

УДК 004.925.8:631.3

ІНТЕГРОВАНІЙ КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДИСКОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ

Ванін В.В., д.т.н.,
Вірченко Г.А., д.т.н.,
Юрчук В.П., д.т.н.,
Яблонський П.М., к.т.н.*

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

У статті наведено засади інтегрованого комплексного геометричного моделювання технічних об'єктів на прикладі дискових робочих органів ґрунтообробних знарядь. Застосовувані при цьому методи і прийоми формоутворення технічних об'єктів значною мірою визначають загальну ефективність останніх протягом усього їх життєвого циклу. Проаналізовано недоліки «традиційного» конструювання робочих органів ґрунтообробних машин, що базується на експериментальному підборі, виготовленні великої кількості дослідних зразків та подальшого їх випробування у різних технологічних режимах. Вказано на актуальність пошуку нових та/або адаптацію (удосконалення, узагальнення тощо) відомих методів проектування робочих поверхонь ґрунтообробних знарядь.

Науковою школою прикладної геометрії КПІ ім. Ігоря Сікорського приділяється особлива увага як напрацюванню нових, так і вдосконаленню існуючих методів геометричного моделювання, зокрема розвитку методології структурно-параметричного геометричного моделювання, використанню евольвентно-еволютних моделей, теорії спряження поверхонь, а саме формування інтегрованої комплексної методології геометричного моделювання різноманітних технічних об'єктів, процесів їх виготовлення та експлуатації.

Запропоновано методикау автоматизованого геометричного моделювання групи технічних об'єктів, на прикладі дискових ґрунтообробних знарядь, у середовищі сучасних комп'ютерних інформаційних технологій. Головною перевагою цього підходу, порівняно з існуючими, є забезпечення продуктивного формування великого числа структурно-параметричних варіантів проєктованих виробів. Також важливим є інваріантний характер даної методики

* Науковий консультант – д.т.н., проф. Ванін В.В.

формоутворення, що поширюється й на інші, ніж машинобудування, галузі промисловості, зокрема, приладобудування, ракетно-космічну галузь, робототехніку і т. д. Зазначений напрямок становить перспективи проведення подальших наукових досліджень.

Ключові слова: геометричне моделювання, інтегрована комплексна методологія, технічні об'єкти, дискові робочі органи, ґрунтообробні знаряддя, структурно-параметричний підхід, евольвентно-еволютні моделі, діаграма кінематичного гвинта, спряжені поверхні.

Постановка проблеми. Нині засоби геометричного моделювання є однією з фундаментальних основ для автоматизованого комп'ютерного опрацювання як технологічних процесів виготовлення, так і застосування різноманітних виробів промисловості, у тому числі робочих органів ґрунтообробних знарядь. Використовувані при цьому методи і прийоми формоутворення технічних об'єктів значною мірою визначають загальну ефективність останніх протягом усього їх життєвого циклу. Зазначені напрямки є пріоритетними у дослідженнях творчого колективу науковців-геометрів КПІ ім. Ігоря Сікорського [1, 2].

Традиційно конструювання робочих органів ґрунтообробних машин пов'язано із застосуванням раніш відомих методів, що використовують у високотехнологічних галузях, таких як авіабудування, машинобудування тощо. Зазначений підхід, як правило, базується на експериментальному підборі, виготовленні великої кількості дослідних зразків та подальшого їх випробування у різних технологічних режимах, що є його суттєвим недоліком. Таким чином, актуальним є пошук нових та/або адаптація (удосконалення, узагальнення тощо) відомих методів проектування робочих поверхонь ґрунтообробних знарядь [3, 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковою школою прикладної геометрії КПІ ім. Ігоря Сікорського приділяється особлива увага як пошуку нових, так і розвитку існуючих методів геометричного моделювання, зокрема розвитку методології структурно-параметричного геометричного моделювання [2, 5], використання евольвентно-еволютних моделей [3], теорії спряження поверхонь [4], а саме формування *інтегрованої комплексної методології* геометричного моделювання різноманітних технічних об'єктів, процесів їх виготовлення та експлуатації [1, 2, 5-8].

Формулювання цілей статті. Мета даної статті полягає у розвитку автоматизованого геометричного моделювання груп технічних об'єктів на прикладі дискових ґрунтообробних знарядь, зокрема шляхом поєднання структурно-параметричного моделювання, евольвентно-еволютних моделей та теорії спряження поверхонь.

Основна частина. Г. Монж запропонував модель процесу переміщення частинок ґрунту з виїмки на насип як евольвентно-еволютну модель, на основі якої ним була створена теорія конгруенції [9]. Згідно з дослідженнями засновника землеробської механіки акад. В.П. Горячкіна [10] найбільш ефективними та раціональними є робочі органи ґрунтообробних знарядь, поверхні яких при своєму переміщенні створюють гвинтову дію на шар ґрунту.

Розвиток евольвентно-еволютної моделі Г. Монжа для відбивних потоків різної природи здійснено в роботах проф. В.В. Ваніна [11]. Поверхня поділу визначається автором для потоків, що відбиваються по нормалях як *еволютна*, за іншими траєкторіями – як *еволютоїдна*. Це дозволило вирішити питання геометричного моделювання зони активної дії гвинтоподібних ґрунтообробних знарядь [3], яка є обмеженою еволютною поверхнею. Для спрощення розрахунків знаряддя моделюється гвинтовим коноїдом. На рис. 1 показано утворення еволютної поверхні на прикладі гелікоїда, поверхню якого задано рівняннями

$$X = u \cdot \cos v, Y = u \cdot \sin v, Z = b \cdot v. \quad (1)$$

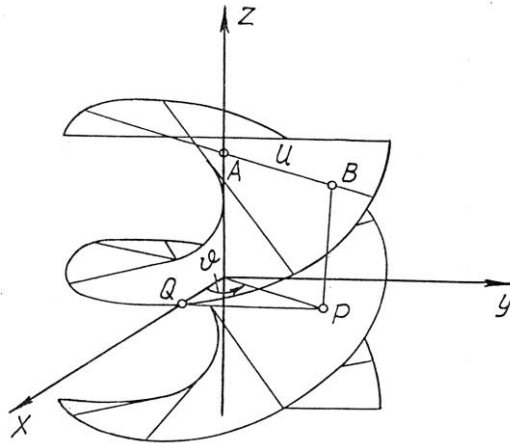


Рис. 1. Утворення еволютної поверхні на прикладі гелікоїда

Детальний опис побудови зображеної на рис. 1 еволютної поверхні та застосованих параметрів наведено в публікаціях [3, 11].

Проф. А.М. Подкоритов та його учні у своїх роботах використовували і розвивали теорію кінематичного гвинта для визначення спряжених поверхонь металорізального інструменту, зокрема черв'ячних фрез. Надалі проф. В.П. Юрчук застосував цей напрямок для спряжених поверхонь у моделях формоутворення робочих органів коренезбиральних машин [12]. На рис. 2 наведено приклад діаграми кінематичного гвинта для визначення параметрів робочих поверхонь, які мають форму евольвентних гелікоїдів. Алгоритм побудови зазначеної діаграми розглянуто у працях [3, 12].

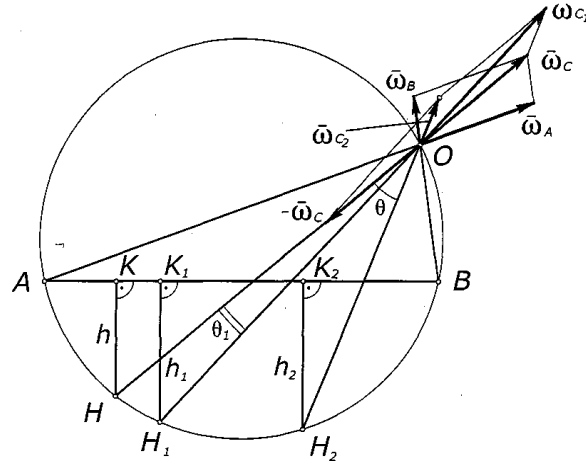


Рис. 2. Визначення параметрів робочих поверхонь, що мають форму евольвентних гелікоїдів

Узагальненню структурно-параметричного підходу до геометричного моделювання об'єктів машинобудування присвячено дослідження проф. Г.А. Вірченка [13], які публікаціями [2, 6] поширено на автоматизоване формоутворення ґрунтообробних знарядь. Для успішного використання групових комп'ютерних технологій на основі структурно-параметричного підходу у статті [8] виконано належну класифікацію. У праці [6] запропоновано відповідні засоби геометричного моделювання.

Для формоутворення технічних об'єктів використовуватимемо *геометричні фігури (ГФ)*, визначені множиною:

$$ГФ = (ГФ_i)_0^{N_{ГФ}}. \quad (2)$$

Застосовувані *геометричні способи (ГС)* моделювання фігур (2) описуватимемо кортежем:

$$ГС = (ГС_i)_1^{N_{ГС}}. \quad (3)$$

Вирази (2) і (3) для конкретних умов геометричного моделювання можуть подаватися більш докладно, наприклад, у вигляді належних способів створення та модифікації геометричних фігур. Запропонована методика автоматизованого геометричного моделювання певної групи технічних об'єктів полягає у виборі з інваріантних засобів формоутворення (2) та (3) необхідних компонентів для побудови опрацьовуваних виробів. Так створюється конкретний потрібний модуль геометричного моделювання.

Згідно з результатами дослідження [9] *форма базової поверхні (ФБП)* дискових ґрунтообробних знарядь може бути, наприклад, плоска, конічна, сферична або комбінована:

$$ФБП = (ФБП_i)_1^{N_{ФБП}} = (ФБП_i)_1^4, \quad (4)$$

застосовувані отвори – круглі, некруглі (квадратні, шестигранні) або комбіновані:

$$OTB = (OTB_i)_1^{N_{OTB}} = (OTB_i)_1^3, \quad (5)$$

використовувані *вирізи* – без вирізів, у формі складених прямолінійних контурів (V-подібні, трапецеїдальні), дуги кіл, хвилясті (циклоїдальні, синусоїдальні) або комбіновані:

$$BPZ = (BPZ_i)_1^{N_{BPZ}} = (BPZ_i)_1^5. \quad (6)$$

Загальний процес виготовлення дискових робочих органів (4) ... (6) включає послідовність таких *технологічних операцій* (ТО):

$$TO = (TO_i)_1^{N_{TO}} = (TO_i)_1^4, \quad (7)$$

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

Конкретні потрібні види *дискових ґрунтообробних знарядь*, які створено на основі вирізів (4) ... (6), визначимо множиною:

$$ДГЗ = (ДГЗ_i)_1^{N_{ДГЗ}}. \quad (8)$$

В інтегрованих комп'ютерних технологіях для моделювання життєвого циклу промислової продукції важливим є реалістичне відображення виробничих процесів, наприклад (7), які здійснюються штампуванням, фрезеруванням, свердлінням тощо. Зазначені операції стосуються і твердотілого формоутворення із застосуванням необхідних засобів. Зокрема, у праці [7] подано розробку математичних моделей такого різального інструменту як фрези, свердла і т. д. з використанням запропонованого способу узагальненого контуру. Далі наведемо деякі приклади отриманих результатів. На рис. 3 показано комп'ютерні параметричні твердотільні моделі опрацьованих дискових ґрунтообробних знарядь.

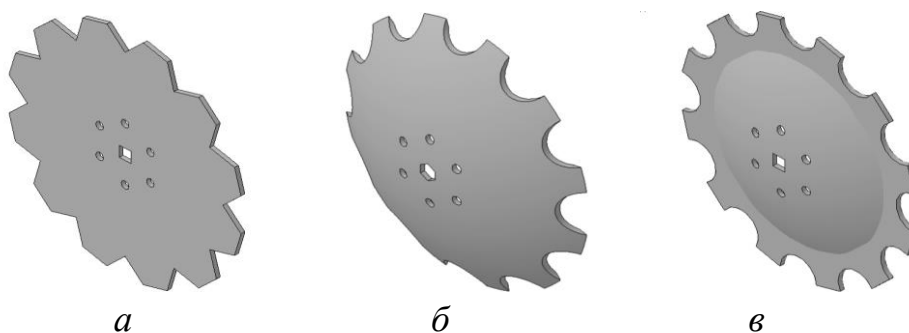


Рис. 3. Комп'ютерні моделі дисків із комбінованими отворами:
 а – плоский із V-вирізами; б – сферичний із вирізами дугами кіл;
 в – зі сферично-плоскою поверхнею та вирізами дугами кіл

Рис. 4 ілюструє стадії виготовлення сферичного диска, що реалізовані за допомогою розглянутої методики автоматизованого формоутворення групи технічних об'єктів.

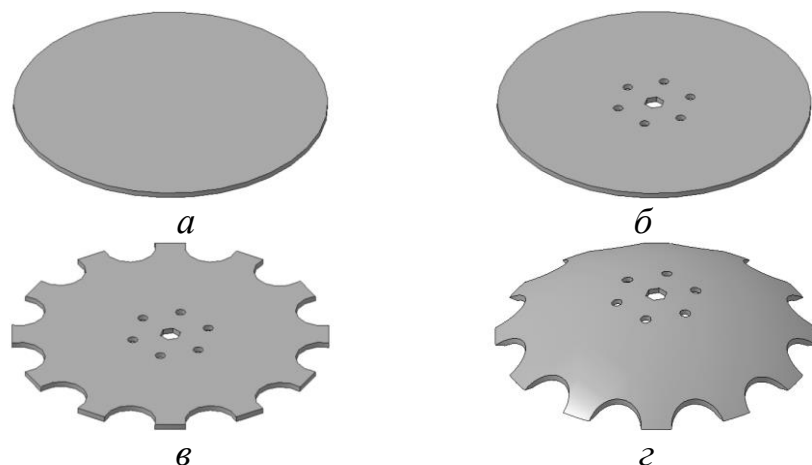


Рис. 4. Комп'ютерні моделі стадій виготовлення диска:
 а – плоска заготовка після обрізання зовнішнього контуру; б –
 сформовані отвори; в – зроблені вирізи; г – отримана сферична
 поверхня

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

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 з них.

Перспективами проведення подальших наукових досліджень є поширення запропонованої методики формоутворення, завдяки її інваріантному характеру, й на інші, ніж машинобудування, галузі промисловості, зокрема, приладобудування, ракетно-космічну галузь, робототехніку і т. д.

Література

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, 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 інж. графіка*. Київ, 2019. Вип. 95. С. 46-50.
3. Ванін В.В., Яблонський П.М. Геометричне моделювання зони активної дії гвинтових робочих органів ґрунтообробних знарядь. *Сучасні проблеми моделювання. Технічні науки*. Мелітополь, 2019. Вип. 15. С. 200-207.
4. Яблонський П.М., Подкоритов А.М., Юрчук В.П. Використання теорії спряжених поверхонь при конструюванні сільсько-господарських знарядь. *Сучасні проблеми моделювання. Технічні науки*. Мелітополь, 2017. Вип. 8. С. 159-164.
5. Яблонський П.М. Деякі питання узагальнення засобів геометричного моделювання для проектування технічних об'єктів. *Сучасні проблеми моделювання. Технічні науки*. Мелітополь, 2018. Вип. 13. С. 192-198.
6. Ванін В.В., Вірченко Г.А., Яблонський П.М. Автоматизоване геометричне моделювання дискових робочих органів технічних об'єктів. *Інформаційні системи, механіка та керування*. Київ, 2019. Вип. 21. С. 5-13.
7. Яблонський П.М. Деякі питання узагальнення формоутворення різального інструменту. *Вісник Херсонського нац. техн. ун-ту*. Херсон, 2019. Вип. 1 (68). С. 73-77.
8. Ванін В.В., Вірченко Г.А., Яблонський П.М. Деякі геометричні аспекти класифікації дискових робочих органів ґрунтообробних знарядь. *Сучасні проблеми моделювання. Технічні науки*. Мелітополь, 2019. Вип. 16. С. 70-75.
9. Monge G. Mémoire sur la théorie des déblais et des remblais. Paris, 1781.
10. Горячкин В.П. О движении почвы по отвалу: собр. соч. в 3 т. М.: Колос, 1965. Т. 2. 460 с.
11. Ванін В.В. Евольвентно-еволютні моделі в упорядкованих потоках : автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: 05.01.01. Київ, 1996. 39 с.
12. Юрчук В.П. Спряжені поверхні у геометричних моделях формоутворення робочих органів коренезбиральних машин : автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: 05.01.01. Київ, 2002. 37 с.
13. Вірченко Г.А. Узагальнення структурно-параметричного підходу до геометричного моделювання об'єктів машинобудування : автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: 05.01.01. Київ, 2011. 40 с.
14. Юрчук В.П., Яблонський П.М. Визначення параметрів спряжених поверхонь при коченні без ковзання в системі "вилка–диск". *Вісник Херсонського нац. техн. ун-ту*. Херсон, 2017. Вип. 3 (62). Т. 2. С. 348-351.

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ГЕОМЕТРИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ДИСКОВЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ОРУДИЙ

Ванин В.В., Вирченко Г.А., Юрчук В.П., Яблонский П.Н.

В статье приведены основы интегрированного комплексного геометрического моделирования технических объектов на примере дисковых рабочих органов почвообрабатывающих орудий. Применяемые при этом методы и приемы формообразования технических объектов в значительной степени определяют общую эффективность последних в течение всего их жизненного цикла. Проанализированы недостатки «традиционного» конструирования рабочих органов почвообрабатывающих машин, основанного на экспериментальном подборе, изготовлении большого количества опытных образцов и дальнейшим их испытанием в различных технологических режимах. Указано на актуальность поиска новых и/или адаптации (совершенствование, обобщение и т.д.) известных методов проектирования рабочих поверхностей почвообрабатывающих орудий.

Научной школой прикладной геометрии КПИ им. Игора Сикорского уделяется особое внимание как разработке новых, так и совершенствованию существующих методов геометрического моделирования, в частности развитию методологии структурно-параметрического геометрического моделирования, использованию эволюционно-эволютных моделей, теории сопряжения поверхностей, а именно формированию интегрированной комплексной методологии геометрического моделирования различных технических объектов, процессов их изготовления и эксплуатации.

Предложена методика автоматизированного геометрического моделирования группы технических объектов, на примере дисковых почвообрабатывающих орудий, в среде современных компьютерных информационных технологий. Главным преимуществом этого подхода, по сравнению с существующими, является обеспечение продуктивного формирования большого числа структурно-параметрических вариантов проектируемых изделий. Также важным является инвариантный характер данной методики формообразования, которая распространяется и на другие, чем машиностроение, отрасли промышленности, в частности, приборостроение, ракетно-космическую отрасль, робототехнику и т. д. Указанное направление составляет перспективы проведения дальнейших научных исследований.

Ключевые слова: геометрическое моделирование,

интегрированная комплексная методология, технические объекты, дисковые рабочие органы, почвообрабатывающие орудия, структурно-параметрический подход, эвольвентно-эволютные модели, диаграмма кинематического винта, сопряженные поверхности.

INTEGRATED COMPLEX APPROACH TO GEOMETRIC MODELING OF DISC WORKING PARTS OF SOIL-PROCESSING TOOLS

Vanin V., Virchenko G., Yurchuk V., Yablonskyi P.

This article provides the basics of integrated geometric modeling of technical objects using the example of disk working parts of tillage tools. The methods and techniques of shaping technical objects used in this process significantly determine the overall efficiency of the disk working parts of tillage tools during their entire life cycle. The defects of the "traditional" design of the working parts of tillage machines, based on experimental selection, manufacturing of a large number of prototypes and their further testing in various technological modes, are analyzed. The relevance of the search for new and / or adaptation (improvement, generalization, etc.) of the existing methods for designing the working surfaces of tillage tools is shown.

Scientific school of applied geometry of Kyiv Polytechnic Institute Igor Sikorsky focuses on issues of both improving new and developing existing methods of geometric modeling. In particular, special attention is paid to the development of the methodology of structural-parametric geometric modeling, the use of involute-evolute models, the use of surface conjugation theory, namely the formation of a unified methodology for geometric modeling of various technical objects and the processes of their manufacture and operation.

A technique for automated geometric modeling of a certain group of technical objects on the example of disk parts of tillage tools used modern computer information technologies is proposed.

The main advantage of this approach compared to the existing ones is the creation of the productive formation of a large number of structural-parametric product variants. Also important is the invariant nature of this method of shaping, which extends not only to the field of engineering, but also to other industries, in particular, instrumentation, the aerospace industry, robotics, etc. The given direction makes prospects for further scientific research.

Keywords: geometric modeling, integrated methodology, technical objects, disk working parts, tillage tools, structural-parametric approach, involute-evolute models, kinematic diagram of screw, conjugate surfaces.