому подальше вдосконалення відповідних технічних засобів становить важливу науково-прикладну проблему. Відомо, що комп'ютерне моделювання, взагалі та геометричне зокрема, дозволяє ефективно досягати потрібних результатів, суттєво зменшувати необхідність проведення дорогих натурних експериментів. Це обумовлює його теперішній стрімкий розвиток. Мається на увазі розробляння нових моделей, способів, прийомів та алгоритмів. Один із таких підходів становить методологія структурно-параметричного формоутворення, запропонована науковою школою прикладної геометрії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». У даній публікації для ілюстрації було обрано варіантний аналіз концептуальної конструкції дискового сферичного підгортача на стадії ескізного проектування. Опрацьовано питання кількості одночасно оброблюваних рядків, регулювання відстані між ними, тобто ширини міжрядь, глибини обробітку, застосовуваних діаметрів дисків, радіусів їхніх сферичних поверхонь, кутів позиціонування відносно напрямку руху знаряддя, отримуваних різних профілів борозни (її поперечних перерізів), площ останніх та ін. Наведено формулу визначення мінімального кута повороту диска відносно вертикальної осі для

виключення небажаної взаємодії його задньої поверхні з ґрунтом. Для утвореної дисковими сферичними підгортачами борозни представлено математичний апарат дефініції можливої геометрії її профілів, розрахунку їхніх площ. Подано відповідні приклади належного керування вказаними параметрами та характеристиками. Описано прийоми гнучкої адаптації проєктованих підгортачів до наявних аграрних виробничих умов. Окреслено деякі перспективні напрямки проведення подальших наукових досліджень із висвітленої тематики.

Ключові слова: дискові сферичні підгортачі, ескізне проєктування, комп'ютерне геометричне моделювання, профіль борозни, сільськогосподарські ґрунтообробні знаряддя.

Постановка проблеми. На сучасному складному етапі існування України, пов'язаному з війною, особливо важливою є економіка нашої держави, однією з провідних галузей якої вважається аграрний сектор. Тому покращення його технічної бази становить актуальну проблему. На її вирішення певним чином спрямоване й дане дослідження, головне завдання якого полягає у вдосконаленні комп'ютерного геометричного моделювання ґрунтообробних знарядь на прикладі дискових сферичних підгортачів на етапі їхнього ескізного проєктування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальні відомості про сільськогосподарські машини містить видання [1]. Більш докладно дискові робочі органи розглянуто в монографії [2]. Систематизований аналіз геометричних моделей для відтворення зазначених технічних об'єктів виконано у статті [3], де на засадах структурно-параметричної теорії запропоновано належну методика ефективних комп'ютерних побудов. Її провідна перевага полягає в забезпеченні продуктивного автоматизованого генерування великої кількості варіантів. Це сприяє вивченню більшого розмаїття можливих різновидів проєктованого виробу та дефініції оптимального серед них. Працю [4] присвячено узагальненій параметричній геометричній моделі поверхонь плугів. Конкретну реалізацію поєданого підходу для двох останніх публікацій приведено в дослідженні [5] на прикладі лап-полиць. У виданні [6] висвітлено питання комп'ютерного геометричного моделювання профілів борозни дискових ґрунтообробних знарядь. Проаналізовані літературні джерела становлять базу для викладених далі матеріалів та отриманих результатів.

Формулювання цілей статті. Мета цих наукових розвідок полягає в розвитку здобутків [3–6] шляхом їхньої подальшої інтеграції, яку проілюстровано на комп'ютерних твердотільних геометричних моделях дискових сферичних підгортачів.

Основна частина. На рис. 1 зображено варіант підгортача для одночасного обробітку двох рядків, який відповідає стадії ескізного проєктування. Показано три ортогональні види (за напрямом руху знаряддя, з лівого боку і зверху) та аксонометрію.

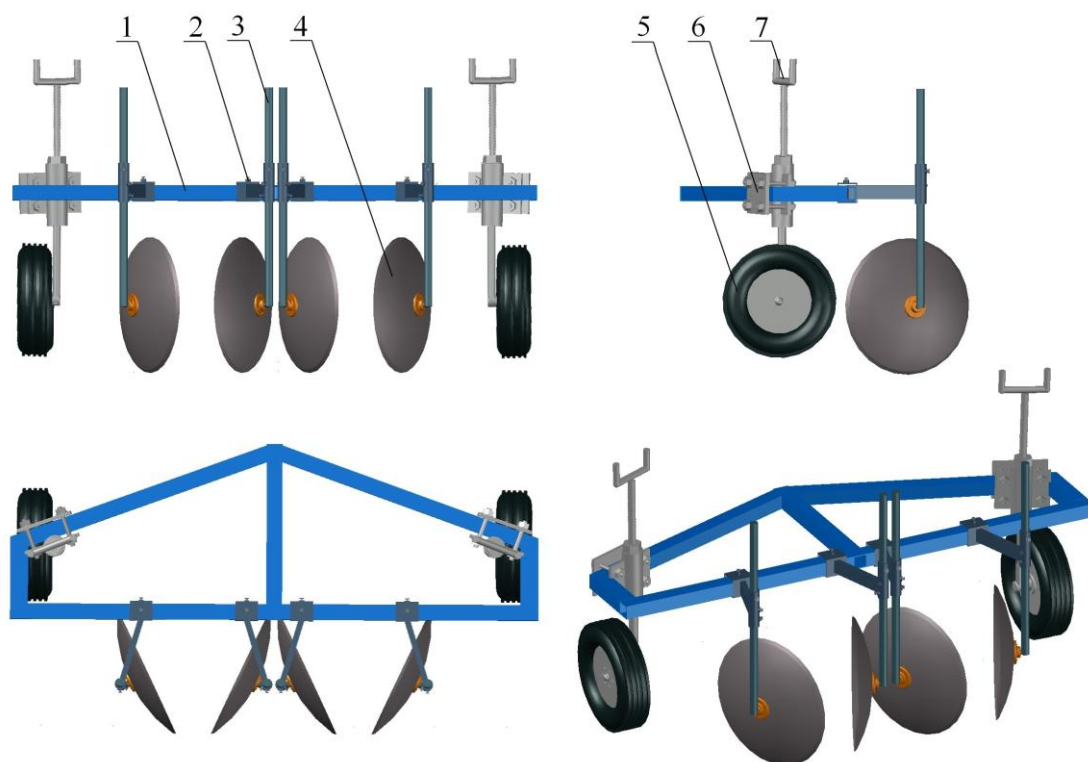


Рис. 1. Дворядковий дисковий сферичний підгортач:
 1 – рама; 2 – кріпильний кронштейн; 3 – стояк з віссю обертання;
 4 – диск із маточиною та вальницею; 5 – опорне колесо;
 6 – кріпильний кронштейн опорного колеса; 7 – регулювальний гвинт

Опрацьовувані різновиди компоновання базуються на загальній концептуальній конструкції, що включає наведені на зазначеному рисунку компоненти. Збільшенням числа дисків досліджено варіанти підгортачів, які обробляють три, чотири та шість рядків за один прохід трактора. Завдяки цьому підвищується продуктивність сільськогосподарської техніки, але постає вимога належного збільшення її потужності.

Адаптація підгортачів до різних умов експлуатації здійснюється за допомогою кронштейнів 2 та 6 і регулювального гвинта 7. Для цього також можуть застосовуватися змінні диски з різними діаметрами та радіусами сферичних поверхонь. Переміщенням кронштейнів 2 вздовж балки рами встановлюється ширина міжрядь. Закріпленням у них стояків на необхідній висоті визначається глибина обробітку, а під певним кутом – потрібне розташування дисків щодо напрямку руху знаряддя. Кронштейн 6 слугує для дефініції відстані між опорними колесами. Гвинт 7 дозволяє регулювати позицію рами над землею. В описаний спосіб реалізується гнучке пристосування проєктованого дискового сферичного підгортача до наявних конкретних аграрних, технічних, економічних та інших вимог. Зокрема, формується важлива характеристика у вигляді профілю борозни, який суттєво впливає на велику кількість сільськогосподарських показників процесів обробітку ґрунту. Тому отримуваним варіантам борозни далі приділено особливу увагу.

На рис. 2 представлено позиціонування дисків підгортача під час експлуатації. Початок наведеної прямокутної системи координат $Oxyz$ є точкою перетину осі обертання диска, яка лежить у горизонтальній площині, та вертикальної осі повороту стояка. Величина $B/2$ являє собою відстань до середини опрацьовуваного рядка, b_3 – це габаритний розмір його дисків, α – кут їхнього повороту.

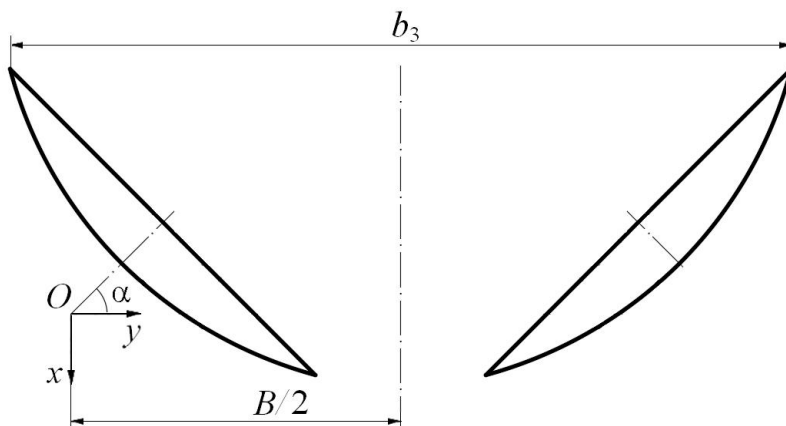


Рис. 2. Експлуатаційне розташування дисків сферичного підгортача (вид зверху на знаряддя)

Рис. 3 слугує для ілюстрації дефініції мінімального кута α , що виключає небажану взаємодію задньої поверхні сферичного диска з ґрунтом. На даному зображенні $O_{сф}$, R , D , $OO_{сф}$ – це відповідно центр сфери, її радіус, діаметр диска та його вісь обертання. Вихідне положення робочого органу відтворене штриховою лінією, а повернуте – суцільною. Розмір l позначає відстань від центра основи сегмента сфери до початку системи координат, повинен бути більшим ніж висота даного сегмента та додатково враховувати наявні елементи конструкції проєктованого знаряддя.

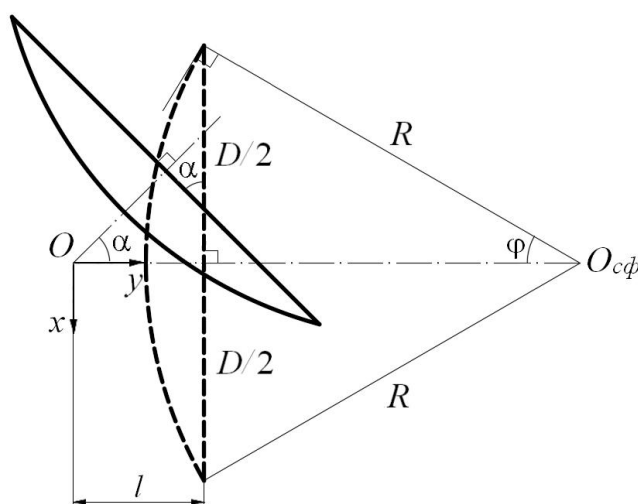


Рис. 3. Поворот лівого диска на кут α навколо вертикальної осі стояка (вид зверху на підгортач)

Акцентований вище мінімальний кут α_{\min} знаходимо з умови паралельності, після здійснення належного повороту диска, з напрямом руху зняряддя показаної у верхній частині рис. 3 дотичної. Конкретну величину α_{\min} визначає прямокутний трикутник з вершинами в початку координат O , основі перпендикуляра з нього до вказаної дотичної та точці перетину останньої з віссю OO_{cf} . Таким чином

$$\alpha_{\min} = \varphi = \arcsin\left(\frac{D}{2R}\right). \quad (1)$$

Основа сферичного сегмента лівого диска (див. рис. 2) задовольняє рівнянням

$$\begin{aligned} x &= \frac{D}{2} \cos\alpha \cos(u) - l \sin\alpha, & y &= \frac{D}{2} \sin\alpha \cos(u) + l \cos\alpha, \\ z &= -\frac{D}{2} \sin(u), \end{aligned} \quad (2)$$

де $u \in [0^\circ, 360^\circ]$.

Для симетричного правого диска маємо

$$\begin{aligned} x &= \frac{D}{2} \cos\alpha \cos(u) - l \sin\alpha, & y &= B - \frac{D}{2} \sin\alpha \cos(u) - l \cos\alpha, \\ z &= -\frac{D}{2} \sin(u), \end{aligned} \quad (3)$$

де $u \in [0^\circ, 360^\circ]$.

На рис. 4 приведено формування борозни лівого диска залежно від глибини a обробітку ґрунту.

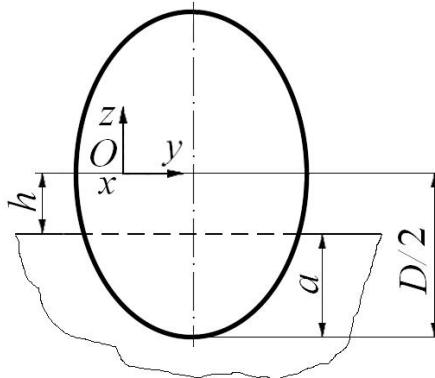


Рис. 4. Профіль борозни лівого диска
(вид за напрямом руху зняряддя)

Із використанням аплікат (2) і (3) отримуємо

$$h = \frac{D}{2} \sin(u_g), \quad (4)$$

де u_g – параметр початкових точок кіл дисків на висоті h .

Далі

$$u_g = \arcsin(1 - 2a/D). \quad (5)$$

Максимальна глибина обробітку дисками дорівнює третині його діаметра, тобто

$$a_{\max} = D/3. \quad (6)$$

На основі виразів (5) і (6)

$$u_{\min} = \arcsin\left(1 - \frac{2a_{\max}}{D}\right) = \arcsin\left(1 - \frac{2D}{3D}\right) = \arcsin\left(\frac{1}{3}\right) \approx 19,5^{\circ},$$

$$u_{\max} = 180^{\circ} - u_{\min} = 180^{\circ} - 19,5^{\circ} = 160,5^{\circ}, \quad (7)$$

де u_{\min} , u_{\max} – мінімальне та максимальне значення параметра дуги кола диска, що формує борозну.

Отже,

$$u \in [u_{\min}, u_{\max}] = [19,5^{\circ}; 160,5^{\circ}]. \quad (8)$$

Для певної дуги

$$u \in [u_{\epsilon}, 180^{\circ} - u_{\epsilon}], u_{\epsilon} < 90^{\circ}. \quad (9)$$

Теоретичний профіль борозни підгортача обчислюється за ординатами й аплікатами (2) та (3). Враховуються значення (1), (4) ... (9). Для наочності побудованих далі графіків площину Oxy перенесено на рівень дна борозни. Тоді аплікати

$$z(u) = -\frac{D}{2} \sin(u) + \frac{D}{2} = \frac{D}{2} (1 - \sin(u)). \quad (10)$$

Рис. 5 ілюструє утворену лівим і правим дисками борозну для глибини обробітку a .

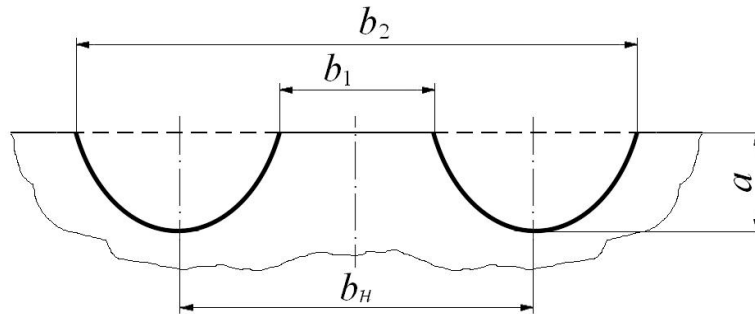


Рис. 5. Повний профіль борозни (вид за напрямом руху підгортача)

Відповідно до залежностей (2) та (3) найнижчі точки дисків відповідають параметру $u=90^{\circ}$. Тоді

$$b_n = \left(B - \frac{D}{2} \sin \alpha \cos(90^{\circ}) - l \cos \alpha\right) - \left(\frac{D}{2} \sin \alpha \cos(90^{\circ}) + l \cos \alpha\right) =$$

$$= B - 2l \cos \alpha. \quad (11)$$

Мінімальної відстань між лівим і правим профілем, тобто ширина гребеня, дорівнює

$$b_1 = B - \frac{D}{2} \sin \alpha \cos(u_{\epsilon}) - l \cos \alpha - \frac{D}{2} \sin \alpha \cos(u_{\epsilon}) - l \cos \alpha =$$

$$= B - D \sin \alpha \cos(u_{\epsilon}) - 2l \cos \alpha. \quad (12)$$

Ширина всієї борозни

$$\begin{aligned} b_2 &= B - \frac{D}{2} \sin \alpha \cos(180^\circ - u_\epsilon) - l \cos \alpha - \frac{D}{2} \sin \alpha \cos(180^\circ - u_\epsilon) - l \cos \alpha = \\ &= B + D \sin \alpha \cos(u_\epsilon) - 2l \cos \alpha. \end{aligned} \quad (13)$$

Габаритний розмір (див. рис. 2 та рис. 3)

$$b_3 = B - 2l \cos \alpha + D \sin \alpha. \quad (14)$$

Виконаємо аналітичне визначення площі A профілю борозни підгортача. Тоді маємо

$$A = 2 \cdot \left((y_\epsilon - y_{\epsilon 2}) \cdot a - \int_{u_{\epsilon 2}}^{u_\epsilon} z(u) y'(u) du \right), \quad (15)$$

де $y(u)$ – ордината лівого диска, $z(u)$ – згідно з формулою (10), u_ϵ відповідно до виразу (5), $u_{\epsilon 2} = 180^\circ - u_\epsilon$, $y_\epsilon = y(u_\epsilon)$, $y_{\epsilon 2} = y(u_{\epsilon 2})$.

Розраховуємо похідну

$$y'(u) = -\frac{D}{2} \sin \alpha \sin(u) \quad (16)$$

та інтеграл

$$\begin{aligned} \int_{u_{\epsilon 2}}^{u_\epsilon} z(u) y'(u) du &= - \int_{u_{\epsilon 2}}^{u_\epsilon} \frac{D}{2} (1 - \sin(u)) \frac{D}{2} \sin \alpha \sin(u) du = \\ &= \frac{D^2}{4} \sin \alpha \cdot \left(\cos(u) \Big|_{u_{\epsilon 2}}^{u_\epsilon} + \frac{2u - \sin(2u)}{4} \Big|_{u_{\epsilon 2}}^{u_\epsilon} \right). \end{aligned} \quad (17)$$

Зауважимо, що через взаємодію лівого і правого дисків підгортача початковий проміжок

$$\alpha \in [\alpha_{\min}, \alpha_{\max}] = [\varphi, 90^\circ) \quad (18)$$

змінювання кута їхнього повороту може обмежуватися максимальним значенням, див. рис. 2 та рис. 3, яке обумовлюється нерівністю

$$l \cos \alpha_{\max} + \frac{D}{2} \sin \alpha_{\max} < \frac{B}{2}. \quad (19)$$

Висота сферичного сегмента (рис. 3)

$$h_{сф} = R - \sqrt{R^2 - D^2/4}, \quad (20)$$

а відстань від центра його основи до початку координат O дорівнює

$$l = [h_{сф}] + 1 + l_{кнс}, \quad (21)$$

де $l_{кнс}$ – довжина для потрібної конструкції.

Співвідношеннями (1) ... (21) і рис. 1 ... 5 подано запропонований математичний апарат керування профілем борозни дискових сферичних підгортачів, що спрямований на інтегроване комп'ютерне геометричне моделювання конструкційно-експлуатаційних параметрів та характеристик цих сільськогосподарських ґрунтообробних знарядь під час ескізного проектування. Опрацьовані за проаналізованою методикою параметри підгортачів представлені в табл. 1.

Проектні конструкційні параметри підгортачів

$D, \text{мм}$	$R, \text{мм}$	$[h_{\text{сф}}]+1, \text{мм}$	$l_{\text{кнс}}, \text{мм}$	$l, \text{мм}$	$\alpha_{\text{min}}, ^\circ$
300	350	34	60	94	26
	500	24	60	84	18
	650	18	60	78	14
350	350	47	60	107	30
	500	32	60	92	21
	650	24	60	84	16
400	350	63	60	123	35
	500	42	60	102	24
	650	32	60	92	18

Рис. 6 містить кілька профілів борозни, які відповідають табл. 1.

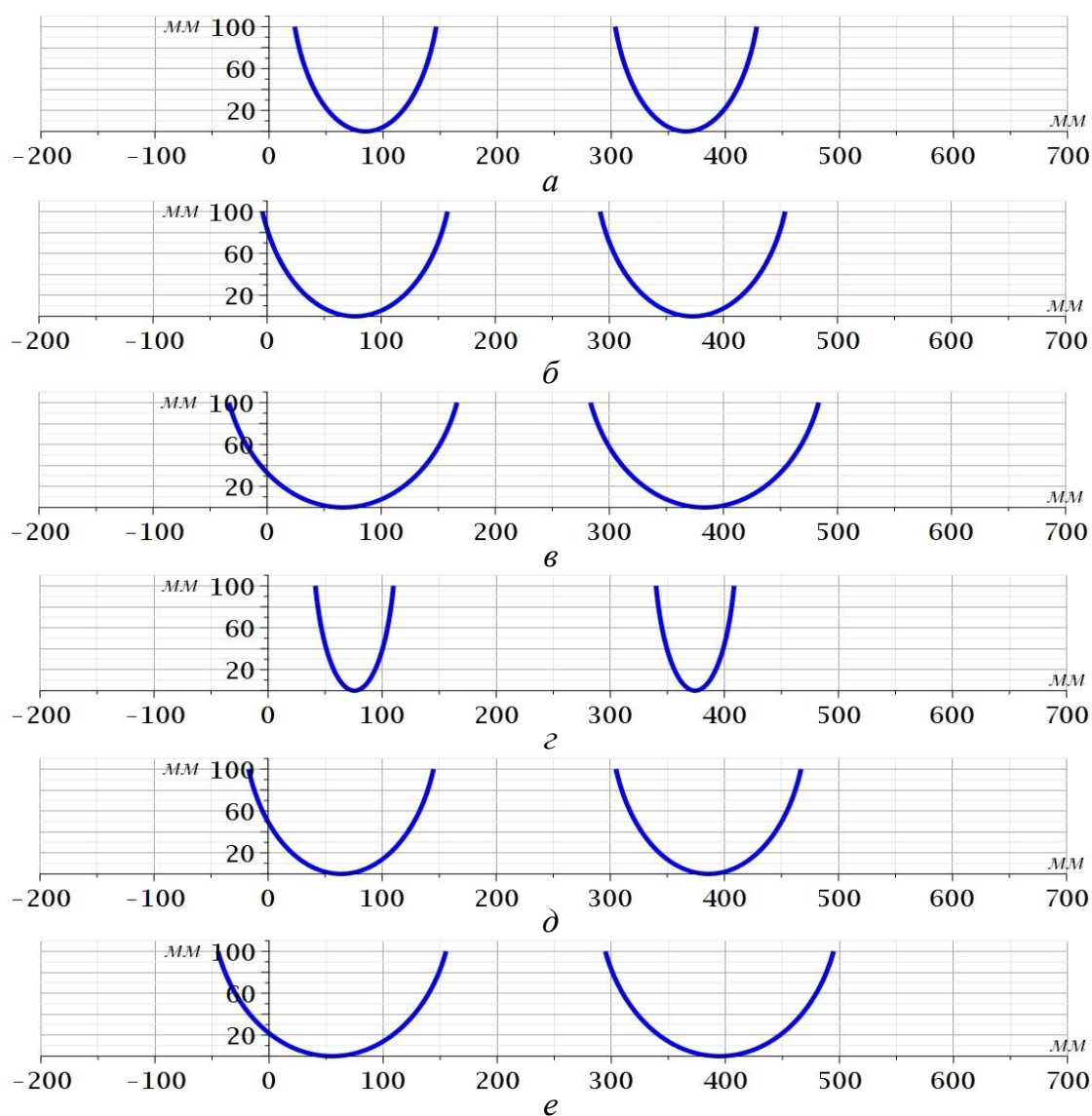


Рис. 6. Профілі борозни підгортача $D=300 \text{ мм}$, $B=450 \text{ мм}$, $a=100 \text{ мм}$:
 $a - R=350 \text{ мм}$, $\alpha=26^\circ$; $б - R=350 \text{ мм}$, $\alpha=35^\circ$; $в - R=350 \text{ мм}$, $\alpha=45^\circ$;
 $г - R=650 \text{ мм}$, $\alpha=14^\circ$; $д - R=650 \text{ мм}$, $\alpha=35^\circ$; $е - R=650 \text{ мм}$, $\alpha=45^\circ$

Викладені відомості стосуються застосованих діаметрів дисків, радіусів їхніх сферичних поверхонь, угнутості останніх, лінійних розмірів, які визначають необхідні елементи конструкції, мінімальних кутів повороту робочих органів. З наявних зображень видно, що зі збільшенням кута α повороту сферичних дисків зростає площа профілю утвореної борозни, відстань між найнижчими точками дисків, ширина всієї борозни, габаритний розмір дисків одного опрацьовуваного рядка, зменшується ширина гребеня борозни та нахил її бічних стінок. Розраховані конкретні експлуатаційні геометричні параметри й характеристики наведених на рис. 6 борозен розглянутих вище дискових сферичних підгортачів містить табл. 2. Описана інформація слугує основою для практичних прийомів гнучкого керування вказаними величинами та продуктивної адаптації проаналізованих сільськогосподарських ґрунтообробних знарядь до різноманітних існуючих аграрних виробничих умов.

Таблиця 2

Експлуатаційні параметри та характеристики борозен

Профіль	b_1 , мм	b_n , мм	b_2 , мм	b_3 , мм	A , мм ²
рис. 6 а	157	281	405	413	18083
рис. 6 б	134	296	458	468	23661
рис. 6 в	117	317	517	529	29169
рис. 6 г	230	299	367	371	9980
рис. 6 д	160	322	484	494	23661
рис. 6 е	140	340	540	552	29169

Таким чином, в основній частині цієї публікації викладено створену методику інтегрованого комп'ютерного геометричного моделювання конструкційно-експлуатаційних параметрів і характеристик дискових сферичних підгортачів на стадії їхнього ескізного проектування. Запропонований підхід спирається на попередні наукові здобутки авторів, поданий математичний апарат, визначені прийоми його використання на практиці.

Висновки. У теперішній складний час, що пов'язаний із воєнними діями на території України, важливим та актуальним питанням є вдосконалення технічної бази сільського господарства, яке нині становить одну з провідних галузей економіки нашої держави. Серед інших ґрунтообробних знарядь дискові вважаються найбільш прогресивними завдяки своїй економічності та екологічності. Тому й обрані в якості предмета даних досліджень. Перспективами розвитку окресленої тематики варто вважати подальше розширення опрацьовуваної номенклатури аграрної техніки, виконання не тільки ескізних, а й робочих проєктів її створення, охоплення всього життєвого циклу з виготовленням та експлуатацією включно. Однак, це потребує здійснення належних нових наукових розвідок.

Література

1. Сільськогосподарські машини / за ред. Д.Г. Войтюка. Київ: Агроосвіта, 2015. 679 с.
2. Гуцол О.П., Ковбаса В.П. Обґрунтування параметрів і режимів руху ґрунтообробних машин з дисковими робочими органами. Київ: НУБіП України, 2016. 145 с.
3. Яблонський П.М., Вірченко Г.А., Волоха М.П., Воробйов О.М., Лазарчук-Воробйова Ю.В. До питання аналізу геометричних моделей сучасних ґрунтообробних знарядь. *Сучасні проблеми моделювання*. 2022. Вип. 24. С. 182–189. <https://doi.org/10.33842/2313125X-2022-24-182-189>
4. Yablonskyi P., Rogovskii I., Sobczuk H., Virchenko G., Volokha M., Vorobiov O. Computational approach to geometric modelling of plow bodies. *Journal of Engineering Sciences*. 2024. Vol. 11(1). P. E9–E18. [https://www.doi.org/10.21272/jes.2024.11\(1\).e2](https://www.doi.org/10.21272/jes.2024.11(1).e2)
5. Ванін В.В., Вірченко Г.А., Волоха М.П., Яблонський П.М., Воробйов О.М. До питання комп'ютерного геометричного моделювання ґрунтообробних знарядь засобами структурно-параметричного формоутворення. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2022. Вип. 103. С. 16–22. <https://doi.org/10.32347/0131-579X.2022.103.16-22>
6. Yablonskyi P., Rogovskii I., Virchenko G., Borek K., Volokha M., Golova O. Geometric modeling of disc furrow profile. *Journal of Engineering Sciences*. 2025. Vol. 12(1). P. E1–E8. [https://doi.org/10.21272/jes.2025.12\(1\).e1](https://doi.org/10.21272/jes.2025.12(1).e1)

ON THE ISSUE OF COMPUTER GEOMETRIC MODELING OF DISK SPHERICAL HILLERS

Gennadii Virchenko, Petro Yablonskyi, Oleksii Vorobiov,
Volodymyr Fomenko, Tetiana Tabler

The article considers some issues of computer geometric modeling of agricultural tillage implements such as disk spherical hillers. The relevance of this topic is determined by the following existing facts. One of the leading sectors of our country's economy in the current difficult wartime is the agricultural sector. Therefore, further improvement of the corresponding technical means is an important scientific and applied problem. It is known that computer modeling, in general and geometric modeling in particular, allows effectively achieving the desired results, significantly reducing the need for expensive physical experiments. This determines their current rapid development. This refers to the development of new models, methods, techniques, and algorithms. One of such approaches is the methodology of structural-parametric shaping, proposed by the scientific school of applied geometry of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute».

A variant analysis of the conceptual design of a disk spherical hiller at the preliminary design stage was selected for illustration in this publication. The

issues of the number of simultaneously processed rows, regulation of the distance between them, the depth of cultivation, the diameters of the disks that were used, the radii of their spherical surfaces, the positioning angles relative to the direction of movement of the implement, the various furrow profiles obtained (its cross-sections), the areas, etc. have been considered. A formula is given for determining the minimum angle of rotation of the disk relative to the vertical axis to eliminate undesirable interaction of its rear surface with the ground. For the furrow formed by disk spherical hillers, a mathematical apparatus for defining the possible geometry of its profiles and calculating their areas is presented. Relevant examples of correct management of the specified parameters and characteristics are provided. The methods for flexible adaptation of designed hillers to existing agricultural production conditions are described. Some promising directions for further scientific research on the highlighted topic are outlined.

Keywords: disk spherical hillers, preliminary design, computer geometric modeling, furrow profile, agricultural tillage implements.

References

1. Voitiuk, D. H. (Ed.). (2015). Agricultural machinery. Kyiv: Ahrosvita, 679 p. [In Ukrainian].
2. Hutsol, O. P., & Kovbasa, V. P. (2016). Substantiation of parameters and operating modes of tillage machines with disc working bodies. Kyiv: NUBiP Ukrainy, 145 p. [In Ukrainian].
3. Yablonskyi, P. M., Virchenko, H. A., Volokha, M. P., Vorobiov, O. M., & Lazarchuk-Vorobiova, Yu. V. (2022). On the analysis of geometric models of modern tillage implements. *Suchasni problemy modeliuвання*, 24, 182–189. <https://doi.org/10.33842/2313125X-2022-24-182-189> [In Ukrainian].
4. Yablonskyi, P., Rogovskii, I., Sobczuk, H., Virchenko, G., Volokha, M., & Vorobiov, O. (2024). Computational approach to geometric modelling of plow bodies. *Journal of Engineering Sciences*, 11(1), E9–E18. [https://doi.org/10.21272/jes.2024.11\(1\).e2](https://doi.org/10.21272/jes.2024.11(1).e2) [In English].
5. Vanin, V. V., Virchenko, H. A., Volokha, M. P., Yablonskyi, P. M., & Vorobiov, O. M. (2022). On computer geometric modeling of tillage implements by means of structural-parametric shape formation. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika*, 103, 16–22. <https://doi.org/10.32347/0131-579X.2022.103.16-22> [In Ukrainian].
6. Yablonskyi, P., Rogovskii, I., Virchenko, G., Borek, K., Volokha, M., & Golova, O. (2025). Geometric modeling of disc furrow profile. *Journal of Engineering Sciences*, 12(1), E1–E8. [https://doi.org/10.21272/jes.2025.12\(1\).e1](https://doi.org/10.21272/jes.2025.12(1).e1) [In English].

Матеріал надійшов до редакції 23. 04. 2026

Прийнято до друку 13. 05. 2026 р.