

**ДО ПИТАННЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ
РОБОТИЗОВАНОГО СОШНИКА З ГНУЧКОЮ
БАГАТОЛАНКОВОЮ ДИСТАНЦІЙНО КЕРОВАНОЮ СТОВБЮЮ**

У наш час сільське господарство відіграє одну з провідних ролей в економіці України. Тому актуальні питання подальшого його вдосконалення, зокрема, існуючих технічних засобів. Нині популярний мінімальний обробіток ґрунту, тобто без оранки. Це забезпечує збереження родючих властивостей землі. Крім екології важливою проблемою постає належне підвищення енергоефективності аграрних процесів. Для механічних знарядь у зазначеному плані найбільш перспективними є дискові робочі органи. Це також стосується одночасного як розпушування ґрунту, так і внесення до нього насіння та необхідних поживних речовин для сприяння швидкому росту рослин. Така інтеграція технологічних операцій, що реалізується дисковими сошниками, суттєво підвищує продуктивність праці, економить матеріальні, фінансові та інші ресурси. Тому зазначеним знаряддям присвячена дана публікація. Акцент здійснено на наступному моменті. Теперішній етап розвитку суспільства багато в чому пов'язаний із впровадженням у різноманітні сфери життя роботизованих систем. Це стосується не тільки промисловості, побуту, військової діяльності, а й сільського господарства. Сошники нового покоління обладнуються датчиками для вимірювання вологості ґрунту, його температури, механічного стану, засміченості бур'янами, рослинними рештками тощо. Окреслене дозволяє автоматизованій системі гнучко адаптуватись до наявних обставин, наприклад, визначенням потрібної швидкості руху трактора, глибини механічного обробітку, оптимальної форми створюваної борозни. Для нашої держави зараз доволі суттєві питання безпеки праці на полях із вибухонебезпечними об'єктами, які залишаються внаслідок триваючих багато років воєнних дій в Україні.

У даній статті, на додаток до раніш представлених відомостей щодо геометричного моделювання дискових сошників, запропоновано математичний апарат аналітичної дефініції позиціонування рухомих елементів гнучкої багатоланкової роботизованої стовби. Одержані результати сприяють успішній практичній реалізації проаналізованих вище вимог до розглянутих сільськогосподарських ґрунтообробних

знарядь. Окреслено також напрямки подальших наукових досліджень.

Ключові слова: геометричне моделювання; роботизований сошник; механічний обробіток ґрунту; багатоланкова дистанційно керована стовба; структурно-параметричне формоутворення; енергоефективність аграрних процесів.

Постановка проблеми. Нині сільське господарство відіграє провідну роль в економіці України. Тому актуальну проблему становить подальше вдосконалення його технічних засобів. В аграрних процесах зараз прогресивний мінімальний механічний обробіток ґрунту, тобто без застосування оранки, який зберігає родючість землі. Важливим є питання підвищення енергоефективності. Для окреслених обставин серед механічних знарядь найбільш досконалими вважаються дискові. Суттєвому підвищенню продуктивності сприяє поєднання розпушування ґрунту і внесення до нього насіння та поживних речовин. Це реалізується, зокрема, дисковими сошниками. Тому вказаним знаряддям присвячено дану публікацію. Акцент здійснено на їхній роботизації, що обумовлено доцільністю використання сошниками нового покоління різноманітних датчиків для вимірювання вологості ґрунту, його температури, механічного стану, засміченості бур'янами, рослинними рештками і т. д. Окреслений підхід дозволяє автоматизованій системі адаптуватись до наявної ситуації, наприклад, визначенням необхідної швидкості руху трактора, глибини обробітку, оптимальної форми створюваної борозни. Для нашої держави тепер актуальне також питання безпеки праці на полях із вибухонебезпечними об'єктами, які залишаються внаслідок триваючих воєнних дій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Видання [1–3] присвячені механічному обробітку ґрунту без оранки. Показано перспективність для цих аграрних процесів застосування дискових сошників. Проаналізовано переваги та недоліки різних типів знарядь, описано певні їхні параметри й характеристики. У роботі [4] подано комп'ютерне варіантне геометричне моделювання дводискових сошників засобами структурно-параметричної методології. Головний здобуток цього дослідження становить запропонований регульовальний кронштейн, який дозволяє краще, порівняно зі звичайною конструкцією, враховувати існуючі умови експлуатації. Подальшим удосконаленням наведеного напрямку наукових розвідок є гнучка стовба [5] дводискового роботизованого сошника з дистанційним керуванням. Її призначення полягає в суттєвому розширенні можливостей більш ефективно здійснювати належну адаптацію до аграрних вимог цих сільськогосподарських знарядь. Основною відповідною характеристикою вважається профіль борозни [6]. У дослідженні [7] представлено математичний апарат її дефініції залежно від обраних діаметрів дисків і потрібної їхньої орієнтації у просторі за

допомогою обчислених необхідних величин трьох кутів. Розглянуті публікації визначили мету даної наукової праці.

Цілі та завдання статті полягають у викладенні розробленого математичного апарату для дефініції змінного положення осі обертання дисків гнучкої багатоланкової дистанційно керованої стовби роботизованого сошника [5].

Основна частина. У виданні [7] наведено аналітичні залежності для розрахунків профілю борозни, отримуваного плоскими дисками діаметром D , що встановлені симетрично відносно стояка сошника та з кутом β відхилення від вертикалі, поворотом на кут α в горизонтальній площині, обертанням на кут γ навколо осі, яка перпендикулярна поздовжній вертикальній площині зняття. Щоб використовувати зазначені вирази застосуємо прямокутну систему координат $Oxyz$ з початком у центрі отвору першої нерухомої ланки стовби (див. рис. 1 б, в). При цьому вісь x протилежна напрямку руху сошника, а вісь z орієнтована вгору.

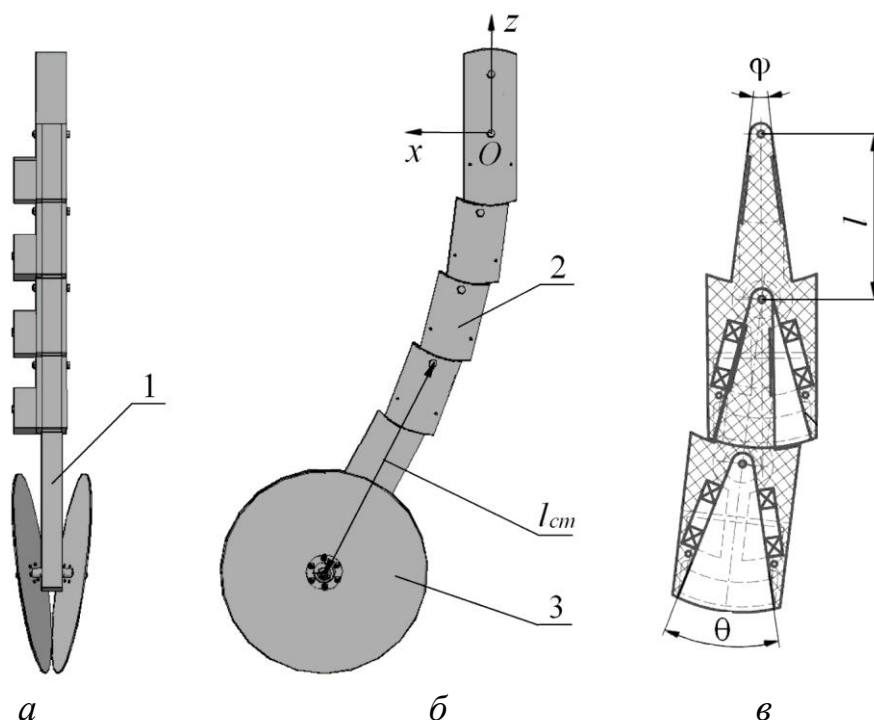


Рис.1. Дводисковий сошник із гнучкою дистанційно-керованою стовбою:

- a – вид за напрямом переміщення знаряддя; b – вид із правого боку;
- $в$ – поєднання рухомих ланок стовби (фрагмент розрізу поздовжньою вертикальною площиною наведеного виду з правого боку)
- 1 – стояк з осями; 2 – багатоланкова стовба; 3 – диск із маточиною та вальницею

Кут між верхніми плоскими гранями ланок стовби φ , а між належними гранями їхніх порожнин θ . Завдяки дії магнітів ці рухомі елементи здатні відхилятися в різні сторони на кут

$$\delta = (\theta - \varphi) / 2. \quad (1)$$

Відстань між точками поєднання ланок дорівнює l , а від останньої до кріплення дисків – l_{cm} , де cm позначає стояк. Тоді загальна розрахункова довжина стовби з n рухомих елементів

$$l_{заг} = n \cdot l + l_{cm}. \quad (2)$$

Розглядатимемо далі

$$n = 3, l = 100 \text{ мм}, l_{cm} = 200 \text{ мм}, \varphi = 10^0, \theta = 40^0. \quad (3)$$

Певною мірою значення (3) ілюструє рис. 1. На підставі формул (1) і (2) маємо

$$\delta = (\theta - \varphi) / 2 = (40^0 - 10^0) / 2 = 15^0, \quad (4)$$

$$l_{заг} = n \cdot l + l_{cm} = 3 \cdot 100 \text{ мм} + 200 \text{ мм} = 500 \text{ мм}. \quad (5)$$

Число положень кінця останньої ланки стовби дорівнює

$$n_{пол} = 2^n. \quad (6)$$

Однак, унаслідок симетрії функціонування поданої кінематичної схеми відносно вертикальної осі (див. рис. 1 в), варто брати до уваги ймовірний збіг деяких указаних позицій, що на практиці може зменшувати реальну величину (6). Графічно опрацьовувані положення відтворюються бінарним деревом із коренем у початку наведеної системи координат, проміжними вершинами в точках поєднання ланок, кінцевими – в місцях кріплення дисків. Особливо цікаві саме останні позиції. Застосовуватимемо для вершин дерева префіксне кодування (рис. 2), яке полягає в тому, що корінь має порожнє найменування для нульового рівня (у нас це нерухомий елемент стовби), а для подальших позначень додаються символи 0 або 1, які свідчать про відхилення ланок відповідно вліво або вправо.

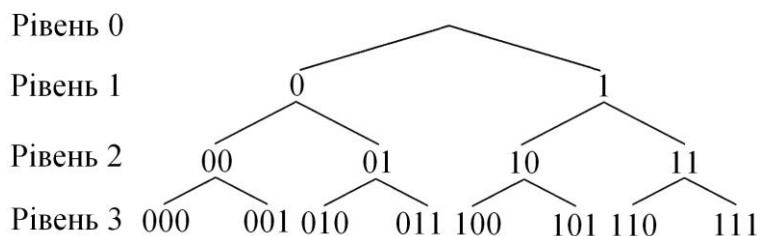


Рис.2. Бінарне дерево поворотів ланок стовби для $n=3$ рухомих елементів

У системі координат Oxz розраховуватимемо положення кожної наступної точки з'єднання шляхом обертання належної довжини рухомого елемента на кут повороту δ з необхідним знаком. Отримані на підставі

даних (4) і (5) результати наведено в табл. 1, 2. Як видно з їх аналізу, маємо підтверджену на практиці дзеркальність обчислених координат відносно вертикальної осі симетрії зображеного на рис. 2 графа. При цьому позначення відповідних вершин є інверсійними.

Точки з'єднання ланок стовби

Таблиця 1

Вершини дерева	Координати, мм	
	x	z
	0	-100
0	25,88	-196,59
1	-25,88	-196,59
00	75,88	-283,20
01	25,88	-296,59
10	-25,88	-296,59
11	-75,88	-283,20

Точки кріплення з дисками

Таблиця 2

Вершини дерева	Координати, мм	
	x	z
000	217,30	-424,62
001	127,65	-476,38
010	77,65	-489,78
011	-25,88	-489,78
100	25,88	-489,78
101	-77,65	-489,78
110	-127,65	-476,38
111	-217,30	-424,62

Подані вище відомості важливі для продуктивного структурно-параметричного формоутворення під час геометричного моделювання роботизованих сошників.

Висновки та перспективи досліджень. Даними розвідками напрацьовано математичний апарат для визначення змінних положень осі обертання дисків гнучкої багатоланкової стовби роботизованих сошників. Перспективними подальшими напрямками є аналітична дефініція такої основної характеристики сільськогосподарського механічного обробітку ґрунту, як отримуваний профіль борозни, що суттєво впливає на врожайність та енергоефективність відповідних аграрних процесів.

Література

1. Sugirbay A., Zhao K., Liu G. et al. Double disc colter for a zero-till seeder simultaneously applying granular fertilizers and wheat seeds. *Agriculture*. 2023. Vol. 13(5), 1102. DOI: 10.3390/agriculture13051102

2. Ahmad F., Weimin D., Qishuo D., Rehim A., Jabran K. Comparative performance of various disc-type furrow openers in no-till paddy field conditions. *Sustainability*. 2017. Vol. 9, 1143. DOI: 10.3390/su9071143
3. Ahmad F., Weimin D., Qishuo D., Hussain M., Jabran K. Forces and straw cutting performance of double disc furrow opener in no-till paddy soil. *PLoS ONE*. 2015. Vol. 10(3), e0119648. DOI: 10.1371/journal.pone.0119648
4. Воробйов О. М. Комп'ютерне варіантне геометричне моделювання дводискових сошників засобами структурно-параметричного формотворення. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2024. Вип. 107. С. 34–41. DOI: 10.32347/0131-579X.2024.107.34-41
5. Воробйов О. М., Вірченко Г. А., Волоха М. П., Яблонський П. М., Лазарчук-Воробйова Ю. В. та ін. Гнучка стовба дводискового сошника з дистанційним керуванням. Патент на корисну модель № 161479. Бюл. № 50/2025. 6 с. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1889969/>
6. Yablonskyi P., Rogovskii I., Virchenko G., Borek K., Volokha M., Golova O. Geometric modeling of disc furrow profile. *Journal of Engineering Sciences*. 2025. Vol. 12(1). P. E1–E8. DOI: 10.21272/jes.2025.12(1).e1
7. Vorobiov O. Computer modelling of basic design and operational geometrical parameters of double disc coulters. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: механізація та автоматизація виробничих процесів*. 2024. Вип. 4(58). С. 12–20. DOI: 10.32782/msnau.2024.4.2

References

1. Sugirbay, A., Zhao K., Liu, G. et al. (2023). Double disc colter for a zero-till seeder simultaneously applying granular fertilizers and wheat seeds. *Agriculture*, 13(5), 1102. DOI: 10.3390/agriculture13051102 {in English}.
2. Ahmad, F., Weimin, D., Qishuo, D., Rehim, A., & Jabran, K. (2017). Comparative performance of various disc-type furrow openers in no-till paddy field conditions. *Sustainability*, 9, 1143. DOI: 10.3390/su9071143 {in English}.
3. Ahmad, F., Weimin, D., Qishuo, D., Hussain, M., & Jabran, K. (2015). Forces and straw cutting performance of double disc furrow opener in no-till paddy soil. *PLoS ONE*, 10(3), e0119648. DOI: 10.1371/journal.pone.0119648 {in English}.
4. Vorobiov, O. M. (2024). Kompiuterne variantne heometrychne modeliuвання dvodyskovykh soshnykiv zasobamy strukturno-parametrychnoho formoutvorennia [Computer variant geometric modeling of double-disc coulters using structural-parametric shaping]. *Applied geometry and engineering graphics*, 107, 34–41. DOI: 10.32347/0131-579X.2024.107.34-41 {in Ukrainian}.
5. Vorobiov, O. M., Virchenko, G. A., Volokha, M. P., Yablonskyi, P. M., Lazarchuk-Vorobiova, Y. V. ta in. (2025). Hnuchka stovba dvodyskovoho soshnyka z dystantsiinym keruvanniam. Patent na korysnu model № 161479. Biul. № 50/2025. 6 s. [Flexible riser of double-disc coulter with remote control. Utility model patent № 161479. Vol. № 50/2025. 6 p.] URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1889969/> {in Ukrainian}.

6. Yablonskyi, P., Rogovskii, I., Virchenko, G., Borek, K., Volokha, M., & Golova, O. (2025). Geometric modeling of disc furrow profile. *Journal of Engineering Sciences*, 12(1), E1–E8. DOI: 10.21272/jes.2025.12(1).e1 {in English}.
7. Vorobiov, O. (2024). Computer modelling of basic design and operational geometrical parameters of double disc coulters. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Mechanization and Automation of Production Processes*, 4(58), 12–20. DOI: 10.32782/msnau.2024.4.2 {in English}.

Senior Teacher **Yulia Lazarchuk-Vorobiova**,
jullazarchuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7866-3299
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

ON THE ISSUE OF GEOMETRIC MODELING OF A ROBOTIC OPENER WITH A FLEXIBLE MULTI-LINK REMOTE-CONTROLLED RISER

Agriculture plays one of the leading roles in the economy of Ukraine in our time. Therefore, the issues of its further improvement, in particular, of existing technical means, are relevant. Minimal tillage, i.e. no plowing, is popular now. This ensures the preservation of the fertile properties of the soil. In addition to ecology, an important problem is the proper improvement of energy efficiency in agricultural processes. For mechanical tools, in this regard, the most promising are disk working bodies. This also applies to simultaneously loosening the soil, adding seeds and necessary nutrients to it to promote rapid plant growth. Such integration of technological operations, implemented by disk openers, significantly increases labor productivity, saves material, financial and other resources. Therefore, this publication is dedicated to these tools. The emphasis is on the following point. The current stage of society's development is largely associated with the introduction of robotic systems into various spheres of life. This concerns not only industry, everyday life, military activities, but also agriculture. New generation openers are equipped with sensors to measure soil moisture, temperature, mechanical condition, weed contamination, plant debris, etc. This allows the automated system to flexibly adapt to existing circumstances, for example, by determining the required tractor speed, the depth of mechanical cultivation, and the optimal shape of the created furrow. The issues of occupational safety in fields with explosive objects, which remain as a result of many years of military operations in Ukraine, are now quite significant for our country.

In addition to the previously presented information on the geometric modeling of disk openers, this article proposes a mathematical apparatus for the analytical definition of the positioning for moving elements of a flexible multi-link robotic riser. The obtained results contribute to the successful practical implementation of the above-analyzed requirements for the considered agricultural tillage implements. Directions for further scientific research are also outlined.

Keywords: geometric modeling; robotic opener; mechanical tillage; multi-link remotely controlled riser; structural-parametric shaping; energy efficiency of agricultural processes.