

УДК 004.925.8:631.3

ДО ПИТАННЯ АНАЛІЗУ ГЕОМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ СУЧАСНИХ ГРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ

Яблонський П. М., к.т.н.,

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

Вірченко Г. А., д.т.н.,

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

Волоха М. П., д.т.н.,

volmp@i.ua, ORCID: 0000-0002-0112-7324

Воробйов О. М.,

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

Лазарчук-Воробйова Ю. В.,

jullazarchuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7866-3299

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

Сільськогосподарське виробництво відіграє особливо важливу роль у національній економіці України, ефективність якого значною мірою залежить від використовуваних технічних засобів. Тому подальше вдосконалення останніх становить актуальну науково-прикладну проблему. Нині одним із прогресивних напрямків її успішного вирішення є широке застосування комп'ютерних інформаційних технологій, зокрема автоматизованого проектування, для розроблення зазначених технічних об'єктів.

Однією із загальновизнаних основ для цього постає геометричне моделювання, без якого важко уявити більшість сучасних комп'ютерних систем автоматизованого проектування. Геометричні моделі поєднують між собою в єдине ціле інші моделі опрацьовуваних промислових виробів, наприклад, їх міцності, технології виготовлення, експлуатації і т. д. Цим забезпечується проведення комплексної, тобто багатоаспектної, оптимізації створюваної продукції для всього її життєвого циклу.

Ефективне використання комп'ютерних засобів формоутворення для певних груп технічних об'єктів можливе лише при здійсненні адаптації перших до других. Необхідною передумовою вказаного процесу є класифікація наявних геометричних засобів і відтворюваних виробів у належних аспектах. Це сприяє отриманню якісних результатів автоматизованого проектування. За потреби існуюча методологія формоутворення доповнюється відповідними новими способами, прийомами, алгоритмами, моделями тощо. Так реалізується взаємне вдосконалення в теоретичному і практичному плані геометричного моделювання та сільськогосподарського виробництва.

Головна мета даної публікації полягає у викладенні засад

запропонованої на основі структурно-параметричного підходу методики проведення інтегрованої, тобто поєднаної, класифікації сільськогосподарських машин і засобів автоматизованого геометричного моделювання. При цьому, як приклади, проаналізовано деякі існуючі ґрунтообробні знаряддя. Для інших технічних виробів викладена концепція застосовується аналогічним чином. У статті також окреслено перспективи проведення подальших наукових досліджень розглянутого спрямування.

Ключові слова: автоматизоване проектування, геометричні моделі, ґрунтообробні знаряддя, сільськогосподарське виробництво, структурно-параметричне формоутворення.

Постановка проблеми. Сільськогосподарське виробництво відіграє важливу роль в економіці України. Його ефективність суттєво залежить від використовуваних технічних засобів. Тому їх вдосконалення становить актуальну науково-прикладну проблему. Нині одним із напрямків її вирішення є широке застосування автоматизованого проектування для розробляння зазначених технічних об'єктів. Однією з основ для цього слугує геометричне моделювання. Геометричні моделі поєднують між собою в єдине ціле інші моделі опрацьовуваних промислових виробів, наприклад, їх міцності, технології виготовлення, експлуатації і т. д. Цим забезпечується проведення комплексної, тобто багатоаспектної, оптимізації створеної продукції для всього її життєвого циклу.

Аналіз досліджень і публікацій. Базові відомості щодо сільськогосподарських машин подано у виданнях [1–5]. Відносно механізованого обробітку ґрунту це стосується використовуваних його типових способів і видів, конструкції та експлуатації відповідних знарядь, перспектив їх вдосконалення. Зазначається, що вирішувані завдання визначаються конкретними умовами процесів виробництва. Тобто залежно від наявних властивостей ґрунтів і вирощуваних сільськогосподарських культур застосовуються різні ґрунтообробні знаряддя. При цьому мають місце такі технологічні операції як перевертання, розпушування, перемішування, ущільнення ґрунту та ін. Особливо підкреслюється, що головною метою обробітку є підвищення врожайності при збереженні родючості ґрунтів. У праці [6] наведено основні положення структурно-параметричного формоутворення технічних об'єктів. У публікації [7] розглянуто один із напрямків його подальшого розвитку, зокрема, запропоновано *принцип інтеграції*, який полягає в поєднанні математичного опису технічних об'єктів фахових дисциплін із належними засобами геометричного моделювання. Це дозволяє ефективно реалізовувати комплексне оптимальне автоматизоване проектування різноманітної промислової продукції. Стаття [8] слугує таким прикладом для робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь.

Формулювання цілей статті. Викласти на основі подальшого

розвитку структурно-параметричного підходу запропонований новий спосіб розроблення інтегрованих класифікацій для автоматизованого формоутворення певних груп технічних об'єктів. Останній полягає в поєднанні належних впорядкованих геометричних засобів і проведеної систематизації зазначених об'єктів в аспекті відповідних фахових дисциплін. Це сприяє суттєвому підвищенню продуктивності комп'ютерного проектування промислової продукції. Практичні ілюстрації здійснити на прикладі ґрунтообробних знарядь.

Виклад основного матеріалу. У виданні [8] виконано загальну класифікацію засобів автоматизованого геометричного моделювання, які можуть застосовуватися для формоутворення різноманітних технічних об'єктів. Це геометричні фігури $G\Phi$, що визначаються множиною

$$G\Phi = (G\Phi_i)_0^{N_{G\Phi}} = (G\Phi_i)_0^5, \quad (1)$$

де $G\Phi_0 = TЧ$ – точки, $G\Phi_1 = ЛН$ – лінії, $G\Phi_2 = ПВ$ – поверхні, $G\Phi_3 = ТЛ$ – тіла, $G\Phi_4 = Б\Phi$ – багатомірні фігури, $G\Phi_5 = К\Phi$ – комбіновані фігури.

Геометричні способи GC моделювання фігур (1) описуються кортежем

$$GC = (GC_i)_1^{N_{GC}} = (GC_i)_1^2, \quad (2)$$

де $GC_1 = ГСС$ – геометричні способи створення, $GC_2 = ГСМ$ – геометричні способи модифікації.

Елементи множини (2) подаються у вигляді

$$GC_1 = (GC_{1_j})_1^{N_{GC_1}} = (GC_{1_j})_1^2, \quad (3)$$

де GC_{1_1} = кінематичні, GC_{1_2} = аналітичні;

$$GC_2 = (GC_{2_j})_1^{N_{GC_2}} = (GC_{2_j})_1^3, \quad (4)$$

де GC_{2_1} = рух, GC_{2_2} = деформація, GC_{2_3} = операції над множинами точок.

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

$$GC_{1_1} = (GC_{1_{1k}})_1^{N_{GC_{1_1}}} = (GC_{1_{1k}})_0^5, \quad (5)$$

де для $GC_{1_{1k}}$ індексу k відповідають твірні фігури (1);

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

де $GC_{1_{2_1}}$ = алгебраїчні, $GC_{1_{2_2}}$ = трансцендентні;

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

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

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

де $GC_{2_{2_1}}$ = зміна розмірів, $GC_{2_{2_2}}$ = зміна форми;

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

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

Множини (5) ... (9) для конкретних умов формоутворення подаються більш розлого.

У публікації [8] викладено методику побудови геометричних моделей для робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь у середовищі сучасних систем автоматизованого проєктування. Вона полягає у продуктивному виборі з інваріантних засобів формоутворення (1) ... (9) необхідних компонентів для визначення геометрії потрібних технічних об'єктів. Цим дослідженням пропонується узагальнити вказану методику шляхом використання запропонованого способу розроблення інтегрованих класифікацій для автоматизованого формоутворення певних груп промислової продукції. Останній являє собою процес поєднання впорядкованих геометричних засобів, формули (1) ... (9) у даному разі, та виконаної систематизації зазначених об'єктів, у нашому випадку ґрунтообробних знарядь, з точки зору відповідних фахових дисциплін.

Згідно з літературними джерелами [1–5] розрізняють *основний, поверхневий і спеціальний обробіток ґрунту*. Перший є найглибшим за весь період вирощування деякої сільськогосподарської культури. Другий передбачає такі операції як боронування, культивація, коткування та ін., а третій включає ярусну оранку, глибоке розпушення, фрезерування ґрунту і т. д.

На підставі структурно-параметричного підходу формуємо множину опрацьовуваних ґрунтообробних знарядь $ГЗ$

$$ГЗ = (ГЗ_i)_1^{N_{ГЗ}} = (ГЗ_i)_1^3, \quad (10)$$

де $ГЗ_1 = ГЗО$ – основного, $ГЗ_2 = ГЗП$ – поверхневого, $ГЗ_3 = ГЗС$ – спеціального обробітку.

За глибиною обробіток ґрунту $ОГ$ визначається кортежем

$$ОГ = (ОГ_i)_0^{N_{ОГ}} = (ОГ_i)_0^5, \quad (11)$$

де $ОГ_0 = БО$ – без обробітку, $ОГ_1 = ПВ$ – поверхневий (до 8 см), $ОГ_2 = МЛ$ – мілкий (8 ... 16 см), $ОГ_3 = СР$ – середній (16 ... 24 см), $ОГ_4 = ГЛ$ – глибокий (24 ... 35 см), $ОГ_5 = МЛР$ – меліоративний (понад 35 см).

Ґрунтообробні знаряддя для основного обробітку подамо множиною

$$ГЗО = (ГЗО_i)_1^{N_{ГЗО}} = (ГЗО_i)_1^3, \quad (12)$$

де $ГЗО_1 = ПГЗ$ – полицеві, $ГЗО_2 = ДГЗ$ – дискові, $ГЗО_3 = ЧГЗ$ – чизельні.

Нехай

$$ПГЗ = (ПГЗ_i)_1^{N_{ПГЗ}} = (ПГЗ_i)_1^3, \quad (13)$$

де $ПГЗ_1 = ПЛЛ$ – плуги-луцильники, $ПГЗ_2 = ПЛЗ$ – плуги загального призначення, $ПГЗ_3 = ПЛЯ$ – плуги ярусні;

$$ДГЗ = (ДГЗ_i)_1^{N_{ДГЗ}} = (ДГЗ_i)_1^4, \quad (14)$$

де $ДГЗ_1 = ДЛЩ$ – дискові луцильники, $ДГЗ_2 = ДБР$ – дискові борони, $ДГЗ_3 = ДБРВ$ – дискові борони важкі, $ДГЗ_4 = ДПЛ=ПЛД$ – дискові плуги;

$$ЧГЗ = (ЧГЗ_i)_1^{N_{ЧГЗ}} = (ЧГЗ_i)_1^4, \quad (15)$$

де $ЧГЗ_1 = КЛЛ$ – культиватори легкі, $ЧГЗ_2 = КЛВ$ – культиватори важкі, $ЧГЗ_3 = КЛЧ$ – культиватори чизельні, $ЧГЗ_4 = ПЛЧ$ – плуги чизельні.

Знаряддя (12) ... (15) для основного обробітку в залежності від опрацьовуваної глибини ґрунту (11) формують кортежі

$$ОГ_1 = (ОГ_{1i})_1^{N_{ог1}} = (ОГ_{1i})_1^2, \quad (16)$$

де $ОГ_{11} = ДЛЩ$, $ОГ_{12} = КЛЛ$;

$$ОГ_2 = (ОГ_{2i})_1^{N_{ог2}} = (ОГ_{2i})_1^3, \quad (17)$$

де $ОГ_{21} = ПЛЛ$, $ОГ_{22} = ДБР$, $ОГ_{23} = КЛВ$;

$$ОГ_3 = (ОГ_{3i})_1^{N_{ог3}} = (ОГ_{3i})_1^3, \quad (18)$$

де $ОГ_{31} = ПЛЗ$, $ОГ_{32} = ДБРВ$, $ОГ_{33} = КЛЧ$;

$$ОГ_4 = (ОГ_{4i})_1^{N_{ог4}} = (ОГ_{4i})_1^3, \quad (19)$$

де $ОГ_{41} = ПЛЯ$, $ОГ_{42} = ПЛД$, $ОГ_{43} = ПЛЧ$.

Ґрунтообробні знаряддя для поверхневого та спеціального обробітку, тобто $ГЗП$ і $ГЗС$, див. відповідно другий та третій елемент множини (10), можуть визначатися кортежами

$$ГЗП = (ГЗП_i)_1^{N_{гзп}} = (ГЗП_i)_1^5, \quad (20)$$

де $ГЗП_1 = БР$ – борони, $ГЗП_2 = КЛ$ – культиватори, $ГЗП_3 = КТ$ – котки; $ГЗП_4 = ФР$ – фрези; $ГЗП_5 = КМ$ – комбіновані;

$$ГЗС = (ГЗС_i)_1^{N_{гзс}} = (ГЗС_i)_1^3, \quad (21)$$

де $ГЗС_1 = ППП$ – плуги плантажні, $ГЗС_2 = ПЛС$ – плуги садові, $ГЗС_3 = ЯКЧ$ – ямокопачі.

Опрацювання компонентів (20) і (21) здійснюється подібно до викладеного вище виразами (11) ... (19). Уявлення про геометричні моделі конкретних ґрунтообробних знарядь (10) дають наведені в літературі [1, 2] зображення, які приведено на рис. 1 ... рис. 3.

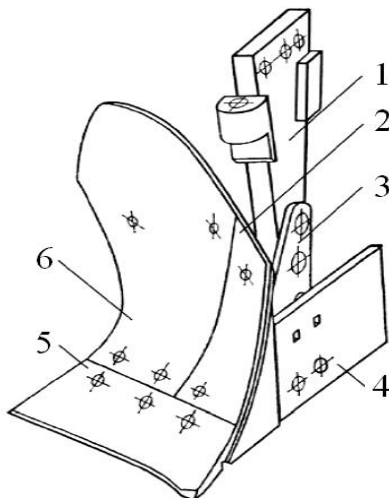


Рис. 1. Корпус плуга [1]:
1 – стовба; 2 – груди полиці;
3 – башмак; 4 – польова дошка;
5 – леміш; 6 – крило полиці

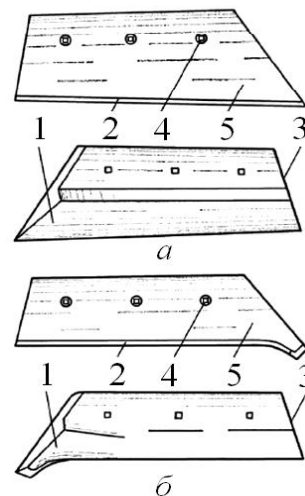


Рис. 2. Типи лемешів [1]:
а – трапецієподібний; б – долотоподібний;
1 – магазин; 2 – лезо; 3 – крило;
4 – отвір з потаєм; 5 – носок

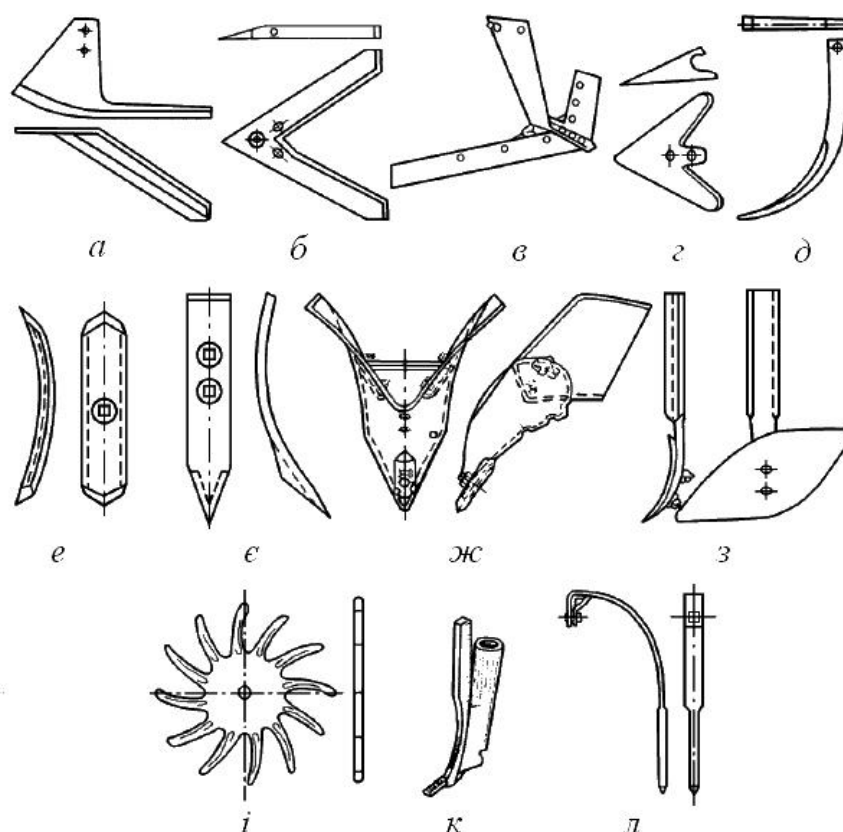


Рис. 3. Робочі органи культиваторів [2]:

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; *к* – голчастий диск; *к* – підживлювальний ніж; *л* – полольний зуб

Прикладами для автоматизованого варіантного структурно-параметричного формоутворення показаної на рис. 1 ... рис. 3 технічної продукції слугують наведені в публікації [8] комп'ютерні твердотільні геометричні моделі робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь. Однак при цьому слід зауважити, що конкретні випадки конструювання можуть вимагати вдосконалення існуючих або навіть напрацювання належних нових способів, прийомів та алгоритмів виконання деяких побудов. Тому це потребує проведення подальших відповідних наукових досліджень.

Висновки. У статті викладено запропонований на основі розвитку методології структурно-параметричного геометричного моделювання спосіб розроблення інтегрованих класифікацій для автоматизованого формоутворення певних груп промислових виробів. Базова ідея полягає в поєднанні належних впорядкованих геометричних засобів і виконаної систематизації зазначеної продукції в аспекті відповідних фахових дисциплін. Головною перевагою даного підходу є забезпечення продуктивного автоматизованого генерування великої кількості структурно-параметричних різновидів опрацьовуваних виробів. Це дозволяє підвищувати ефективність їх комп'ютерного проектування

завдяки проведенню аналізу більшої кількості варіантів та визначення оптимального з них.

Література

1. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини. Київ: Вища освіта, 2004. 544 с.
2. Кошук О.Б., Лузан П.Г., Мося І.А. та ін. Сільськогосподарські і меліоративні машини. Київ: ППО НАПН України, 2015. 291 с.
3. Беседа О.О., Маслійов С.В. Сільськогосподарські машини. Частина І. Ґрунтообробні, посівні та садильні машини. Луганськ: Віртуальна реальність, 2014. 188 с.
4. Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Павх І.І. Машини сільськогосподарського виробництва. Тернопіль: ТДПУ, 2005. 228 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*. Харків: ХДУХТ, 2009. Вип. 23. С. 42–48.
7. 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.
8. Ванін В.В., Вірченко Г.А., Яблонський П.М. Автоматизоване геометричне моделювання дискових робочих органів технічних об'єктів. *Інформаційні системи, механіка та керування*. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. Вип. 21. С. 5–13.

TO THE QUESTION OF THE ANALYSIS OF GEOMETRIC MODELS OF MODERN SOIL PROCESSING TOOLS

Petro Yablonskyi, Gennadii Virchenko, Nikolay Volokha, Oleksii Vorobyov,
Yuliia Lazarchuk-Vorobyova

Agricultural production plays a very important role in the national economy of Ukraine. Its effectiveness largely depends on the technical means which are used. Therefore, the further improvement of the latter is an actual scientific and applied problem. At present, one of the progressive directions of its successful solution is the wide application of computer information technologies, in particular computer-aided design, for the development of the specified technical objects.

One of the generally recognized foundations for this is geometric modeling, without which it is difficult to imagine most modern computer-aided design systems. It is important that geometric models combine other models of

processed industrial products into a single whole, for example, their strength, manufacturing technology, operation, etc. This ensures the implementation of a comprehensive, i.e. multi-aspect, optimization of the created product for its entire life cycle.

Effective use of computer shaping tools for certain groups of technical objects is possible by adapting the first to the second. A necessary condition for this process is the classification of existing geometric means and reproducible products in the appropriate aspects. This contributes to obtaining high-quality results of computer-aided design. If necessary, the existing shaping methodology is supplemented with new methods, techniques, algorithms, models, etc. In this way, the mutual improvement of the theoretical and practical aspects of geometric modeling and agricultural production is carried out.

The main purpose of this publication is to present the basics of the methodology proposed on the foundation of the structural-parametric approach for carrying out an integrated, i.e. combined, classification of agricultural machines and means of automated geometric modeling. As examples, some existing tillage tools were analyzed. For other technical products, the outlined concept is applied in a similar way. The article also defines the perspectives for conducting further scientific research in the considered direction.

Key words: computer-aided design, geometric models, tillage tools, agricultural production, structural-parametric shaping.

References

1. Voitiuk, D.H., Dubrovin, V.O., Ishchenko, T.D. & et al. (2004). *Agricultural and reclamation machines*. Kyiv: Vyscha osvita [in Ukrainian].
2. Koshuk O.B., Luzan P.H., Mosia I.A. & et al. (2015). *Agricultural and reclamation machines*. Kyiv: IPTO NAPN Ukrainy [in Ukrainian].
3. Beseda, O.O., & Masliiov, S.V. (2014). *Agricultural machinery. Part I. Tillage, sowing and planting machines*. Luhansk: Virtualna realnist [in Ukrainian].
4. Hevko, R.B., Tkachenko, I.H., & Pavkh, I.I. (2005). *Agricultural production machines*. Ternopil: TDPU [in Ukrainian].
5. Volokha, M.P. (2015). *Technological complex of machines for the production of sugar beets: row width. Theory, modeling, test results*. Kyiv: Tsentru uchbovoyi literatury [in Ukrainian].
6. Vanin, V.V., Virchenko, G.A. (2009). Definition and basic provisions of structural-parametric geometric modeling. *Heometrychne ta kompiuterne modeliuвання*, 23, 42–48 [in Ukrainian].
7. Yablonskyi P.M. (2018). Some questions of generalization of geometric modeling tools for projecting of technical objects. *Suchasni problemy modeliuвання*, 13, 192–198 [in Ukrainian].
8. Vanin, V.V., Virchenko, G.A., & Yablonskyi P.M. (2019). Automated geometric modeling of disk working bodies of technical objects. *Informatsiini systemy, mekhanika ta keruvannya*, 21, 5–13 [in Ukrainian].