

Г.А. ВІРЧЕНКО, О.М. ВОРОБІЙОВ, П.М. ЯБЛОНСЬКИЙ  
 Національний технічний університет України  
 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ВАРІАНТНЕ ФОРМОУТВОРЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ҐРУНТООБРОБНИХ ДИСКІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВЕКТОРНИХ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРИЧНИХ КРИВИХ ДРУГОГО СТЕПЕНЯ

Сучасний етап розвитку нашої держави характеризується тяжкими випробуваннями, які пов'язані з воєнними діями на її території. Нині крім першочергових мілітарних потреб важливими постають завдання збереження та розвитку економіки України. У наведених обставинах одним із базових її складників є сільське господарство, тому підвищення ефективності його виробництва являє собою актуальну науково-прикладну проблему. Успішному вирішенню окреслених питань сприяє подальше вдосконалення належних технічних засобів, поміж яких провідне місце займають, зокрема, різноманітні ґрунтообробні знаряддя. Зараз прогресивними серед них вважаються дискові, оскільки вони найбільш повною мірою відповідають наявним екологічним вимогам та забезпечують високі показники енергозбереження. Викладені факти визначили як предмет поданих далі досліджень робочі поверхні сільськогосподарських ґрунтообробних дисків.

Математичною основою для їх моделювання вибрано раціональні криві другого степеня у векторному параметричному вигляді, що зумовлено певними корисними властивостями вказаних ліній. Мається на увазі наочність і прогнозованість формоутворення, простий аналітичний апарат, пристосованість до реалізації комп'ютерними геометричними засобами систем автоматизованого проектування. При цьому головна ціль полягає не лише в охопленні існуючих робочих поверхонь сільськогосподарських дисків, а й у розширенні їхньої номенклатури з метою покращення конструкційно-експлуатаційних параметрів і характеристик, удосконалення процесів виготовлення зазначеної продукції. Запропоновано узагальнену математичну модель, яка сприяє підвищенню продуктивності комп'ютерного варіантного опрацювання розглянутих технічних об'єктів, проведенню їх комплексної багатокритеріальної оптимізації з урахуванням різноманітних вимог. Наприклад, це стосується міцності, конструкції, надійності, технології виготовлення, експлуатації, економіки і т. д. Указане зумовлене об'єднуючою інтегруючою роллю геометричних моделей для реалізації математичних описів промислових виробів. Наведено деякі напрями застосування отриманих результатів в інших галузях життєдіяльності.

**Ключові слова:** автоматизоване проектування, геометричне моделювання, ґрунтообробні диски, конструкційно-експлуатаційні параметри та характеристики, векторні раціональні параметричні криві другого степеня.

G.A. VIRCHENKO, O.M. VOROBIOV, P.M. YABLONSKYI  
 National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

## VARIANT SHAPING OF WORKING SURFACES OF SOIL CULTIVATING DISCS USING VECTOR RATIONAL PARAMETRIC CURVES OF THE SECOND DEGREE

The current stage of development of our state is characterized by difficult trials associated with military operations on its territory. Nowadays, in addition to the primary military needs, the tasks of preserving and developing the Ukrainian economy are very important. In the above circumstances, one of its basic components is agriculture. Therefore, increasing the efficiency of its production is a relevant scientific and applied problem. The successful resolution of these issues is facilitated by the further improvement of appropriate technical means, among which a leading place is occupied, in particular, by a variety of soil-cultivating implements. Currently, disc tools are considered the most progressive among them, since they fully meet existing environmental requirements and provide high energy efficiency. The presented facts determined the working surfaces of agricultural soil-cultivating discs as the subject of following studies.

Rational curves of the second degree in vector parametric form were chosen as the mathematical basis for their modelling, due to certain useful properties of these lines. This refers to the clarity and predictability of shaping, a simple analytical apparatus, and adaptability to the implementation by computer geometric means of automated design systems. At the same time, the main goal is not only to cover the existing working surfaces of agricultural discs, but also to expand their range in order to improve the design and operational parameters and characteristics, the manufacturing processes of these products. A generalized mathematical model is proposed, which contributes to increasing the productivity of computer variant processing of the considered technical objects, conducting their complex multi-criteria optimization taking into account various requirements. For example, this applies to strength, design, reliability, manufacturing technology, operation, economics, etc. This is due to the unifying integrating role of geometric models for other mathematical descriptions of industrial products. This publication also presents some directions for applying the obtained results in areas of life other than agriculture.

**Key words:** automated design, geometric modelling, tillage discs, design and operational parameters and characteristics, rational parametric curves of the second degree.

### Постановка проблеми

Нинішньому розвитку суспільства притаманне інтенсивне впровадження комп'ютерних інформаційних технологій практично в усі сфери життєдіяльності людей, зокрема й у галузь сільського господарства. У наведеному випадку мається на увазі створення, виробництво та експлуатація відповідної техніки, різноманітні аграрні технології, перероблення отриманої продукції тощо. Важливу роль при цьому відіграють, наприклад, ґрунтообробні знаряддя. Серед останніх прогресивними вважаються дискові, що зумовлено їх відповідністю наявним екологічним вимогам та високою енергоефективністю. Тому вдосконалення зазначених засобів становить актуальну науково-прикладну проблему. Певному вирішенню деяких з окреслених питань сприяє запропонована в даній публікації узагальнена математична модель для варіантного автоматизованого формоутворення робочих поверхонь сільськогосподарських дисків на базі використання векторних раціональних параметричних кривих другого степеня.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Працю [1] присвячено впровадженню комп'ютерних інформаційних технологій у сучасному сільському господарстві, показано перспективний характер відповідних заходів. У виданні [2] наведено загальну класифікацію геометричних моделей ґрунтообробних знарядь, виконану шляхом застосування структурно-параметричного підходу. Дослідженнями [3; 4] подано деякі аспекти більш докладної класифікації безпосередньо дискових робочих органів та їх формоутворення під час виготовлення. У публікації [5] висвітлено головні властивості найбільш популярних нині CAD/CAM/CAE/PLM (Computer-Aided Design/ Computer-Aided Manufacturing/ Computer-Aided Engineering/ Product Lifecycle Management) систем машинобудівного профілю, акцентовано об'єднавчу інтегруючу роль для них геометричних моделей. Статтею [6] підкреслено суттєвий вплив конструкційних параметрів дискових знарядь на таку важливу їхню експлуатаційну характеристику, як профіль отримуваної борозни. Остання суттєво визначає витрати енергетичних ресурсів та подальшу врожайність вирощуваних сільськогосподарських культур. У праці [7] приведено приклад використання векторних раціональних параметричних кривих другого степеня для узагальненого автоматизованого формоутворення поверхонь другого порядку на засадах структурно-параметричної методології. Проаналізовані дослідження послуговували теоретичною і практичною основою для запропонованого варіантного комп'ютерного геометричного моделювання ґрунтообробних дисків.

### Мета дослідження

Метою публікації є викладення напрацьованої узагальненої математичної моделі для ефективного варіантного автоматизованого проєктування робочих поверхонь сільськогосподарських дискових знарядь. Ця модель здатна бути інтегруючою базою для подібних описів інших різноманітних дисциплін із метою проведення комплексної багатокритеріальної оптимізації вказаних технічних об'єктів.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Наведені вище літературні джерела свідчать про важливість гнучкого і продуктивного варіантного автоматизованого проєктування різноманітних робочих поверхонь дискових ґрунтообробних знарядь. Це стосується *плоских, сферичних, еліпсоїдних, параболоїдних, гіперболоїдних, торових та інших поверхонь*.

Для комп'ютерного формоутворення дисків будемо застосовувати параметричну геометричну модель, показану на рис. 1, яка визначається у прямокутній системі координат  $Oxuz$ .

Робоча поверхня диска є фігурою обертання. У даному разі належною віссю слугує промінь  $Oz$ , направлений вертикально вгору. Як твірна лінія використовується векторна раціональна параметрична крива другого степеня вигляду

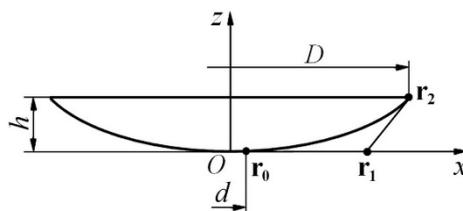


Рис. 1. Схема побудови узагальненої геометричної моделі робочих поверхонь ґрунтообробних дисків:  
 $D$  – діаметр диска;  $d$  – діаметр внутрішнього отвору;  
 $r_0, r_1, r_2$  – радіус-вектори вершин характеристичного трикутника твірної лінії

$$\mathbf{r}(u) = \frac{(1-u)^2 \mathbf{r}_0 + w_1 2u(1-u) \mathbf{r}_1 + u^2 \mathbf{r}_2}{(1-u)^2 + w_1 2u(1-u) + u^2}, \quad (1)$$

де  $\mathbf{r}(u)$  – радіус-вектор точок кривої;

$\mathbf{r}_0, \mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2$  – радіус-вектори вершин характеристичного трикутника, розташованого у площині  $Oxz$ ;

$w_1 \geq 0$  – ваговий коефіцієнт;

$u \in [0, 1]$  – параметр.

Початком лінії (1) є точка  $\mathbf{r}_0$ , кінцем – вершина  $\mathbf{r}_2$ . Для  $w_1=0$  маємо відрізок прямої; при  $0 < w_1 < 1, w_1=1, w_1 > 1$  – відповідно дугу еліпса, параболи та гіперболи. Дуга кола з кутовою величиною  $\theta$  формується значенням  $w_1 = \cos(\theta/2)$ , де  $0 < \theta < \pi$ .

Вершини  $\mathbf{r}_0$  та  $\mathbf{r}_1$  розташовуються на осі  $Ox$ , реалізуючи необхідну горизонтальну дотичну на початку твірної кривої. Ненульова величина  $d$  забезпечує потрібний отвір у нижній частині робочої поверхні. Координати вершини  $\mathbf{r}_2$  визначають угнутість  $h$  (тобто опуклість донизу) диска та його діаметр  $D$ . Взаємне розміщення точок  $\mathbf{r}_1$  і  $\mathbf{r}_2$  зумовлює дефініцію напрямку дотичної у вершині  $\mathbf{r}_2$ .

Приклад параметричного змінювання проаналізованої вище схеми побудови робочих поверхонь дисків подано на рис. 2.

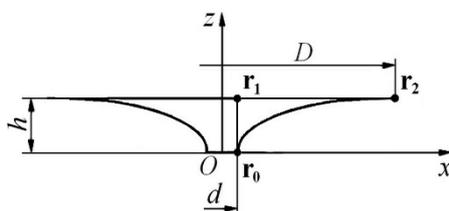


Рис. 2. Модифікація схеми формування поверхні диска

При цьому координатами вершини  $\mathbf{r}_1$  забезпечено опуклість доверху твірної кривої (1). На наведеному рисунку реалізовано вертикальність дотичної у її початковій точці та горизонтальність у кінцевій. Зауважимо, що в довільному випадку такі умови не обов'язкові. Отже, розглянутими фактами підтверджено бажану гнучкість напрацьованої узагальненої геометричної моделі для варіантного комп'ютерного формоутворення робочих поверхонь сільськогосподарських дисків.

У прямокутній системі координат  $Oxyz$  із застосуванням осі обертання  $z$  і твірної (1), розміщеної у площині  $Oxz$ , рівняння поверхні диска має вигляд

$$x = x(u) \cos(v); \quad y = x(u) \sin(v); \quad z = z(u), \quad (2)$$

де  $v \in [0, 2\pi]$  – параметр кута повороту в радіанах.

За допомогою залежностей (1) і (2) змінюванням координат вершин  $\mathbf{r}_0, \mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2$  та значення  $w_1$  отримуємо такі необхідні конструкційно-експлуатаційні параметри дисків, як  $D, d, h$ ,

бажану форму їхніх поверхонь: *плоску, конічну, сферичну, еліпсоїдну, параболоїдну, гіперболоїдну* тощо. У вказаних випадках це забезпечується відповідними величинами  $w_1$ . Для площини додатково потрібно ще розташувати на однаковій висоті вершини  $\mathbf{r}_0, \mathbf{r}_2$ .

Побудову сферичного сегмента радіуса  $R$  показано на рис. 3.

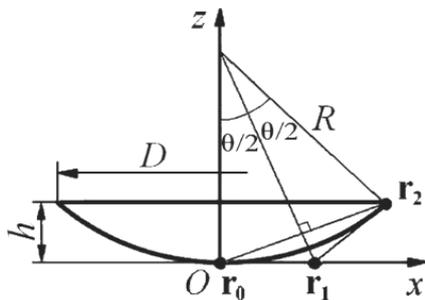


Рис. 3. Моделювання сферичного диска

Для певних значень  $R$  і  $D$  угнутість  $h$  обчислюється за виразом

$$h = R - \sqrt{R^2 - D^2 / 4}. \quad (3)$$

Координати вершин характеристичного трикутника кривої (1)

$$\mathbf{r}_0 = (0, 0, 0), \quad \mathbf{r}_1 = (R \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}, 0, 0), \quad \mathbf{r}_2 = (\frac{D}{2}, 0, h), \quad (4)$$

а її ваговий коефіцієнт

$$w_1 = \cos \frac{\theta}{2}. \quad (5)$$

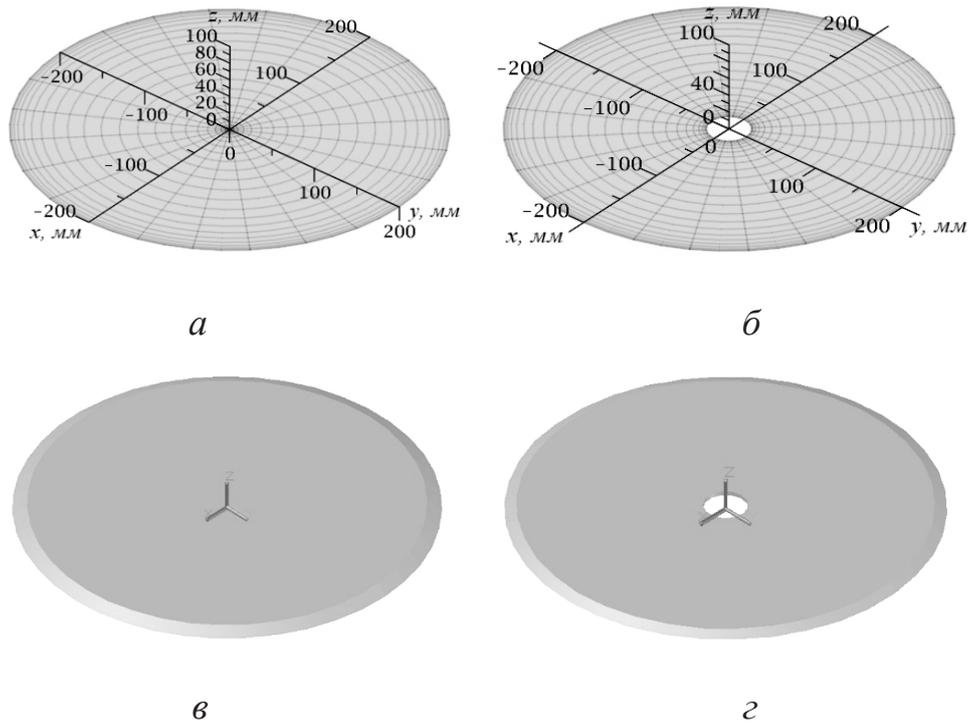
Кутова величина дуги

$$\theta = 2 \arcsin \left( \frac{\sqrt{D^2 / 4 + h^2}}{2R} \right). \quad (6)$$

Співвідношення (1) ... (6) визначають форму та розміри робочої поверхні сферичного диска. Для реалізації нижнього отвору з діаметром  $d$ , аналогічного представленим на рис. 1 і рис. 2, твірна крива рис. 3 зміщується вздовж осі  $x$  на відстань  $d/2$ , тому до абсцис (4) додається вказане значення. При цьому треба брати до уваги зростання на подвійну таку величину діаметра  $D$  диска. Зауважимо, що в даному разі маємо поверхню тора. Якщо ж твірна лінія є дугою еліпса, параболи або гіперболи, то отримуємо відповідно *еліптичну, параболічну та гіперболічну тороподібні поверхні*.

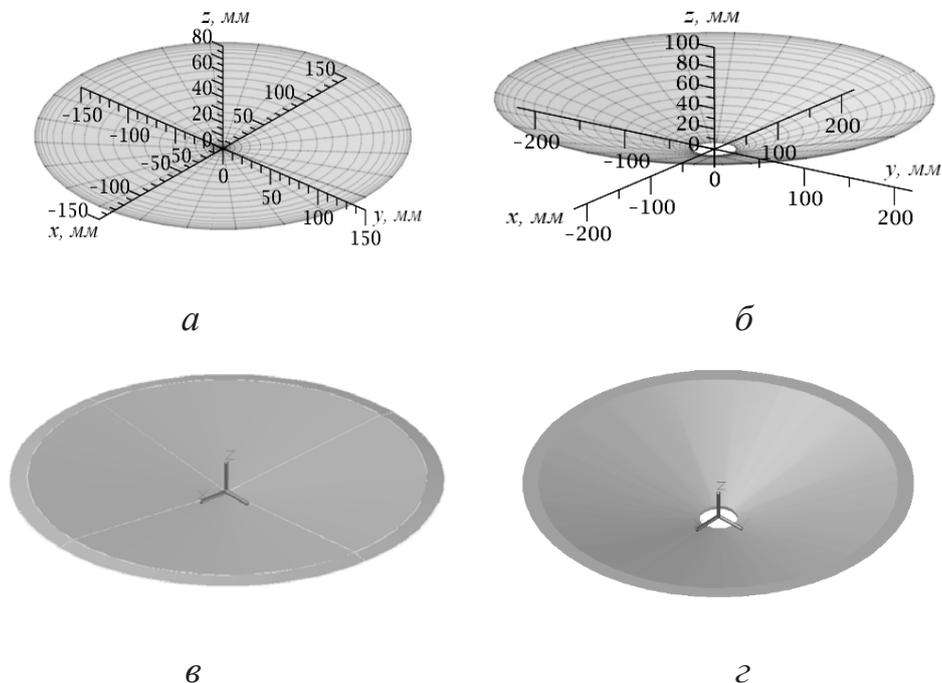
На рис. 4 ... рис. 8 подано конкретні приклади поверхонь і комп'ютерних твердотільних моделей розглянутих дискових робочих органів, створених на основі викладеного вище підходу до їх формоутворення. Символом  $\delta$  позначено товщину цих об'єктів.

Наведені в даній статті поверхні дисків створено в системі Maple, широко застосовуваній для продуктивного здійснення різноманітних математичних розрахунків, власником якої є компанія Maplesoft. Комп'ютерні твердотільні моделі поданих технічних об'єктів виконано за допомогою системи автоматизованого конструювання AutoCAD фірми Autodesk. Зауважимо, що вказані побудови можуть бути реалізовані також в інших подібних програмних пакетах. У першому зазначеному випадку мають на увазі, наприклад, платформа комп'ютерного математичного моделювання Mathcad корпорації Parametric Technology, MATLAB компанії MathWorks та ряд інших, а у другому – CAD/CAM/CAE-системи, зокрема такі, як Inventor фірми Autodesk, SolidWorks і CATIA компанії Dassault Systemes, NX розробника Siemens PLM Software тощо.



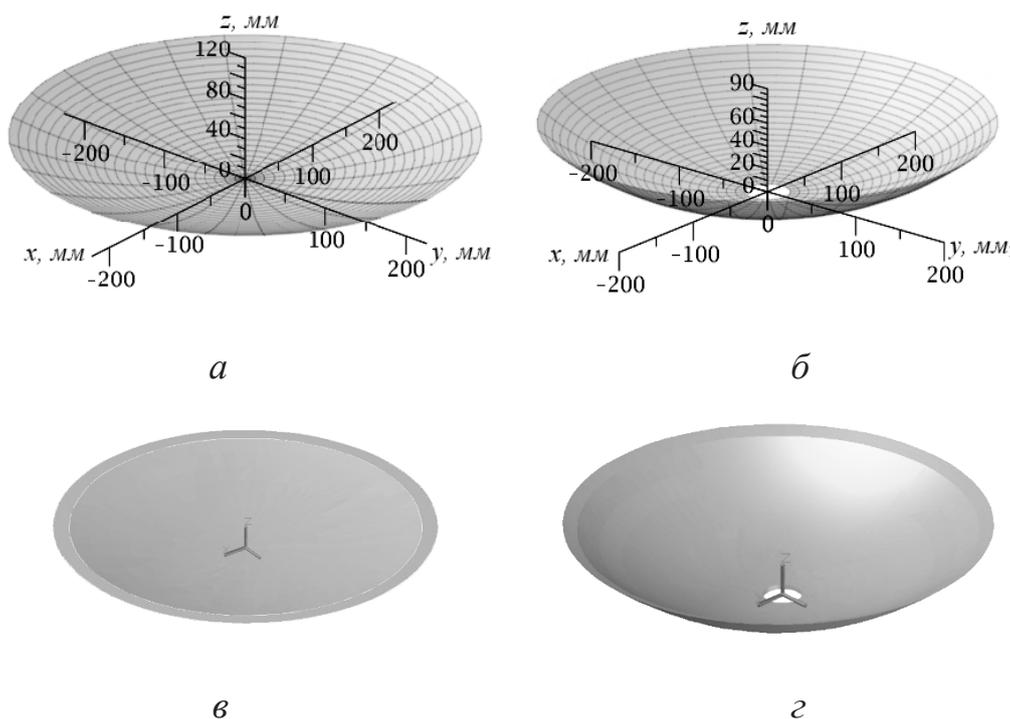
**Рис. 4. Плоскі диски:**  
*a* –  $D=400$  мм; *б* –  $D=400$  мм,  $d=40$  мм; *в* –  $D=400$  мм,  $\delta=5$  мм; *г* –  $D=400$  мм,  $d=40$  мм,  $\delta=4$  мм

На рис. 4 зображено *плоскі диски*, а на рис. 5 – *конічні диски*.



**Рис. 5. Конічні робочі органи:**  
*a* –  $D=300$  мм,  $h=10$  мм; *б* –  $D=400$  мм,  $d=40$  мм,  $h=50$  мм;  
*в* –  $D=380$  мм,  $h=15$  мм,  $\delta=4$  мм; *г* –  $D=350$  мм,  $d=35$  мм,  $h=50$  мм,  $\delta=4$  мм

Рис. 6 ілюструє сферичні та торові диски.



**Рис. 6. Сферичні та торові ґрунтообробні знаряддя:**  
*a* –  $D=450$  мм,  $R=600$  мм; *б* –  $D=400$  мм,  $R=300$  мм,  $d=40$  мм;  
*в* –  $D=350$  мм,  $R=600$  мм,  $\delta=5$  мм; *г* –  $D=400$  мм,  $R=300$  мм,  $d=30$  мм,  $\delta=4$  мм

Рис. 7 ілюструє деякі проєктні варіанти іншої, ніж проаналізовано вище, можливої форми ґрунтообробних дисків. Це стосується *параболоїдної* (рис. 7 *а*), *гіперболоїдної* (рис. 7 *б*), що угнуті донизу, та *еліптичної тороподібної* (рис. 7 *в*), яка опукла догори, *поверхонь*. Також не викликає сумнів існування суттєво більшого, ніж розглянуто, розмаїття геометричних фігур, яке здатна реалізувати запропонована модель формоутворення на засадах використання векторних раціональних параметричних кривих другого степеня.

На рис. 8 представлено схожі на диски фігури, що придатні для свого використання в інших, аніж сільське господарство, галузях життєдіяльності людей. Це додатковий раз підтверджує доволі широку номенклатуру промислової продукції, яку здатна охопити напрацьована узагальнена варіантна параметрична модель побудови робочих поверхонь дисків.

Усі представлені технічні об'єкти мають певні конструкційно-експлуатаційні параметри та характеристики відповідно до свого призначення. Наявна комп'ютерна гнучкість формоутворення сприяє дефініції належних оптимальних значень шляхом необхідної адаптації до різноманітних вимог, що висуваються під час автоматизованого проєктування.

### Висновки

У наш складний воєнний час окрім першочергових питань обороноздатності держави важливими є завдання збереження та розвитку економіки України, у якій одну з провідних ролей відіграє аграрний сектор. Тому дану публікацію присвячено подальшому вдосконаленню сільськогосподарської техніки на прикладі дискових ґрунтообробних знарядь. Останні доволі перспективні з погляду дотримання екологічних вимог, спрямованих на збереження наявних природних ресурсів та на забезпечення високої енергоефективності. Сприяння вирішенню зазначеної наукової прикладної проблеми реалізується шляхом запропонованого продуктивного

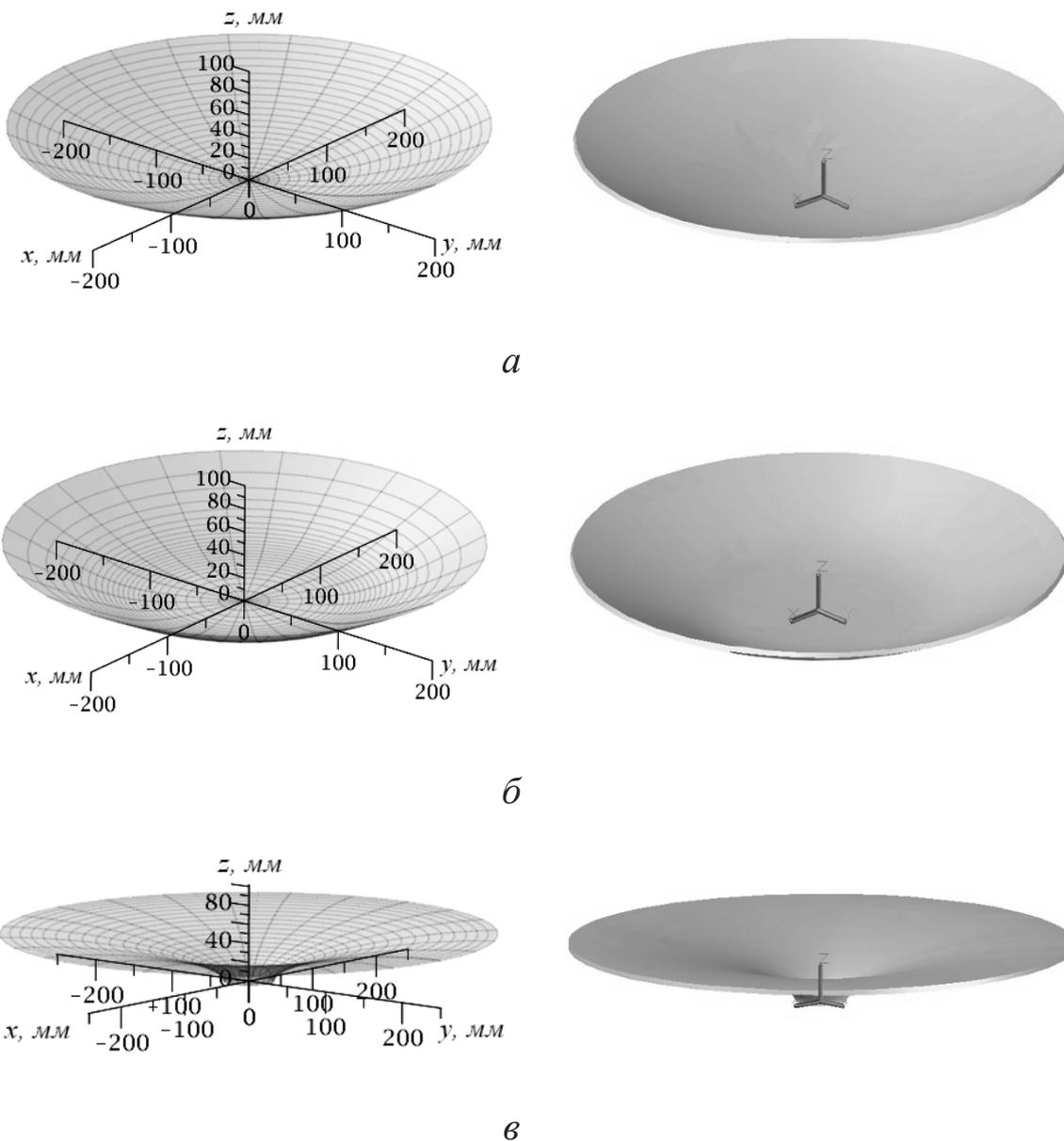


Рис. 7. Диски іншої форми:

*a* – параболоїдній,  $D=400$  мм,  $h=50$  мм,  $w_1=1$ ,  $r_0=(0$  мм,  $0$  мм,  $0$  мм),  $r_1=(D/4, 0$  мм,  $0$  мм),  $r_2=(D/2, 0$  мм,  $h)$ ,  $\delta=4$  мм;  
*б* – гіперолоїдній,  $D=400$  мм,  $h=50$  мм,  $w_1=3$ ,  $r_0=(0$  мм,  $0$  мм,  $0$  мм),  $r_1=(D/4, 0$  мм,  $0$  мм),  $r_2=(D/2, 0$  мм,  $h)$ ,  $\delta=4$  мм;  
*в* – еліптичної тороподібній,  $D=500$  мм,  $d=50$  мм,  $h=50$  мм,  $w_1=0,5$ ,  $r_0=(d/2, 0$  мм,  $0$  мм),  $r_1=(d/2, 0$  мм,  $h)$ ,  $r_2=(D/2, 0$  мм,  $h)$ ,  $\delta=5$  мм

комп'ютерного варіантного формоутворення вказаних технічних об'єктів на основі відповідної напрацьованої узагальненої геометричної моделі. Остання слугує базою для здійснення комплексної багатокритеріальної оптимізації проаналізованої промислової продукції в аспектах міцності, конструкції, технології виготовлення, експлуатації, надійності, економіки тощо. Завдяки своїй універсальності викладений підхід може бути поширений також на інші сфери життєдіяльності людей, зокрема машинобудування, хімічну, вугільну, нафтопереробну, легку та харчову промисловість, будівництво, медицину, побут і т. д., але це потребує проведення належних додаткових досліджень з окресленої тематики.

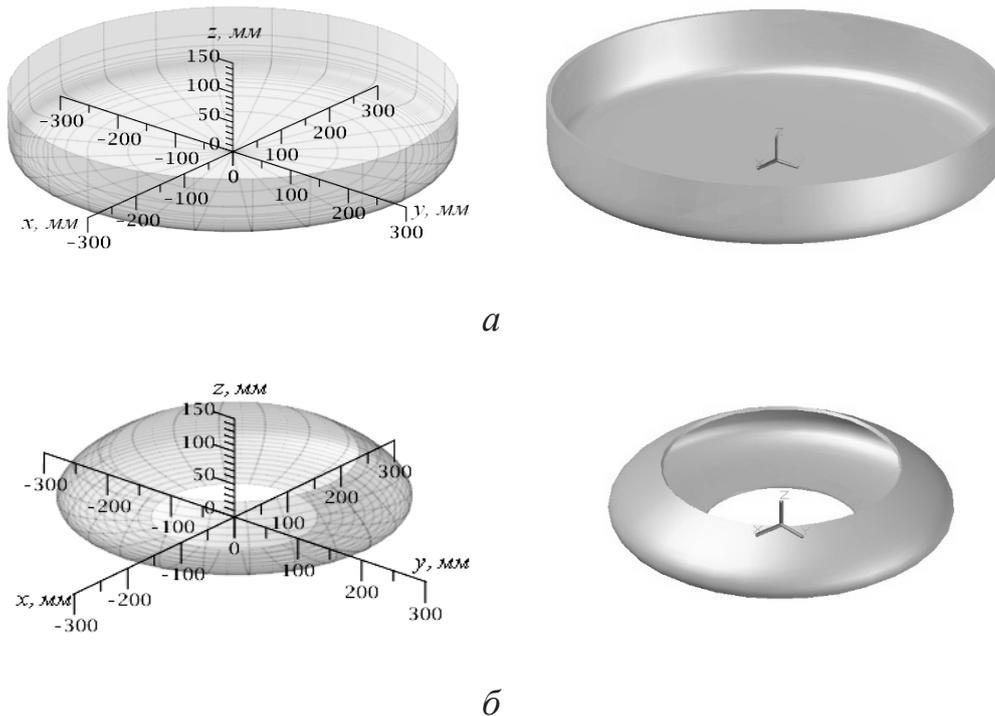


Рис. 8. Моделі для інших сфер застосування:

а –  $D=600$  мм,  $h=100$  мм,  $w_1=10$ ,  $r_0=(0$  мм,  $0$  мм,  $0$  мм),  $r_1=(D/2, 0$  мм,  $0$  мм),  $r_2=(D/2, 0$  мм,  $h)$ ,  $\delta=6$  мм;  
 б –  $D=600$  мм,  $d=200$  мм,  $h=100$  мм,  $w_1=1$ ,  $r_0=(d/2, 0$  мм,  $0$  мм),  $r_1=(D/2, 0$  мм,  $0$  мм),  $r_2=(3d/4, 0$  мм,  $h)$ ,  $\delta=5$  мм

### Список використаної літератури

1. Abbasi R., Martinez P., Ahmad, R. The digitization of agricultural industry – a systematic literature review on agriculture 4.0. *Smart Agricultural Technology*. 2022. Vol. 2, 100042. DOI: 10.1016/j.atech.2022.100042
2. 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. DOI: 10.33842/2313-125X-2022-17
3. Ванін В.В., Вірченко Г.А., Яблонський П.М. Деякі геометричні аспекти класифікації дискових робочих органів ґрунтообробних знарядь. *Сучасні проблеми моделювання*. 2019. Вип. 16. С. 70–75. DOI: 10.33842/2313-125X-2019-16
4. Ванін В.В., Вірченко Г.А., Яблонський П.М. Автоматизоване геометричне моделювання дискових робочих органів технічних об'єктів. *Інформаційні системи, механіка та керування*. 2019. Вип. 21. С. 5–13. DOI: 10.20535/2219-3804212019197602
5. Eltaief A., Amor S., Louhichi B., Alrasheedi N., Seibi A. Automated assessment tool for 3D computer-aided design models. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14(11), 4578. DOI: 10.3390/app14114578
6. Yablonskyi P., Rogovskii I., Virchenko G., Borek K., Volokha M., Golova O. Geometric modelling of disc furrow profile. *Journal of Engineering Sciences*. 2025. Vol. 12(1). P. E1–E8. DOI: 10.21272/jes.2025.12(1).e1
7. Вірченко Г.А., Голова О.О., Воробйов О.М., Надкернична Т.М., Лазарчук-Воробйова Ю.В. Структурно-параметрична модель поверхонь другого порядку. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2021. Вип. 100. С. 71–80. DOI: 10.32347/0131-579X.2021.100.71-80

### References

1. Abbasi, R., Martinez, P., & Ahmad, R. (2022). The digitization of agricultural industry – a systematic literature review on agriculture 4.0. *Smart Agricultural Technology*, 2, 100042. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100042> [in English].

2. Yablonskyi, P.M., Virchenko, G.A., Volokha, M.P., Vorobiov, O.M., & Lazarchuk-Vorobiova, Yu.V. (2022). Do pytannia analizu heometrychnykh modelei suchasnykh gruntoobrobnykh znariad [On the issue of analysis of geometric models of modern tillage tools]. *Suchasni problemy modeliuвання*, 24, 182–189. <https://doi.org/10.33842/2313-125X-2022-17> [in Ukrainian].
3. Vanin, V.V., Virchenko, G.A., & Yablonskyi, P.M. (2019). Deiaki heometrychni aspekty klasyfikatsii diskovykh robochykh orhaniv gruntoobrobnykh znariad [Some geometrical aspects of the classification of disc working bodies of tillage implements]. *Suchasni problemy modeliuвання*, 16, 70–75. <https://doi.org/10.33842/2313-125X-2019-16> [in Ukrainian].
4. Vanin, V.V., Virchenko, G.A., & Yablonskyi, P.M. (2019). Avtomatyzovane heometrychne modeliuвання diskovykh robochykh orhaniv tekhnichnykh obiektiv [Automated geometrical modelling of disc working bodies of technical objects]. *Informatsiini systemy, mekhanika ta keruvannya*, 21, 5–13. <https://doi.org/10.20535/2219-3804212019197602> [in Ukrainian].
5. Eltaief, A., Amor, S., Louhichi, B., Alrasheedi, N., & Seibi, A. (2024). Automated assessment tool for 3D computer-aided design models. *Applied Sciences*, 14(11), 4578. <https://doi.org/10.3390/app14114578> [in English].
6. Yablonskyi, P., Rogovskii, I., Virchenko, G., Borek, K., Volokha, M., & Golova, O. (2025). Geometric modelling 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].
7. Virchenko, G.A., Golova, O.O., Vorobiov, O.M., Nadkernichna, T.M., & Lazarchuk-Vorobiova, Yu.V. (2021). Strukturno-parametrychna model poverkhon drugoho poriadku [Structural-parametric model of second-order surfaces]. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika*, 100, 71–80. <https://doi.org/10.32347/0131-579X.2021.100.71-80> [in Ukrainian].

Вірченко Геннадій Анатолійович – д.т.н., професор, завідувач кафедри нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». E-mail: [kpivir@gmail.com](mailto:kpivir@gmail.com), ORCID: 0000-0001-9586-4538.

Воробійов Олексій Миколайович – ст. викладач кафедри нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». E-mail: [vorobyov.kpi@gmail.com](mailto:vorobyov.kpi@gmail.com), ORCID: 0000-0001-5314-1075.

Яблонський Петро Миколайович – к.т.н., доцент, доцент кафедри нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». E-mail: [ypn@ukr.net](mailto:ypn@ukr.net), ORCID: 0000-0002-1971-5140.

Virchenko Gennadii Anatoliyovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Descriptive Geometry, Engineering and Computer Graphics of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». E-mail: [kpivir@gmail.com](mailto:kpivir@gmail.com), ORCID: 0000-0001-9586-4538.

Vorobiov Oleksii Mykolaiovych – Senior Teacher at the Department of Descriptive Geometry, Engineering and Computer Graphics of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». E-mail: [vorobyov.kpi@gmail.com](mailto:vorobyov.kpi@gmail.com), ORCID: 0000-0001-5314-1075.

Yablonskyi Petro Mykolaiovych – Ph.D in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Descriptive Geometry, Engineering and Computer Graphics of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». E-mail: [ypn@ukr.net](mailto:ypn@ukr.net), ORCID: 0000-0002-1971-5140.

Отримано: 14.10.2025

Рекомендовано: 01.12.2025

Опубліковано: 30.12.2025

