

д. т. н., професор **Ванін В. В.**,
fmf@kpi.ua, ORCID: 0000-0001-7008-7269

д. т. н., професор **Вірченко Г. А.**,
kpivir@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9586-4538

д. т. н., с. н. с. **Волоха М. П.**,
volmp@i.ua, ORCID: 0000-0002-0112-7324

к. т. н., доцент **Яблонський П. М.**,
ypn@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1971-5140

ст. викладач **Воробйов О. М.**,
vorobyov.kpi@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5314-1075

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДО ПИТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ҐРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ ЗАСОБАМИ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО ФОРМОУТВОРЕННЯ

На сучасному етапі розвитку України критично важливим для економіки нашої держави є сільськогосподарське виробництво. Ця галузь нині відіграє провідну роль у стабілізації багатьох належних процесів. Тому подальше підвищення її ефективності становить актуальну суспільну проблему. Одним із шляхів успішного вирішення розглянутого питання слугує вдосконалення застосовуваних технічних знарядь, зокрема, ґрунтообробних. Зазначеній темі присвячено дану публікацію.

Продуктивним напрямком розв'язання вказаних задач є широке використання комп'ютерних інформаційних технологій, у даному разі систем автоматизованого проектування. Основу необхідного функціонування більшості з них забезпечує геометричне моделювання. Останнє дозволяє не тільки потрібним чином унаочнити об'єкти та процеси, що аналізуються, а й в багатьох випадках суттєво спростити опрацьовувані завдання.

Науковою школою прикладної геометрії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» розроблено прогресивну методологію структурно-параметричного формоутворення різноманітної промислової продукції. Зазначений підхід сприяє ефективному проведенню комплексної оптимізації складних виробів. Його було вдало апробовано у вітчизняній авіаційній галузі. Але, ґрунтообробні знаряддя мають певні свої особливості, які обов'язково треба враховувати під час їх автоматизованого проектування. Ці аспекти беруться до уваги в даному прикладному дослідженні, що спирається на відповідні попередні розвідки авторів.

У якості конкретного прикладу для ілюстрації запропонованої методики комп'ютерного геометричного моделювання обрано лапу-полицю культиваторів. У статті також окреслено напрямки поширення напрацьованих прийомів формоутворення на інші ґрунтообробні знаряддя. Це становить сферу проведення відповідних подальших наукових прикладних досліджень з розглянутої теми.

Ключові слова: автоматизоване проєктування; геометричне моделювання; ґрунтообробні знаряддя; комплексна оптимізація; лапа-полиця; сільськогосподарське виробництво; структурно-параметричне формоутворення.

Постановка проблеми. У нинішній час для України доволі важливе сільськогосподарське виробництво. Підвищення його ефективності становить актуальну науково-прикладну задачу. Один із шляхів її розв'язання полягає у вдосконаленні застосовуваних технічних знарядь, зокрема, ґрунтообробних. Успішно вирішувати наведене питання дозволяють системи автоматизованого проєктування, базовим компонентом яких є комп'ютерне геометричне моделювання. Перспективна в розглянутому плані методологія структурно-параметричного формоутворення, що напрацьована науковою школою прикладної геометрії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Працями [1–5] подано базові відомості про сільськогосподарські машини стосовно їх конструкції та практичного використання. У виданні [6] викладено основні положення структурно-параметричного геометричного моделювання, а у статті [7] запропоновано його вдосконалення завдяки *принципу інтеграції*. Останній спрямований на поєднання таких стадій життєвого циклу технічних об'єктів як проєктування, виготовлення та експлуатація з належними засобами комп'ютерного формоутворення. Це сприяє проведенню комплексної оптимізації різноманітної промислової продукції. У публікації [8] описано *спосіб розроблення інтегрованих класифікацій для автоматизованого формоутворення груп технічних об'єктів*, що забезпечує підвищення продуктивності їх проєктування.

Цілі та завдання статті полягають у викладенні запропонованої методики комп'ютерного геометричного моделювання ґрунтообробних знарядь на прикладі лап-полиць культиваторів, окресленні напрямків її поширення на інші машини сільськогосподарського виробництва.

Основна частина. Дане дослідження спирається на попередні праці авторів, зокрема видання [8], в якому ґрунтообробні знаряддя ΓZ визначено кортежем

$$\Gamma Z = (\Gamma Z_i)_1^{N_{\Gamma Z}} = (\Gamma Z_i)_1^3, \quad (1)$$

де $\Gamma З_1 = \Gamma ЗО$ – основного, $\Gamma З_2 = \Gamma ЗП$ – поверхневого, $\Gamma З_3 = \Gamma ЗС$ – спеціального обробітку.

Другий елемент множини (1)

$$\Gamma ЗП = (\Gamma ЗП_i)_1^{N_{\Gamma ЗП}} = (\Gamma ЗП_i)_1^5, \quad (2)$$

де $\Gamma ЗП_1 = БР$ – борони, $\Gamma ЗП_2 = КЛ$ – культиватори, $\Gamma ЗП_3 = КТ$ – котки; $\Gamma ЗП_4 = ФР$ – фрези; $\Gamma ЗП_5 = КМ$ – комбіновані.

Згідно з літературними джерелами [1, 2] робочі органи культиваторів *КЛ* показано на рис. 1.

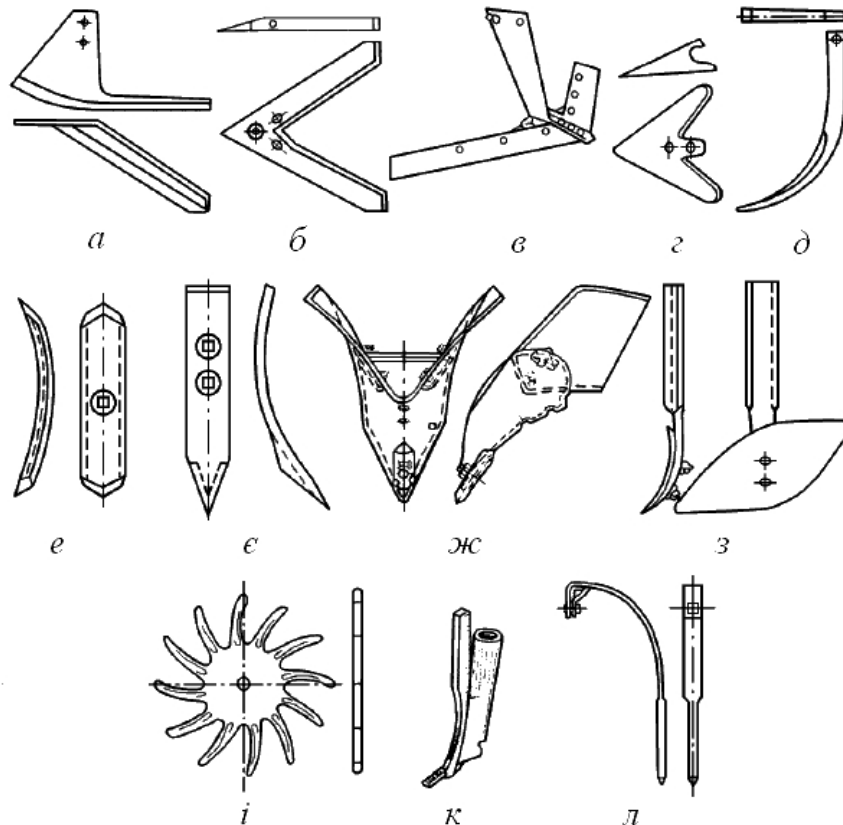


Рис. 1. Робочі органи культиваторів [2]:

- a* – однобічна лапа; *б* – стрілочаста лапа без хвостовика; *в* – плоскорізальна лапа;
- г* – стрілочаста універсальна лапа; *д* – долотоподібна лапа; *е* – розпушувальна
- обертальна лапа; *є* – списоподібна лапа; *ж* – підгортач; *з* – лапа-полиця;
- і* – голчастий диск; *к* – підживлювальний ніж; *л* – полольний зуб

У якості зразка для демонстрації запропонованої методики комп'ютерного геометричного моделювання обрано лапи-полиці (рис. 1, *з*). Зауважимо, що незважаючи на велике розмаїття робочих органів культиваторів загальний порядок їх формоутворення на засадах структурно-параметричної методології доволі схожий. Проте, існують і певні відмінності, які обов'язково потрібно враховувати під час автоматизованого проектування.

Спочатку виконується дефініція складу модельованого об'єкта *O*, в нашому випадку лапи-полиці *ЛП*, див. рис. 2, *а*,

$$O = (o_i)_1^{N_o} = ЛП = (\text{лп}_i)_1^{N_{\text{лп}}} = (\text{лп}_i)_1^3, \quad (3)$$

де $o_1 = \text{лп}_1 = \text{СТ}$ – стояк, $o_2 = \text{лп}_2 = \text{ПЛ}$ – полиця, $o_3 = \text{лп}_3 = \text{КР}$ – кріплення.

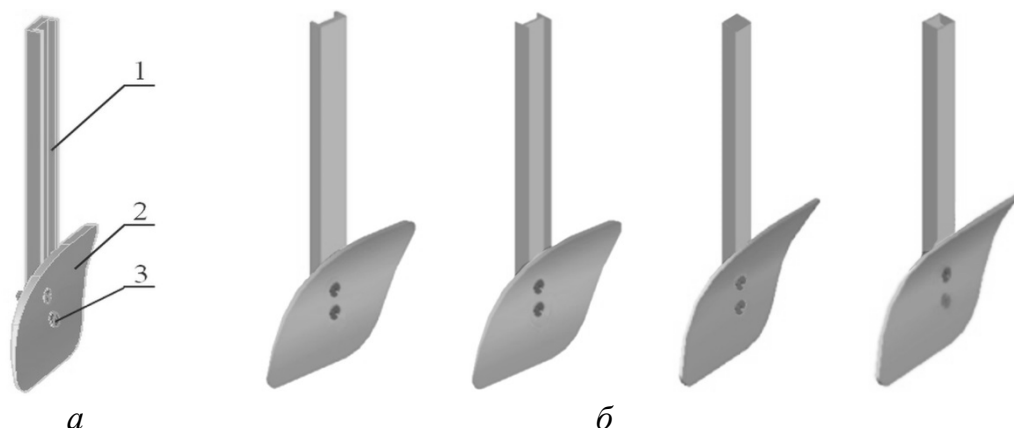


Рис. 2. Лапа-полиця:
 а – склад елементів (1 – стояк; 2 – полиця; 3 – кріплення);
 б – проектні варіанти

Далі здійснюється визначення для елементів o_i їх проектних варіантів, які описуються кортежами

$$o_i = (o_{ij})_1^{N_{o_i}}, \quad (4)$$

де N_{o_i} – число різновидів o_i ,
 та векторів параметрів

$$P_{ij} = (p_{ijk})_1^{N_{p_{ij}}}, \quad (5)$$

де $N_{p_{ij}}$ – кількість параметрів j -го варіанта i -го елемента.

Візуальне уявлення про практичне застосування формул (2) ... (5) дає рис. 2, б. З нього видно, що опрацьовується множина стояків

$$\text{СТ} = (\text{ст}_i)_1^{N_{\text{СТ}}} = (\text{ст}_i)_1^4, \quad (6)$$

де ст_1 – швелерні, ст_2 – двотаврові, ст_3 – квадратні, ст_4 – з квадратної труби.

У загальному випадку можливі й інші складові кортежу (6).

Також розглядаються структурні варіанти полиць

$$\text{ПЛ} = (\text{пл}_i)_1^{N_{\text{ПЛ}}} = (\text{пл}_i)_1^3 \quad (7)$$

і кріплення

$$\text{КР} = (\text{кр}_i)_1^{N_{\text{КР}}} = (\text{кр}_i)_1^4. \quad (8)$$

Безпосередньо для побудови об'єктів (6) ... (8) застосовуються подані в публікації [8] засоби геометричного моделювання.

Структурний зв'язок між варіантами n -го та m -го елемента лапи-полиці ЛП відображають матриці суміжності

$$C_{nm} = \|c_{nr} c_{ms}\|, \quad (9)$$

де r, s – натуральні числа; $r \in (1 \dots N_n)$, $s \in (1 \dots N_m)$; N_n, N_m – кількість варіантів n -го та m -го елемента; $c_{nr}c_{ms} \neq 0$ при взаємодії різновидів o_{nr} та o_{ms} , $c_{nr}c_{ms} = 0$ – у протилежному випадку.

Вирази (3) ... (5) та матриця (9) дозволяють побудувати, див. видання [6], графову структурно-параметричну модель, яка забезпечує проведення комплексної оптимізації проєктованого об'єкта.

Таким чином, нами викладено базові етапи запропонованої методики комп'ютерного варіантного геометричного моделювання ґрунтообробних знарядь на прикладі лапи-полиці культиваторів. Інші вироби, див. зокрема рис. 1, можуть опрацьовуватися схожим чином. Але, для забезпечення належної їх якості та продуктивності автоматизованого проєктування необхідні відповідні адаптовані способи і прийоми структурно-параметричного формоутворення. Ці питання становлять предмет наступних наукових розвідок з визначеної тематики.

Важливим моментом для успішної реалізації комплексної оптимізації є широке практичне впровадження в комп'ютерні інформаційні технології поданого у статті [7] принципу інтеграції. У даному разі останній полягає в напрацюванні належних аналітичних моделей для параметрів (5), що описують процеси проєктування, виготовлення й експлуатації виробів, які аналізуються.

Висновки та перспективи досліджень. У публікації розглянуто питання комп'ютерного геометричного моделювання ґрунтообробних знарядь засобами структурно-параметричного формоутворення. На прикладі лап-полиць культиваторів було висвітлено основні положення запропонованої методики, окреслено перспективи її поширення на інші вироби, визначено напрямки проведення наступних наукових досліджень з даної тематики. Викладений підхід спрямований на подальше вдосконалення сільськогосподарського виробництва, яке доволі важливе на сучасному етапі розвитку нашої держави.

Література

1. *Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д.* Сільськогосподарські та меліоративні машини. Київ: Вища освіта, 2004. 544 с.
2. *Кошук О.Б., Лузан П.Г., Мося І.А.* Сільськогосподарські і меліоративні машини. Київ: ПІТО НАПН України, 2015. 291 с.
3. *Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Павх І.І.* Машини сільськогосподарського виробництва. Тернопіль: ТДПУ, 2005. 228 с.
4. *Кобець А.С., Волик Б.А., Пугач А.М.* Ґрунтообробні машини: теорія, конструкція, розрахунок. Дніпропетровськ: Свидлер А.Л., 2011. 140 с.
5. *Волоха М.П.* Технологічний комплекс машин для виробництва буряків

цукрових: ширина міжрядь. Теорія, моделювання, результати випробувань. Київ: Центр учбової літератури, 2015. 220 с.

6. Ванін В.В., Вірченко Г.А. Визначення та основні положення структурно-параметричного геометричного моделювання. *Геометричне та комп'ютерне моделювання*. 2009. Вип. 23. С. 42–48.

7. Яблонський П.М. Деякі питання узагальнення засобів геометричного моделювання для проектування технічних об'єктів. *Сучасні проблеми моделювання*, 2018. Вип. 13. С. 192–198.

8. 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. 193–200.

References

1. Voitiuk D.H., Dubrovin V.O., Ishchenko T.D. Agricultural and reclamation machines. Kyiv: Vyshcha osvita, 2004. 544 s. {in Ukrainian}

2. Koshuk O.B., Luzan P.H., Mosia I.A. Agricultural and reclamation machines. Kyiv: IPTO NAPN Ukrainy, 2015. 291 s. {in Ukrainian}

3. Nevko R.B., Tkachenko I.H., Pavkh I.I. Agricultural production machines. Ternopil: TDPU, 2005, 228 s. {in Ukrainian}

4. Kobets A.S., Volyk B.A., Puhach A.M. Soil tillage machines: theory, design, calculation. Dnipropetrovsk: Svydler A.L., 2011. 140 s. {in Ukrainian}

5. Volokha M.P. Technological complex of machines for the production of sugar beets: row width. Theory, modeling, test results. Kyiv: Tsentr uchbovoyi literatury, 2015. 220 s. {in Ukrainian}

6. Vanin V.V., Virchenko G.A. Definition and basic provisions of structural-parametric geometric modeling. *Heometrychne ta kompiuterne modeliuвання*. 2009. Vyp. 23. S. 42–48. {in Ukrainian}

7. Yablonskyi P.M. Some questions of generalization of geometric modeling tools for projecting of technical objects. *Suchasni problemy modeliuвання*, 2018. Vyp. 13. S. 192–198 {in Ukrainian}

8. Yablonskyi P.M., Virchenko G.A., Volokha M.P., Vorobyov O.M., Lazarchuk-Vorobyova Yu.V. To the question of the analysis of geometric models of modern soil processing tools. *Suchasni problemy modeliuвання*, 2022. Vyp. 24. S. 193–200. {in Ukrainian}

Doctor of Technical Sciences, Professor **Volodymyr Vanin**,
fmf@kpi.ua, ORCID: 0000-0001-7008-7269

Doctor of Technical Sciences, Professor **Gennadii Virchenko**,
kpivir@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9586-4538

Doctor of Technical Sciences, Senior Scientific Researcher **Mykola Volokha**,
volmp@i.ua, ORCID: 0000-0002-0112-7324

Doctor of Philosophy, Associate Professor **Petro Yablonskyi**,

ypn@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1971-5140
Senior Teacher **Oleksii Vorobyov**,
vorobyov.kpi@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5314-1075
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

TO THE QUESTION OF COMPUTER GEOMETRIC MODELING OF SOIL TILLAGE TOOLS BY MEANS OF STRUCTURAL- PARAMETRIC FORMING

Agricultural production is critically important for the economy of our country at the present stage of development of Ukraine. Now this industry plays a leading role in stabilization of many appropriate processes. Therefore, further improvement of its effectiveness is an urgent social problem. One of the ways to successfully solve this issue is the improvement of the used technical tools, in particular, soil-cultivating ones. This publication is dedicated to the specified topic.

A productive direction for solving these problems is the wide use of computer information technologies, in this case, automated design systems. The basis of the necessary functioning of most of them is provided by geometric modeling. The latter allows not only to visually analyze objects and processes in the required way, but also, in many cases, to significantly simplify the worked tasks.

The Scientific School of Applied Geometry of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" has developed a progressive methodology for the structural-parametric shaping of various industrial products. The specified approach contributes to the effective implementation of complex optimization of technical objects. It has been successfully tested in the domestic aviation industry. But soil-cultivating implements have certain specific features, which must be analyzed during their automated design. These aspects are taken into account in this applied study, which is based on the relevant previous research of the authors.

The paw-shelf of cultivators was chosen as a concrete example to illustrate the proposed method of computer geometric modeling. The article also outlines the directions of spreading the developed methods of shaping to other tillage tools. This is the scope for carrying out appropriate further scientific applied research on the discussed topic.

Key words: automated design; geometric modeling; tillage tools; complex optimization; paw-shelf; agricultural production; structural-parametric shaping.