

к. т. н., доцент **Яблонський П.М.**,  
ypr@ukr.net , ORCID: 0000-0002-1971-5140  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## **ВИКОРИСТАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОМБІНОВАНОГО СОШНИКА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЯГОВОГО ОПОРУ ПРИ ПРЯМІЙ СІВБИ**

*У нинішній складний період існування нашої держави для національної економіки доволі важливе подальше вдосконалення сільськогосподарського виробництва. Один із шляхів досягнення вказаної мети стосується покращення ґрунтообробних знарядь. Ефективним для цього є застосування автоматизованого проектування, яке неможливо уявити без засобів геометричного моделювання. Тому належне поліпшення якості комп'ютерного формоутворення технічних об'єктів становить актуальну науково-прикладну проблему.*

*Перспективні дослідження школи прикладної геометрії КПІ ім. Ігоря Сікорського полягають, зокрема, в узагальненні та інтеграції наявних підходів у сфері проектування машин і процесів сільськогосподарського виробництва та структурно-параметричної методології. Це дозволяє на основі запропонованих нових теоретичних положень, методів, прийомів, алгоритмів і т. д. будувати більш досконалі геометричні моделі різноманітних виробів та процесів. Як наслідок, суттєво покращується математичне і програмне комп'ютерне забезпечення сучасних систем автоматизованого проектування.*

*У статті викладено аналітичне визначення тягового опору сошника для прямої сівби, що являє собою комбінацію розпушувального зуба та стрілчастої культиваторної лапи. Зазначені знаряддя, утворюючи борозни в поверхневому шарі ґрунту, дозволяють одночасно здійснювати смуговий посів зернових, бобових, дрібнонасінних культур тощо та стійке підрізання і знищення бур'янів. Завдяки цьому доволі продуктивні у використанні. Тому опрацювання розглянутого вдосконалення технічних засобів достатньо перспективне.*

*Дана публікація висвітлює також деякі аспекти практичної реалізації запропонованого автором принципу інтеграції теорії структурно-параметричного геометричного моделювання. Це стосується комбінованого формоутворення ґрунтообробних знарядь та поєднання останнього з математичними описами процесів функціонування вказаних об'єктів.*

*Подано висновки, окреслено напрямки проведення подальших наукових розвідок проаналізованої тематики.*

*Ключові слова: автоматизоване проектування; геометричне моделювання; ґрунтообробні знаряддя; комбінований сошник; тяговий опір; пряма сівба; структурно-параметричне формоутворення.*

**Постановка проблеми.** Для багатьох країн на різних континентах важливим є не тільки підвищення врожайності сільськогосподарських культур, а і збереження при цьому родючості ґрунтів. За кордоном ще в минулому столітті зародилась технологія нульового обробітку (аббревіатура No-till), яка прийшла на зміну відвальній оранці та мінімальному обробітку ґрунту. Цей підхід передбачає збереження цілісної структури останнього, залишення на полі стерні та мульчі з подрібнених рослинних залишків, що зменшує випаровування вологи, захищає ґрунт від вітрової ерозії. Суттєва також економічна вигода, адже при відвальній оранці перш ніж приступити безпосередньо до сівби треба провести культивуацію, передпосівний обробіток ґрунту, а за системою No-till можна сіяти по стерні одразу, виключивши всі підготовчі технологічні операції. Тому зазначене покращення сільськогосподарського виробництва доволі актуальне. Успішно вирішувати окреслене питання допомагають належні засоби комп'ютерного геометричного моделювання, вдосконаленню яких присвячено дану публікацію.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасний стан, перспективи подальшого розвитку наукової школи прикладної геометрії КПІ ім. Ігоря Сікорського викладено у праці [1]. Один із напрямків стосується узагальнення та інтеграції підходів у сфері проектування машин і процесів сільськогосподарського виробництва та методології структурно-параметричного формоутворення. Основні відомості про перші наведено у виданнях [2, 3], а стосовно другої – у дослідженні [4]. У роботі [5] автором запропоновано *принцип інтеграції*, що полягає в поєднанні таких стадій життєвого циклу технічних об'єктів як проектування, виготовлення та експлуатація з необхідними засобами геометричного моделювання у вигляді відповідного математичного апарату. Це дозволяє ефективно реалізовувати комплексне оптимальне формоутворення промислової продукції. У публікації [6] подано *спосіб розробляння інтегрованих класифікацій для автоматизованого формоутворення груп технічних об'єктів*, що сприяє суттєвому підвищенню продуктивності їх комп'ютерного проектування. Технологію No-till представлено в огляді [7], а процес сівби зернових згідно з нею – в матеріалах [8]. Теорію сільськогосподарських машин викладено у праці [9]. Розглянуті літературні джерела надають потрібну інформацію про поточний стан і перспективи вирішення проаналізованої проблеми.

**Цілі та завдання статті** полягають в описі використання геометричних параметрів комбінованого сошника для аналітичного визначення тягового опору при прямій сівбі. Цей математичний апарат є складовою автоматизованого проектування ґрунтообробних знарядь.

**Основна частина.** У дослідженні [8], див. рис. 1, наведено технологічно-компонувальну схему комбінованого сошника для прямого посіву.

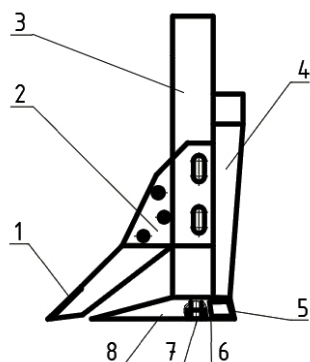


Рис 1. Комбінований сошник сівалки (вид зліва відносно напрямку сівби):  
 1 – розпушувальний зуб; 2 – кронштейн; 3 – стійка; 4 – насіннепровід;  
 5 – розподільник насіння; 6 – підшва; 7 – болт кріплення; 8 – стрілчаста лапа

Під час функціонування цього знаряддя зуб 1 утворює щілину у стерні та розпушує ґрунт. Стрілчаста лапа 8 підрізає бур'яни, а підшва 6 вирівнює дно борозни, ущільнюючи ложе для насіння. Останнє через трубопровід 4 подається до розподільника 5, рівномірно вкладається по борозні та накривається шаром ґрунту, що сходить зі стрілчастої лапи.

Більш докладно геометрію сошника, який розглядається, подано у праці [8]. Тут лише зазначимо, що його можна віднести, на основі застосування принципу інтеграції, до нового типу комбінованих полицево-чизельних знарядь. Таким чином, наведена в публікації [6] множина ґрунтообробних знарядь основного обробітку ґрунту

$$ГЗО = (ГЗО_i)_1^{N_{ГЗО}} = (ГЗО_i)_1^3 \quad (1)$$

доповнюється елементом

$$ГЗО_4 = ПЧГЗ \quad (2)$$

й отримує вигляд

$$ГЗО = (ГЗО_i)_1^{N_{ГЗО}} = (ГЗО_i)_1^4, \quad (3)$$

де  $ГЗО_1 = ПГЗ$  – полицеві,  $ГЗО_2 = ДГЗ$  – дискові,  $ГЗО_3 = ЧГЗ$  – чизельні,  $ГЗО_4 = ПЧГЗ$  – полицево-чизельні.

За аналогією з виразами (1) і (2) кортеж (3) може розширюватися, наприклад, за рахунок дисково-чизельних знарядь тощо.

У виданні [8] для комбінованого сошника, який аналізується, отримано залежність величини зони поширення деформації від форми розпушувального зуба та довжини леза стрілчастої лапи, глибини обробітку ґрунту і стану його поверхневого шару. Проте, на відміну від традиційного землеробства, пряма сівба виконується безпосередньо в мульчу, коли стернею та іншими рослинними залишками створюється додатковий спротив руху робочим органам сівалки. У результаті цього

підвищуються енергетичні витрати. Вочевидь, актуальним є дослідження тягового опору сошника, особливо у зв'язку з формою та розмірами його елементів

Для визначення тягового опору комбінованого сошника нехтуємо, зважаючи на малу величину, опором повітря. Розглядаємо процес функціонування за умови однорідності ґрунту, рівномірної швидкості руху сівалки та глибини її ходу. Загальну величину тягового опору  $R_C$  сошника можна представити як

$$R_{X_C} = R_{X_3} + R_{X_{LC}}, \quad (4)$$

де  $R_{X_3}$  та  $R_{X_{LC}}$  – тяговий опір розпушувального зуба та стрілкової лапи сошника,  $H$ .

У співвідношенні (4) другий доданок

$$R_{X_{LC}} = (1 - k)R_{X_L}, \quad (5)$$

де  $R_{X_L}$  – тяговий опір стрілкової лапи,  $H$ ;

$k$  – коефіцієнт, який залежить від величини деформованого ґрунту розпушувальним зубом.

Значення  $k$  визначається залежністю

$$k = \frac{S_3}{S_L} = \frac{(b_{DH} + b) \cdot a}{2 \cdot b_L \cdot a} = \frac{b_{DH} + b}{2 \cdot b_L}, \quad (6)$$

де  $S_3$ ,  $S_L$  – площі зон деформації розпушувальним зубом і лапою в поперечно-вертикальній площині,  $m^2$ ;

$b_{DH}$  – величина зони поширення деформації ґрунту,  $m$ ;

$b$  – ширина розпушувального зуба,  $m$ ;

$b_L$  – ширина захвату стрілкової лапи,  $m$ ;

$a$  – глибина обробітку ґрунту,  $m$ .

Спираючись на відоме твердження про те, що процес рихлення ґрунту в загальному вигляді полягає в його взаємодії з робочим органом у формі *тригранного клина*, застосовуватимемо *кути встановлення відсіків площин робочої поверхні* розпушувального зуба  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$ ,  $\tau_1$  та стрілкової лапи  $\alpha_2$ ,  $\beta_2$ ,  $\tau_2$ . Подальші теоретичні розрахунки проведено на засадах *теорії тригранного клина* Горячкіна В.П. та його послідовників [9].

Тяговий опір  $R_{X_3}$  розпушувального зуба комбінованого сошника сівалки обчислюється за формулою

$$R_{X_3} = 2 \cdot (R_{X_{3G}} + R_{X_{3F}} + R_{X_{3D}} + R_{X_{3C}}), \quad (7)$$

де  $R_{X_{3G}}$  – вага шару ґрунту,  $H$ ;

$R_{X_{3F}}$  – динамічний тиск шару ґрунту,  $H$ ;

$R_{X_{3D}}$  – опір ґрунту стисненню потилицею леза,  $H$ ;

$R_{X_{3C}}$  – опір ґрунту деформації,  $H$ .

Подібно до виразу (7) тяговий опір  $R_{X_L}$  стрілкової лапи дорівнює

$$R_{X_{Л}} = 2 \cdot (R_{X_{ЛG}} + R_{X_{ЛF}} + R_{X_{ЛD}} + R_{X_{ЛC}}), \quad (8)$$

де доданки аналогічні попередньому співвідношенню.

Величина складової тягового опору розпушувального зуба, яка залежить від ваги шару ґрунту,

$$R_{X_{3G}} = b \cdot a \cdot l_a \cdot \gamma_{об} \cdot \frac{\sin \beta_1 + f \cdot \sin \tau_1 \cdot (\operatorname{ctg}^2 \tau_1 + \cos \beta_1)}{2 \cdot \cos \beta_1 \cdot (1 - f \cdot \operatorname{tg} \beta_1 \cdot \sin \tau_1)}, \quad (9)$$

де  $l_a$  – довжина леза робочого органу на заданій глибині, м;

$\gamma_{об}$  – об'ємна вага ґрунту,  $H/m^3$ ;

$f$  – коефіцієнт тертя ґрунту по сталі.

Тяговий опір розпушувального зуба, що визначається динамічним тиском, складає

$$R_{X_{3F}} = b \cdot a \cdot v^2 \cdot \frac{\gamma_{об}}{2 \cdot g} \cdot \sin^2 \tau_1 \cdot \frac{\sin \beta_1 + f \cdot \sin \tau_1 \cdot (\operatorname{ctg}^2 \tau_1 + \cos \beta_1)}{\operatorname{ctg} \beta_1 - f \cdot \sin \tau_1}, \quad (10)$$

де  $b$  – ширина шару ґрунту, м;

$v$  – робоча швидкість сівалки, м/с;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $m/c^2$ .

Для дефініції опору ґрунту деформації розпушувальним зубом  $R_{X_{3D}}$  припускаємо, що ця сила пропорційна площі поперечного перерізу пласта

$$R_{X_{3D}} = k_1 \cdot a \cdot (r \sin \varphi + l_{Л} \cdot \sin \tau_1), \quad (11)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт, який враховує властивості ґрунту та геометричну форму розпушувального зуба;

$a$  – висота шару ґрунту, м;

$r$  – радіус кривини леза розпушувального зуба, м;

$\varphi$  – кут тертя ґрунту по поверхні розпушувального зуба, град;

$l_{Л}$  – довжина леза зуба, м.

Опір розпушувального зуба, що залежить від спротиву ґрунту стиску потилицею леза, дорівнює

$$R_{X_{3C}} = \lambda_1 \cdot G_M \cdot \sin \tau_1 \cdot \frac{\sin \mu_3 + f \cdot \sin \tau_1 \cdot (\operatorname{ctg}^2 \tau_1 + \cos \mu_3)}{\cos \mu_3 - f \cdot \sin \tau_1 \cdot \sin \mu_3}, \quad (12)$$

де  $\lambda_1$  – коефіцієнт, який враховує тиск сівалки на розпушувальний зуб;

$G_M$  – вага шару ґрунту,  $H$ ;

$\mu_3$  – потиличний кут, град.

Вирази (9) ... (12) і залежність (7) визначають тяговий опір розпушувального зуба опрацьовуваного сошника. Виконуємо аналогічні викладки з геометричними параметрами стрілкової лапи. Беремо до уваги, що кут  $\varphi$  тертя ґрунту по розпушувальному зубу та по стрілкової лапі однакові, а їх потиличні кути  $\mu_3$  рівні. На основі співвідношення (8) маємо формулу для тягового опору стрілкової лапи

$$\begin{aligned}
R_{xЛ} = & 2 \cdot (b_2 \cdot a \cdot l_{2a} \cdot \gamma_{об} \cdot \frac{\sin \beta_2 + f \cdot \sin \tau_2 \cdot (\operatorname{ctg}^2 \tau_2 + \cos \beta_2)}{2 \cdot \cos \beta_2 \cdot (1 - f \cdot \operatorname{tg} \beta_2 \cdot \sin \tau_2)} + \\
& + b_2 \cdot a \cdot v^2 \cdot \frac{\gamma_{об}}{2 \cdot g} \cdot \sin^2 \tau_2 \cdot \frac{\sin \beta_2 + f \cdot \sin \tau_2 \cdot (\operatorname{ctg}^2 \tau_2 + \cos \beta_2)}{\operatorname{ctg} \beta_2 - f \cdot \sin \tau_2} + \\
& + k_2 \cdot a \cdot \frac{b_2}{2} + \lambda_2 \cdot G_M \cdot \sin \tau_2 \cdot \frac{\sin \mu_3 + f \cdot \sin \tau_2 \cdot (\operatorname{ctg}^2 \tau_2 + \cos \mu_3)}{\cos \mu_3 - f \cdot \sin \tau_2 \cdot \sin \mu_3}), \quad (13)
\end{aligned}$$

де  $b_2$  – ширина шару ґрунту, м;

$l_{2a}$  – довжина леза лапи на заданій глибині, м;

$\beta_2$  – кут кришення стрілкової лапи, град;

$\tau_2$  – кут розхилу крил стрілкової лапи, град;

$k_2$  – коефіцієнт, що враховує властивості ґрунту та геометричну форму стрілкової лапи;

$\lambda_2$  – коефіцієнт тиску сівалки на стрілкову лапу.

Отже, вирази (4) ... (13) описують запропонований математичний апарат з використанням засобів геометричного моделювання для аналітичного визначення тягового опору проаналізованого комбінованого сошника при прямій сівбі.

**Висновки та перспективи досліджень.** Подано приклад застосування напрацьованого принципу інтеграції методології структурно-параметричного формоутворення для забезпечення ефективного автоматизованого проєктування ґрунтообробних знарядь. Акцентовано необхідність проведення подальших відповідних розвідок для розширення сфери практичного впровадження отриманих наукових результатів.

## 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*. 2018. Вип. 2. С. 17–23. DOI 10.32782/2618-0340-2018-2-17-23
2. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. Сільськогосподарські та меліоративні машини. Київ: Вища освіта, 2004. 544 с.
3. Кошук О.Б., Лузан П.Г., Мося І.А. Сільськогосподарські і меліоративні машини. Київ: ПІТО НАПН України, 2015. 291 с.
4. 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.
5. Яблонський П.М. Деякі питання узагальнення засобів геометричного моделювання для проєктування технічних об'єктів. *Сучасні проблеми моделювання*, 2018. Вип. 13. С. 192–198.

6. Яблонський П.М., Вірченко Г.А., Волоха М.П., Воробійов О.М., Лазарчук-Воробійова Ю.В. До питання аналізу геометричних моделей сучасних ґрунтообробних знарядь. *Сучасні проблеми моделювання*, 2022. Вип. 24. С. 193–200.
7. Neupane, J., Guo, W. Agronomic bases and strategies of accurate water resources management: a review. *Agronomy*, 2019. Vol. 9. Issue 2. Article 87.
8. Ванін В.В., Волоха М.П., Юрчук В.П., Болдирєва Л.В. Дослідження процесу сівби зернових відповідно до технології NO-TILL. Збірник доповідей XI Всеукраїнської науково-практичної конференції «*Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти інтелектуальної власності*». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. С. 122–126.
9. Заїка П.М. *Машини та знаряддя для обробітку ґрунту / Теорія сільськогосподарських машин*. Т. 1 (ч. 1) Харків: Око, 2001. 444 с.

### References

1. Vanin V.V., Virchenko G.A., Gumen O.M., Yurchuk V.P., Yablonskyi P.M. Current state and perspectives for further development of the Scientific School of Applied Geometry of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". *Prykladni pytannia matematychnoho modeliuвання*. 2018. Vyp. 2. S. 17–23. DOI 10.32782/2618-0340-2018-2-17-23 {in Ukrainian}
2. Voitiuk, D.H., Dubrovin, V.O., Ishchenko, T.D. *Agricultural and reclamation machines*. Kyiv: Vyshcha osvita, 2004. 544 s. {in Ukrainian}
3. Koshuk O.B., Luzan P.H., Mosia I.A. *Agricultural and reclamation machines*. Kyiv: IPTO NAPN Ukrainy, 2015. 291 s. {in Ukrainian}
4. 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}
5. 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}
6. 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}
7. Neupane, J., Guo, W. Agronomic bases and strategies of accurate water resources management: a review. *Agronomy*, 2019. Vol. 9. Issue 2. Article 87. {in English}
8. Vanin V.V., Volokha M.P., Yurchuk V.P., Boldyrieva L.V. Study of the grain sowing process in accordance with the NO-TILL technology. *Zbirnyk dopovidei XI Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Prykladna heometriia, inzhenerna hrafika ta obiekty intelektualnoi vlasnosti»*. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2022. S. 122–126. {in Ukrainian}

9. Zaika P.M. Machines and tools for soil cultivation. *Theory of agricultural machines*. Vol. 1 (Part 1). Kharkiv: Oko, 2001. 444 s. {in Ukrainian}

Doctor of Philosophy, Associate Professor **Petro Yablonskyi**,  
ypn@ukr.net , ORCID: 0000-0002-1971-5140  
National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

## **USING THE GEOMETRIC PARAMETERS OF THE COMBINED COULTER TO DETERMINE THE TRACTION RESISTANCE DURING THE DIRECT SOWING**

*Further improvement of agricultural production is quite important for the national economy of our state in the current difficult period. One way to achieve this goal concerns the improvement of tillage implements. The use of computer-aided design, which cannot be imagined without geometric modeling tools, is effective for this. Therefore, the proper improvement of the quality of computer shaping of technical objects is an urgent scientific and applied problem.*

*The generalization and integration of existing approaches in the field of machines and processes of agricultural production and structural-parametric methodology are the perspective researches, in particular, of the Applied Geometry School of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. This allows, on the basis of the proposed new theoretical positions, methods, techniques, algorithms, etc., to create more advanced geometric models of various products and processes. As a result, the mathematical and software support of modern computer-aided design systems is significantly improved.*

*The article presents an analytical definition of the traction resistance of a coulters for direct sowing, which is a combination of a loosening tooth and an arrow-shaped cultivator paw. These tools, forming furrows in the surface layer of the soil, allow simultaneous strip sowing of grain, leguminous, small-seeded crops, etc. and stable trimming and destruction of weeds. Due to this, they are quite productive in use. Therefore, the development of the considered improvement of technical means is quite promising.*

*This publication also highlights some aspects of the practical implementation of proposed by author the integration principle of the structural-parametric geometric modeling theory. This concerns the combined shaping of tillage tools and the combination of the latter with mathematical descriptions of the processes of functioning of the specified objects.*

*Conclusions are presented. The directions for further scientific research of the analyzed topic are outlined.*

*Keywords: automated design; geometric modeling; tillage tools; combined coulters; traction resistance; direct sowing; structural-parametric*



*shaping.*