

УДК 004.925.8:631.3

DOI: <http://doi.org/10.20535/2219-3804212019197602>

В. В. Ванін¹, професор, д.т.н., Г. А. Вірченко², професор, д.т.н.,
П. М. Яблонський³, к.т.н.

АВТОМАТИЗОВАНЕ ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИСКОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

En

The current stage of development of society is based on the multifaceted use of computer information technologies, in particular, for the design and manufacture of various technical objects. Therefore, further improvement of the methods of computer-aided design is an urgent scientific and applied problem in our time.

The aim of the article is to outline the theoretical foundations of creating computer information technologies for effective geometric modeling of various groups of technical objects. The proposed integrated group approach is based, on the one hand, on the general classification of figures by dimension, geometric methods of their construction and modifications, and on the other hand, on the completed classification of objects of modeling and production processes of their manufacture.

The research materials are illustrated by the example of such a group of technical objects as disk working bodies of tillage tools of agricultural engineering products. The presented approach is based on the methodology of structural-parametric geometric modeling created by the Scientific School of Applied Geometry of the Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute and is its further evolution.

The methodology developed by the authors is largely invariant with respect to many engineering objects. This constitutes a significant scientific and applied value of the proposed approach of computer geometric modeling of industrial products. The relevance of the analyzed scientific and applied problem is due to the special importance of the processes of shaping in the design and manufacture of technical objects.

A promising area of scientific research is the further generalization and integration of various approaches, in particular, structural-parametric, multidimensional geometry and special disciplines. This will allow using the development of appropriate new methods and techniques to create better computer models of many technical objects and processes, to increase the efficiency of the practical use of computer-aided design systems.

Ru

Цель статьи состоит в изложении теоретических основ создания компьютерных информационных технологий для эффективного геометрического моделирования разнообразных групп технических объектов. Материалы исследования проиллюстрированы на примере дисковых рабочих органов почвообрабатывающих орудий. Предложенный подход является в значительной степени инвариантным по отношению ко многим изделиям машиностроения. Актуальность данной научно-прикладной проблемы обусловлена особой важностью процессов формообразования при проектировании и изготовлении промышленной продукции. Показано, что компьютерные информацион-

¹ КПИ ім. Ігоря Сікорського

² КПИ ім. Ігоря Сікорського

³ КПИ ім. Ігоря Сікорського

ные технологии служат хорошей базой для успешного практического решения указанных выше задач.

Вступ

Нині автоматизоване геометричне моделювання становить одну із фундаментальних основ комп'ютерного опрацювання різноманітних виробів промисловості. Досконалість застосовуваних методів і прийомів математичного формоутворення технічних об'єктів значною мірою визначає загальну ефективність останніх протягом усього їх життєвого циклу.

Науковою школою прикладної геометрії КПІ ім. Ігоря Сікорського приділяється особлива увага зазначеним дослідженням [1], одним із перспективних напрямків яких є структурно-параметричне формоутворення [2]. У даній публікації підкреслено таку важливу його особливість, як здатність продуктивно інтегрувати автоматизоване проектування технічних об'єктів. Працею [3] запропоновано доповнити методологію структурно-параметричного геометричного моделювання принципом інтеграції, що полягає не тільки у поєднанні етапів життєвого циклу промислової продукції, а й відповідних засобів автоматизованого формоутворення у вигляді належного математичного апарату. Це дозволяє ефективно реалізовувати комплексне оптимальне геометричне моделювання різноманітних технічних об'єктів. Деякі питання розглянутого плану подано у виданнях [4, 5] стосовно оптимізації ультразвукового технологічного обладнання та виготовлення композиційних волокнистих матеріалів, статті [6] – щодо проектування нафтопереробного обладнання, публікації [7] – із приводу комп'ютерного варіантного моделювання поверхонь біонічних архітектурних форм, праці [8] – відносно динамічного формоутворення технічних об'єктів на прикладі крила літака. Серед невирішених завдань актуальною постає задача подальшого узагальнення застосовуваних методів, способів і прийомів автоматизованого геометричного моделювання, підвищення ефективності їх практичного використання у середовищі сучасних комп'ютерних інформаційних технологій.

Постановка задачі

Мета статті полягає у поданні теоретичних основ запропонованої методики автоматизованого геометричного моделювання групи технічних об'єктів на прикладі дискових ґрунтообробних знарядь шляхом узагальнення засобів комп'ютерного формоутворення на засадах використання принципу інтеграції структурно-параметричної методології.

Основний матеріал дослідження

Деякі відомості стосовно дискових ґрунтообробних знарядь містяться у публікаціях [9 – 11]. Для подальшого успішного застосування групових комп'ютерних інформаційних технологій на основі структурно-параметричного підходу у статті [12] виконано належну геометричну класифікацію даних виробів.

Засоби автоматизованого геометричного моделювання

У загальному випадку для формоутворення технічних об'єктів використовуватимемо геометричні фігури (ГФ), визначені множиною

$$\text{ГФ} = (\text{ГФ}_i)_0^{N_{\text{ГФ}}} = (\text{ГФ}_i)_0^5, \quad (1)$$

де $\text{ГФ}_0 = \text{ТЧ}$ – точки, $\text{ГФ}_1 = \text{ЛН}$ – лінії, $\text{ГФ}_2 = \text{ПФ}$ – поверхні,

$\text{ГФ}_3 = \text{ТЛ}$ – тіла, $\text{ГФ}_4 = \text{БФ}$ – багатовимірні фігури,

$\text{ГФ}_5 = \text{КФ}$ – комбіновані фігури.

Застосовувані геометричні способи (ГС) моделювання фігур (1) опишуватимемо кортежем

$$\text{ГС} = (\text{ГС}_i)_1^{N_{\text{ГС}}} = (\text{ГС}_i)_1^2, \quad (2)$$

де $\text{ГС}_1 = \text{ГСС}$ – геометричні способи створення, $\text{ГС}_2 = \text{ГСМ}$ – геометричні способи модифікації.

Більш докладно елементи множини (2) подамо у вигляді

$$\text{ГС}_1 = (\text{ГС}_{1_j})_1^{N_{\text{ГС}_1}} = (\text{ГС}_{1_j})_1^2, \quad (3)$$

де $\text{ГС}_{1_1} = \text{кінематичні}$, $\text{ГС}_{1_2} = \text{аналітичні}$;

$$\text{ГС}_2 = (\text{ГС}_{2_j})_1^{N_{\text{ГС}_2}} = (\text{ГС}_{2_j})_1^3, \quad (4)$$

де $\text{ГС}_{2_1} = \text{рух}$, $\text{ГС}_{2_2} = \text{деформація}$, $\text{ГС}_{2_3} = \text{операції над множинами точок}$.

Компоненти виразів (3) та (4) визначимо наступним чином

$$\text{ГС}_{1_1} = (\text{ГС}_{1_{1k}})_1^{N_{\text{ГС}_{1_1}}} = (\text{ГС}_{1_{1k}})_1^5, \quad (5)$$

де для $\text{ГС}_{1_{1k}}$ індексу k відповідають твірні фігури формули (1);

$$\text{ГС}_{1_2} = (\text{ГС}_{1_{2k}})_1^{N_{\text{ГС}_{1_2}}} = (\text{ГС}_{1_{2k}})_1^2, \quad (6)$$

де $\text{ГС}_{1_{2_1}} = \text{алгебраїчні}$, $\text{ГС}_{1_{2_2}} = \text{трансцендентні}$;

$$\text{ГС}_{2_1} = (\text{ГС}_{2_{1k}})_1^{N_{\text{ГС}_{2_1}}} = (\text{ГС}_{2_{1k}})_1^3, \quad (7)$$

де $\text{ГС}_{2_{1_1}} = \text{прямолінійний}$, $\text{ГС}_{2_{1_2}} = \text{обертальний}$, $\text{ГС}_{2_{1_3}} = \text{складний}$;

$$\Gamma C_{2_2} = (\Gamma C_{2_{2k}})_1^{N_{\Gamma C_{2_2}}} = (\Gamma C_{2_{2k}})_1^2, \quad (8)$$

де $\Gamma C_{2_{21}}$ = зміна розмірів, $\Gamma C_{2_{2_2}}$ = зміна форми;

$$\Gamma C_{2_3} = (\Gamma C_{2_{3k}})_1^{N_{\Gamma C_{2_3}}} = (\Gamma C_{2_{3k}})_1^3, \quad (9)$$

де $\Gamma C_{2_{3_1}}$ = віднімання, $\Gamma C_{2_{3_2}}$ = об'єднання, $\Gamma C_{2_{3_3}}$ = перетин.

Множини (5) ... (9) для конкретних умов геометричного моделювання подаються більш докладно, наприклад, кінематичні способи створення – у залежності від застосовуваних напрямних ліній, аналітичні способи створення – згідно із використовуваними видами алгебраїчних і трансцендентних виразів; геометричні способи модифікації – відповідно до особливостей прямолінійного, обертального та складного руху, змінювання розмірів і форми тощо.

Методика комп'ютерного формоутворення

Запропонована методика автоматизованого геометричного моделювання певної групи технічних об'єктів, наприклад, дискових ґрунтообробних знарядь, у середовищі сучасних комп'ютерних інформаційних технологій полягає у виборі із інваріантних засобів формоутворення (1) ... (9) необхідних компонентів для побудови опрацьовуваних виробів. Так створюється відповідний конкретний потрібний для геометричного моделювання програмний модуль.

Згідно із даними публікацій [9 – 11] та результатами дослідження [12] форма базової поверхні (ФБП) дискових ґрунтообробних знарядь може бути:

$$\text{ФБП} = (\text{ФБП}_i)_1^{N_{\text{ФБП}}} = (\text{ФБП}_i)_1^4, \quad (10)$$

де ФБП₁ – плоска, ФБП₂ – конічна, ФБП₃ – сферична, ФБП₄ – комбінована;
– застосовувані отвори

$$\text{ОТВ} = (\text{ОТВ}_i)_1^{N_{\text{ОТВ}}} = (\text{ОТВ}_i)_1^3, \quad (11)$$

де ОТВ₁ – круглі, ОТВ₂ = (ОТВ_{2_1}, ОТВ_{2_2}) = (квадратні, шестигранні) – некруглі, ОТВ₃ – комбіновані;
– використовувані вирізи

$$\text{ВРЗ} = (\text{ВРЗ}_i)_1^{N_{\text{ВРЗ}}} = (\text{ВРЗ}_i)_1^5, \quad (12)$$

де ВРЗ₁ – без вирізів, ВРЗ₂ = (ВРЗ_{2_1}, ВРЗ_{2_2}) = (V – подібні, трапецеїдальні) – складені прямолінійні контури, ВРЗ₃ – дуги кіл, ВРЗ₄ = (ВРЗ_{4_1}, ВРЗ_{4_2}) = (циклоїдальні, синусоїдальні) – вирізи хвилясті, ВРЗ₅ – комбіновані.

Загальний технологічний процес виготовлення дискових робочих органів (10) ... (12) включає послідовність таких технологічних операцій (ТО)

$$TO = (TO_i)_1^{N_{TO}} = (TO_i)_1^4, \quad (13)$$

де TO_1 – обрізати зовнішній контур заготованки, TO_2 – сформувати отвори, TO_3 – зробити вирізи, TO_4 – деформувати диск.

Конкретні потрібні види дискових ґрунтообробних знарядь (ДГЗ), які створено на основі плоских (ФБП₁), сферичних (ФБП₃) та відповідних комбінованих базових поверхонь (ФБП₄); використання комбінованих отворів (ОТВ₃) із круглих (ОТВ₁), квадратних (ОТВ_{2,1}) і шестигранних (ОТВ_{2,2}); із вирізами V – подібними (ВРЗ_{2,1}) та у вигляді дуг кіл (ВРЗ₃) визначимо множиною

$$ДГЗ = (ДГЗ_i)_1^{N_{ДГЗ}} = (ДГЗ_i)_1^{12}, \quad (14)$$

де $ДГЗ_1 = (ФБП_1, ОТВ_3=(ОТВ_{2,1}, ОТВ_1), ВРЗ_{2,1})$,

$ДГЗ_2 = (ФБП_1, ОТВ_3=(ОТВ_{2,1}, ОТВ_1), ВРЗ_{2,1})$,

$ДГЗ_3 = (ФБП_1, ОТВ_3=(ОТВ_{2,1}, ОТВ_1), ВРЗ_3)$,

$ДГЗ_4 = (ФБП_1, ОТВ_3=(ОТВ_{2,2}, ОТВ_1), ВРЗ_3)$,

$ДГЗ_5 = (ФБП_3, ОТВ_3=(ОТВ_{2,1}, ОТВ_1), ВРЗ_{2,1})$,

$ДГЗ_6 = (ФБП_3, ОТВ_3=(ОТВ_{2,2}, ОТВ_1), ВРЗ_{2,1})$,

$ДГЗ_7 = (ФБП_3, ОТВ_3=(ОТВ_{2,1}, ОТВ_1), ВРЗ_3)$,

$ДГЗ_8 = (ФБП_3, ОТВ_3=(ОТВ_{2,2}, ОТВ_1), ВРЗ_3)$,

$ДГЗ_9 = (ФБП_4=(ФБП_3, ФБП_1), ОТВ_3=(ОТВ_{2,1}, ОТВ_1), ВРЗ_{2,1})$,

$ДГЗ_{10} = (ФБП_4=(ФБП_3, ФБП_1), ОТВ_3 = (ОТВ_{2,2}, ОТВ_1), ВРЗ_{2,1})$,

$ДГЗ_{11} = (ФБП_4 = (ФБП_3, ФБП_1), ОТВ_3=(ОТВ_{2,1}, ОТВ_1), ВРЗ_3)$,

$ДГЗ_{12} = (ФБП_4=(ФБП_3, ФБП_1), ОТВ_3=(ОТВ_{2,2}, ОТВ_1), ВРЗ_3)$.

Невелика кількість наведених видів дискових ґрунтообробних знарядь $N_{ДГЗ}=12$ у виразі (14) обумовлена обмеженими обсягами цієї публікації. Із поданої інформації видно, що диск $ДГЗ_1$ сформовано на основі плоскої базової поверхні з комбінованими отворами (квадратний у центрі, круглі навколо нього) та V – подібними вирізами, а диск $ДГЗ_2$ – таким же чином, але замість квадратного застосовано шестигранний отвір. Вироби $ДГЗ_3$ та $ДГЗ_4$ є подібними до попередніх, але із використанням вирізів у вигляді дуг кіл. Диски $ДГЗ_5$... $ДГЗ_8$ повторюють розглянуті, але із базовою сферичною поверхнею. Це ж стосується виробів $ДГЗ_9$... $ДГЗ_{12}$ із базовою сферично-плоскою поверхнею.

Для інтегрованих комп'ютерних технологій в аспекті реалістичного відтворення життєвого циклу промислової продукції важливим моментом є належне відображення виробничих процесів, наприклад (13), які здійс-

нюються штампуванням, фрезеруванням, свердлінням, лазерним різанням тощо. Зазначені операції стосуються твердотільного формоутворення із застосуванням необхідних інструментів. У праці [13] проаналізовано розробку математичних моделей такого різального інструменту як фрези, свердла тощо у вигляді фігур обертання із використанням запропонованого способу узагальненого контуру. Зауважимо, що наведені прийоми також цілком підходять для відтворення й лазерного променя.

Для формування зовнішнього контуру заготовки диска, його отворів та вирізів за допомогою штампування необхідно мати математичну модель відповідного інструменту у вигляді прямої призми або прямого циліндра. Потрібні векторні параметричні рівняння у декартовій системі координат $Oxyz$ на базі способу узагальненого контуру мають вигляд

$$\mathbf{r}(u, v, w) = (x, y, z) = (vr_x(u), vr_y(u), wH), \quad (15)$$

де $\mathbf{r}(u, v, w)$ – радіус-вектор точок фігури; $u \in [0, 1]$, $v \in [0, 1]$, $w \in [0, 1]$ – параметри; $r_x(u)$, $r_y(u)$ – абсциса та ордината замкненого зовнішнього контуру $r(u)$ нижньої основи у площині $z = 0$; H – висота призми або циліндра.

Залежність (15) відповідає поданому вище геометричному засобу $ГС_{1_2}$, тобто кінематичному способу створення тіла за допомогою поверхні (належного поперечного перерізу інструмента). Це ж стосується й розглянутих у публікації [13] фрез, свердел тощо. Але у останньому випадку, на відміну від попереднього, у якості напрямної застосовано не відрізок прямої лінії, а коло.

Зупинимось коротко на складі технологічних операцій (13) для конкретних дисків (14). Наразі маємо

$$ДГЗ_{i=1}^4 = (ТО_k)_1^3, \quad ДГЗ_{i=5}^{12} = (ТО_k)_1^4. \quad (16)$$

Технологічні операції (16) реалізуються різноманітними наведеними вище засобами автоматизованого формоутворення. Для $ТО_1$, $ТО_2$ та $ТО_3$ це можуть бути геометричні способи модифікації шляхом виконання операцій віднімання $ГС_{2_3_1}$ від множини точок опрацьовуваного виробу належних точок відповідного інструмента. Даний процес моделюється як миттєвий або динамічний (у часі), наприклад, згідно із поданою у статті [14] методикою. Для операції $ТО_4$ підходить засіб $ГС_{2_2_2}$ із урахуванням умов конкретного виробництва.

Приклади отриманих результатів

На рис. 1 показано загальний вигляд деяких комп'ютерних параметричних твердотільних моделей опрацьованих дискових ґрунтообробних знарядь.

Розділ 1. Інформаційні системи

Рис. 2 представляє стадії виготовлення диска ДГЗ₈, що реалізовані за допомогою поданої методики автоматизованого формоутворення групи технічних об'єктів.

Таким чином, нами викладено базові теоретичні положення запропонованої методики комп'ютерного геометричного моделювання групи технічних об'єктів, проаналізовано відповідні засоби і прийоми формоутворення, проілюстровано практичними прикладами отримані наукові результати.

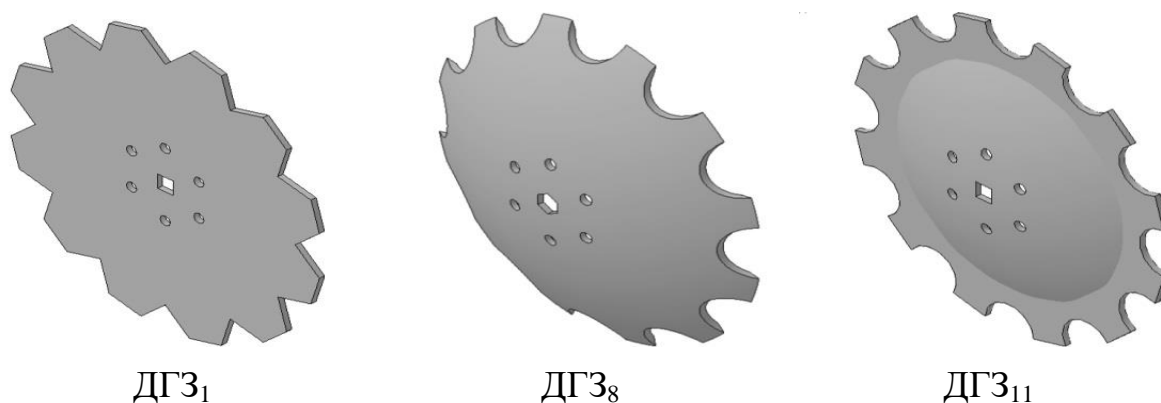


Рис. 1. Комп'ютерні моделі дисків із комбінованими отворами:

ДГЗ₁ – плоский із V – подібними вирізами;

ДГЗ₈ – сферичний із вирізами у вигляді дуг кіл;

ДГЗ₁₁ – із базовою сферично-плоскою поверхнею та вирізами у вигляді дуг кіл

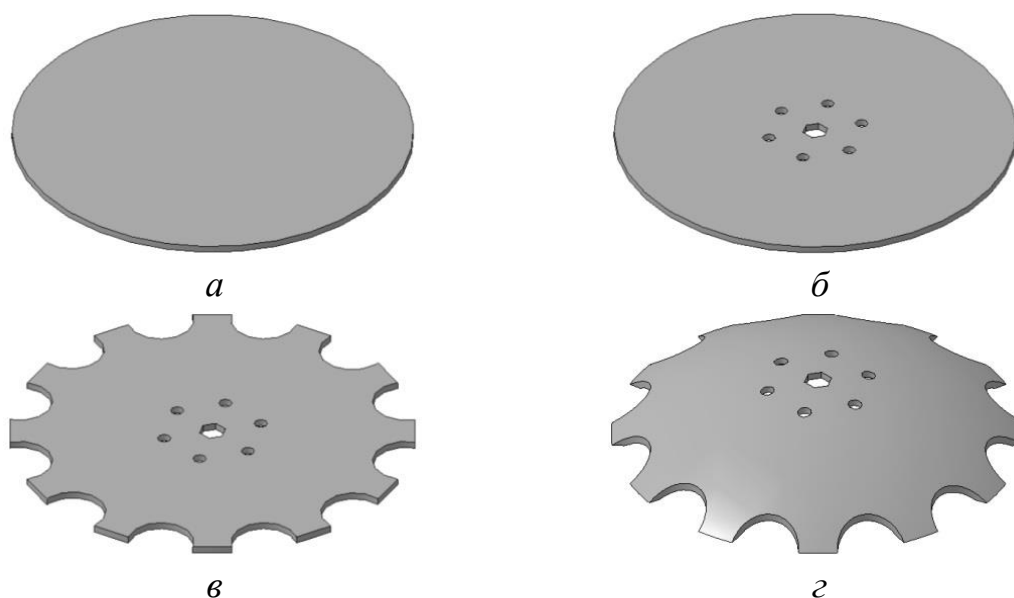


Рис. 2. Комп'ютерні моделі стадій виготовлення диска ДГЗ₈:

a – плоска заготовка після обрізання зовнішнього контуру;

б – сформовані отвори; *в* – зроблені вирізи;

г – отримана сферична поверхня

Висновки

Головною перевагою розробленого підходу до автоматизованого геометричного моделювання порівняно з існуючими є забезпечення продуктивного формування великого числа структурно-параметричних варіантів опрацьовуваних виробів. Це дозволяє підвищувати ефективність комп'ютерного проектування промислової продукції завдяки можливості проведення аналізу більшої кількості її різновидів та визначення на підставі цього оптимального із них.

Також важливим є інваріантний характер запропонованої методики формоутворення, що поширюється й на інші, ніж загальне машинобудування, галузі промисловості, зокрема, приладобудування, ракетно-космічну галузь, робототехніку тощо. Зазначений напрямок становить перспективи проведення подальших наукових досліджень.

Список використаної літератури

1. *Ванін В. В., Вірченко Г. А., Гумен О. М., Юрчук В. П., Яблонський П. М.* Сучасний стан і перспективи подальшого розвитку наукової школи прикладної геометрії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Прикладні питання математичного моделювання. Херсон: ХНТУ, 2018. Вип. 2. С. 17-23.
2. *Ванін В. В., Вірченко Г. А., Гетьман О. Г., Яблонський П. М.* Структурно-параметричне формоутворення як засіб інтеграції автоматизованого проектування технічних об'єктів. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Київ: КНУБА, 2019. Вип. 95. С. 46-50.
3. *Яблонський П. М.* Деякі питання узагальнення засобів геометричного моделювання для проектування технічних об'єктів. Сучасні проблеми моделювання. Мелітополь: МДПУ, 2018. Вип. 13. С. 192-198.
4. *Вірченко Г. А., Колосова О.П.* Застосування структурно-параметричного геометричного моделювання для оптимізації конструкції хвилеводів і концентраторів ультразвукового технологічного обладнання. Вісник Херсонського нац. техн. ун-ту. Херсон: ХНТУ, 2014. Вип. 4(51). С. 145-149.
5. *Kolosov A. E., Virchenko G. A., Kolosova E. P., Virchenko G. I.* Structural and Technological Design of Ways for Preparing Reactoplastic Composite Fiber Materials Based on Structural Parametric Modeling. [Chemical and Petroleum Engineering](#), 2015. Volume 51, [Issue 7](#). P. 493-500.
6. *Ванін В. В., Вірченко Г. А., Вірченко Г. І.* Застосування структурно-параметричного моделювання для проектування нафтопереробного обладнання. Вісник нац. техн. ун-ту України «КПІ». Серія «Хімічна інже-

- нерія, екологія та ресурсозбереження». Київ: НТУУ «КПІ», 2016. Вип. № 1 (15). С. 10 – 15.
7. *Вирченко Г. А.*, Шамбина С. Л. Компьютерное вариантное моделирование поверхностей бионических архитектурных форм. Вестник Российского университета дружбы народов. Инженерные исследования. Москва: РУДН, 2016. № 3. С. 79–83.
 8. *Vanin V.*, *Virchenko G.*, *Virchenko S.*, *Nezenko A.* Computer variant dynamic forming of technical objects on the example of the aircraft wing. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Kharkiv: Technology Center, 2017. № 6/7 (90). P. 67–73.
 9. *Бабицкий Л. Ф.*, Меренов А. С. Анализ конструкции дисковых почвообрабатывающих рабочих органов. Наукові праці Південного філіалу Національного ун-ту біоресурсів і природокористування України «Кримський агротехнологічний університет». Технічні науки. 2013. Вип. 153. С. 176-182.
 10. *Лысыч М. Н.* Анализ конструкций дисковых рабочих органов почвообрабатывающих орудий и возможностей их применения в условиях лесных вырубок. Современные проблемы науки и образования [электронный научный журнал], 2014. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=16354>.
 11. *Трубилин Е. И.*, Сохт К. А., Коновалов В. И., Данюкова О. В. Рабочие органы дисковых борон и луцильников. Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. Краснодар: КубГАУ, 2013. № 91 (07). URL: <http://ej.kubagro.ru/2013/07/pdf/95.pdf>
 12. *Ванін В. В.*, *Вірченко Г. А.*, *Яблонський П. М.* Деякі геометричні аспекти класифікації дискових робочих органів ґрунтообробних знарядь. Сучасні проблеми моделювання. Мелітополь: МДПУ, 2019. Вип. 16. С. 70 – 75.
 13. *Яблонський П. М.* Деякі питання узагальнення формоутворення різального інструменту. Вісник Херсонського нац. техн. ун-ту. Херсон: ХНТУ, 2019. Вип. 1 (68). С. 73-77.
 14. *Вірченко С. Г.* Деякі аспекти комп'ютерного динамічного геометричного моделювання процесів фрезерування. Сучасні проблеми моделювання. Мелітополь: МДПУ, 2017. Вип. 10. С. 31 – 35.