

УДК 514.8:631.31

## **ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗОНИ АКТИВНОЇ ДІЇ ГВИНТОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ**

Яблонський П.М., к.т.н. \*

Ванін В.В., д.т.н.

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

*Дану публікацію присвячено геометричному моделюванню зони активної дії (активної зони) гвинтових робочих органів ґрунтообробних знарядь шляхом використання евольвентно-еволютних моделей.*

*Традиційно конструювання робочих органів ґрунтообробних машин пов'язано з використанням раніше відомих методів, які використовують у машинобудуванні. Такий 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. Зокрема, задача визначення зони активної дії гвинтового робочого органу ґрунтообробного знаряддя також, як правило, значною мірою вирішується експериментально.*

*Таким чином, актуальним є пошук нових або адаптація (удосконалення, узагальнення тощо) відомих методів проектування робочих поверхонь ґрунтообробних знарядь.*

*Зокрема, у даній статті пропонується розглянути на базі існуючих моделей переміщення частинок потоку можливість геометричного моделювання зони активної дії гвинтоподібних ґрунтообробних знарядь. Для спрощення розрахунків моделюємо знаряддя гвинтовим коноїдом, який вважатимемо спрощеною моделлю знаряддя.*

*Крім цього, з'ясовано, що шукана зона активної дії гвинтових робочих органів ґрунтообробних знарядь буде обмежена еволютною поверхнею, а існування поверхонь поділу як еволютних поверхонь зумовлене взаємодією частинок ґрунту, що переміщуються, з поверхнею робочого органу. Отримана еволютна поверхня є класичною геометричною моделлю.*

*Також у статті визначено перспективні напрямки проведення подальших наукових досліджень, а саме геометричне моделювання зони активної дії робочих органів ґрунтообробних знарядь з врахуванням таких технологічних факторів, як вага ґрунту, що переміщується, швидкість обертання рушія (робочого органу), кут*

---

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

атаки тощо.

*Окремий інтерес становить обернена задача геометричного моделювання робочого органу ґрунтообробного знаряддя за наперед визначеною активною зоною.*

*Ключові слова: геометричне моделювання, зона активної дії, евольвента, еволюта, евольвентно-еволютна модель, еволютна поверхня, гвинтовий робочий орган, ґрунтообробні знаряддя, відбивні потоки.*

**Постановка проблеми.** Традиційно конструювання робочих органів ґрунтообробних машин пов'язано з використанням раніше відомих методів, які використовують у машинобудуванні. Такий 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 або адаптація (удосконалення, узагальнення тощо) відомих методів проектування робочих поверхонь ґрунтообробних знарядь.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Із великої кількості методів проектування лише незначна їх частина базується на графоаналітичних та аналітичних залежностях робочих поверхонь від агротехнічних вимог, які є основою алгоритмів конструювання даних поверхонь в графічному та аналітичному виглядах [1-2].

Враховуючи однозначність функціональних залежностей геометричної форми поверхонь робочих органів ґрунтообробних знарядь від кінематичних чинників та параметрів створюваного у ґрунті напружено-деформованого стану, необхідним є подальший розвиток досліджень, щодо пошуку методів оптимізації конструкційних параметрів робочих органів у відповідності до агротехнологічних вимог [2].

**Формулювання цілей статті.** Ціль даної статті полягає у викладенні методики використання евольвентно-еволютних моделей при геометричному моделюванні активної зони (зони активної дії) гвинтових робочих органів ґрунтообробних знарядь.

**Основна частина.** Гаспар Монж запропонував модель технологічного процесу переміщення частинок ґрунту з виїмки на насип як евольвентно-еволютну модель, на основі якої ним була створена теорія конгруенції [3].

Розвиток евольвентно-еволютної моделі Монжа для відбивних потоків різної природи розглянуто в роботах проф. В.В. Ваніна [4]. Поверхня поділу визначається автором для потоків, які відбиваються по нормалях як еволютна, за іншими траєкторіями – як еволютоїдна.

Еволютна поверхня  $\Sigma'$  може бути визначена як обвід сім'ї

еволют, які побудовані у напрямку нормалі поверхні рушія  $\Sigma$  для ліній кривини. Кожній лінії кривини – евольвенті у заданому напрямку евольвентно-еволютної відповідності відповідає просторова гвинтова лінія – еволюта. Кожна з двох сімей ліній кривини поверхні  $\Sigma$  має сім'ю еволют, що в сукупності, у загальному випадку, створює одну порожнину еволютної поверхні  $\Sigma'$  [4].

Відомо, що гвинтові поверхні, чи їх певні геометричні характеристики, досить часто використовуються в сільськогосподарському машинобудуванні. Так гвинтову форму мають робочі поверхні землерийних машин, викопувальні, сепаруючі і транспортуючі органи коренезбиральних машин, поверхні дискових фрезерних та багато інших ґрунтообробних знарядь.

Такі поверхні при своєму переміщенні створюють гвинтову дію на шар ґрунту, яка є найбільш ефективною за словами засновника землеробської механіки акад. В.П. Горячкіна – гвинтова поверхня є найбільш раціональною формою ґрунтообробного знаряддя [5].

Задача визначення зони активної дії гвинтового робочого органу ґрунтообробного знаряддя, як правило, значною мірою вирішується експериментальним шляхом. Розглянемо на базі існуючих моделей переміщення частинок потоку можливість геометричного моделювання зони активної дії гвинтоподібних знарядь.

Така зона буде обмежена еволютною поверхнею. Для спрощення розрахунків моделюємо знаряддя гвинтовим коноїдом, який вважатимемо спрощеною моделлю знаряддя. Проілюструємо утворення еволютної поверхні на прикладі гелікоїда (рис. 1).

Нехай поверхню гелікоїда задано рівняннями:

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

Лінії кривини визначаються з рівняння:

$$\begin{vmatrix} dv^2 & -dudv & du^2 \\ E & F & G \\ L & M & N \end{vmatrix} = 0, \quad (2)$$

де  $E, F, G$  – коефіцієнти першої квадратичної форми, а  $L, M, N$  – другої квадратичної форми.

У випадку з гелікоїдом маємо:

$$E = 1, F = 0, G = u^2 + b^2, L = 0, M = -\frac{b}{\sqrt{u^2 + b^2}}, N = 0. \quad (3)$$

На основі (2) та (3) отримуємо:

$$\frac{du}{\sqrt{u^2 + b^2}} - dv = 0, \quad \frac{du}{\sqrt{u^2 + b^2}} + dv = 0. \quad (4)$$

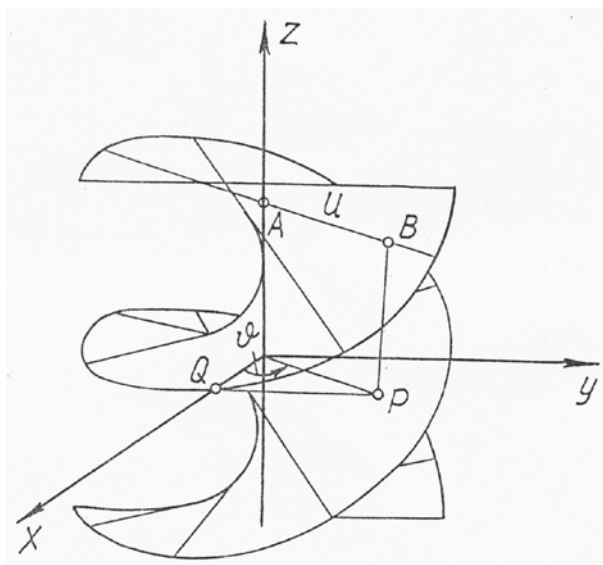


Рис. 1. Утворення еволютної поверхні на прикладі гелікоїда

На основі (2) та (3) отримуємо:

$$\frac{du}{\sqrt{u^2 + b^2}} - dv = 0, \quad \frac{du}{\sqrt{u^2 + b^2}} + dv = 0. \quad (4)$$

Інтегруючи знаходимо рівняння ліній кривини:

$$\text{Arsh} \frac{u}{b} = \pm(v - v_0), \quad u = \pm b \cdot \text{sh}(v - v_0). \quad (5)$$

Кут напрямів ліній кривини з твірними визначимо з наступного виразу:

$$\cos \varphi = \frac{Edu + Fdv}{\sqrt{Edu^2 + 2Fdudv + Gdv^2}}. \quad (6)$$

Враховуючи (3) і (4) отримаємо  $\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ,  $\varphi = \pm 45^\circ$ , тобто основні напрямки ділять навпіл кути між напрямками твірної і гвинтової лінії.

Основні кривини знайдемо з виразу:

$$\frac{1}{R} = \frac{Ldu + Mdv}{Edu + Fdv}. \quad (7)$$

Підставивши (3) і (4) отримаємо:

$$\frac{1}{R_1} = -\frac{b}{u^2 + b^2}, \quad \frac{1}{R_2} = \frac{b}{u^2 + b^2}. \quad (8)$$

Рівняння порожнин еволютної поверхні мають наступний вигляд:

$$r_1 = r + R_1 m, \quad r_2 = r + R_2 m, \quad (9)$$

де  $r_1$  і  $r_2$  вектори першого і другого центра.

Координати орта нормалі  $m$ :

$$X = \frac{b \sin v}{\sqrt{u^2 + b^2}}, \quad Y = -\frac{b \cos v}{\sqrt{u^2 + b^2}}, \quad Z = \frac{u}{\sqrt{u^2 + b^2}}. \quad (10)$$

Враховуючи вище викладене знаходимо рівняння еволютних поверхонь:

$$\begin{aligned} X_1 &= u \cos v - \sqrt{u^2 + b^2} \sin v; & X_2 &= u \cos v + \sqrt{u^2 + b^2} \sin v; \\ Y_1 &= u \sin v + \sqrt{u^2 + b^2} \cos v; & Y_2 &= u \sin v - \sqrt{u^2 + b^2} \cos v; \\ Z_1 &= bv - \sqrt{u^2 + b^2} \frac{u}{b}; & Z_2 &= bv + \sqrt{u^2 + b^2} \frac{u}{b}. \end{aligned} \quad (11)$$

Очевидно, що обидві порожнини еволютної поверхні (рис. 2) – зони активної дії гвинтового робочого органу – накладаються на одну і ту ж поверхню обертання та мають гвинтоподібний характер. Зазначимо, що ці поверхні є фокальними нормальної конгруенції поверхні гелікоїда [4].

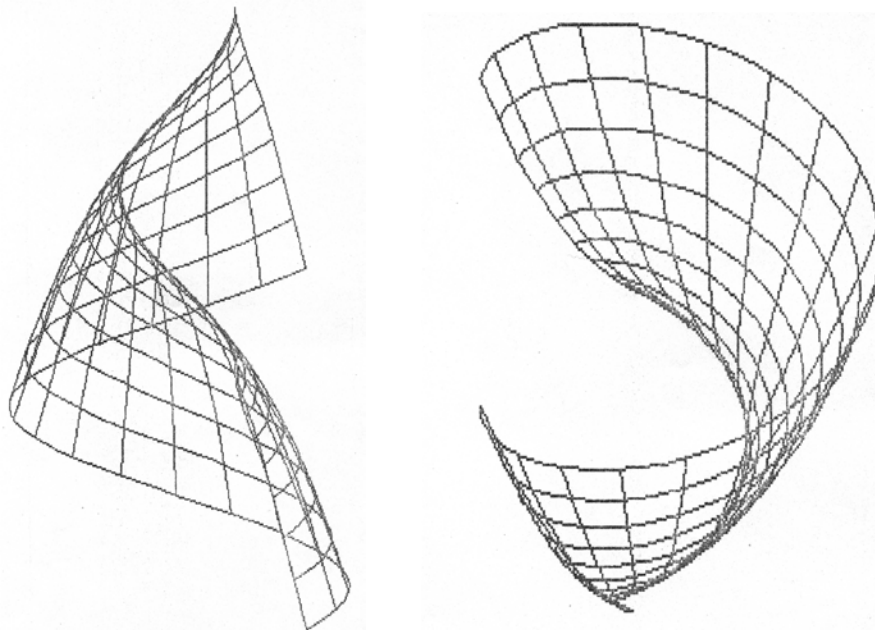


Рис. 2. Порожнини еволютної поверхні – зони активної дії гвинтового робочого органу

Існування поверхонь поділу як еволютних поверхонь  $\Sigma'$  зумовлене взаємодією частинок ґрунту, що переміщуються, з поверхнею. Отримана еволютна поверхня є класичною геометричною моделлю.

**Висновки.** У статті запропоновано вирішення задачі визначення зони активної дії гвинтового робочого органу ґрунтообробного знаряддя шляхом її геометричного моделювання на базі існуючих моделей переміщення частинок потоку. Зокрема, визначено, що така зона буде обмежена еволютною поверхнею.

Перспективним напрямком подальших досліджень є геометричне моделювання зони активної дії робочих органів ґрунтообробних знарядь з врахуванням таких технологічних факторів, як вага ґрунту, що переміщується, швидкість обертання рушія (робочого органу), кут атаки тощо.

Окремий інтерес становить обернена задача геометричного моделювання робочого органу ґрунтообробного знаряддя за наперед визначеною активною зоною.

### *Література*

1. Яблонський П.М., Подкоритов А.М., Юрчук В.П. Використання теорії спряжених поверхонь при конструюванні сільсько-господарських знарядь / П.М. Яблонський, А.М. Подкоритов, В.П. Юрчук // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць / МДПУ ім. Б. Хмельницького. – Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2017. Вип. 8. С. 159-164.
2. Кухарець С.М. Обґрунтування процесу роботи та параметрів ротаційно-лопатевого робочого органу ґрунтообробного знаряддя [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / С.М. Кухарець. – Глеваха, 2004. - 20 с.
3. Monge G. Mémoire sur la théorie des déblais et des remblais. Paris, 1781.
4. Ванін В.В. Евольвентно-еволютні моделі в упорядкованих потоках [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.01.01 / В.В. Ванін. – К., 1996. 39 с.
5. Горячкин В.П. О движении почвы по отвалу: собр. соч. в 3 т. / В.П. Горячкин. М.: Колос, 1965. Т. 2. 1965.

## **ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОНЫ АКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ ВИНТОВЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ОРУДИЙ**

Яблонский П.Н., Ванин В.В.

*Данную публикацию посвящено геометрическому моделированию зоны активного действия (активной зоны) винтовых*

*рабочих органов почвообрабатывающих орудий путем использования эвольвентно-эволютных моделей.*

*Традиционно конструирование рабочих органов почвообрабатывающих машин связано с использованием ранее известных методов, используемых в машиностроении. Такой подход, как правило, базируется на экспериментальном подборе, изготовлении большого количества опытных образцов и дальнейшего их испытания в различных технологических режимах, что является его существенным недостатком. В частности, задача определения зоны активного действия винтового рабочего органа почвообрабатывающего орудия также, как правило, в значительной степени решается экспериментально.*

*Таким образом, актуальным является поиск новых или адаптация (усовершенствование, обобщение и т.д.) известных методов проектирования рабочих поверхностей почвообрабатывающих орудий.*

*В частности, в данной статье предлагается рассмотреть на базе существующих моделей перемещения частиц потока возможность геометрического моделирования зоны активного действия винтовых почвообрабатывающих орудий. Для упрощения расчетов моделируем орудие винтовым коноидом, который будем считать упрощенной моделью орудия.*

*Кроме этого, установлено, что искомая зона активного действия винтовых рабочих органов почвообрабатывающих орудий будет ограничена эволютной поверхностью, а существование поверхностей раздела как эволютных поверхностей обусловлено взаимодействием перемещаемых частиц почвы с поверхностью рабочего органа. Полученная эволютная поверхность является классической геометрической моделью.*

*Также в статье определены перспективные направления проведения дальнейших научных исследований, а именно геометрическое моделирование зоны активного действия рабочих органов почвообрабатывающих орудий с учетом таких технологических факторов, как вес перемещаемой почвы, скорость вращения движителя (рабочего органа), угол атаки и тому подобное.*

*Отдельный интерес представляет обратная задача геометрического моделирования рабочего органа почвообрабатывающего орудия по заранее известной активной зоне.*

*Ключевые слова: геометрическое моделирование, зона активного действия, эвольвента, эволюта, эвольвентно-эволютная модель, эволютная поверхность, винтовой рабочий орган, почвообрабатывающие орудия, отраженные потоки.*

## GEOMETRICAL MODELING OF THE ZONE ACTIVE ACTION OF SCREW WORKING AUTHORITIES OF SOIL-PROCESSING TOOLS

Yablonskyi P., Vanin V.

*The present paper describes the geometric modeling of the active zone (core) of tillage tools screw working parts using involute-evolute models.*

*As a rule, the design of working parts of tillage machines is associated with the use of previously known mechanical engineering methods. This approach is based on experimental selection, the manufacture of a large number of prototypes and their further testing in various technological regimes. This is a significant disadvantage. In particular, the task of determining the zone of active action of a screw working part of a tillage implement is solved experimentally.*

*Thus, the search for new or adaptation (improvement, synthesis, etc.) of the known methods of designing working surfaces of tillage implements is relevant.*

*In particular, this article discusses the possibility of geometrical modeling of the screw tillage implements active action zone based on existing models of the motion of flow particles. To simplify the calculation, a tool with a screw conoid will be calculated by a simplified model of the tool.*

*It was found that the desired area of active action of screw working parts of tillage tools is limited to the evolving surface and the presence of the interface as evolutionary surfaces due to the interaction of transported soil particles with the surface of the working body. The evolutionary surface that results is a classic geometric model.*

*The article identifies promising areas for further scientific research, namely, geometric modeling of the zone of active action of working parts of tillage tools, taking into account such technological factors as the mass of soil being moved, the speed of rotation of the propeller. (working part), angle of attack and etc.*

*Of particular interest is the inverse problem of geometric modeling of the working body of a tillage implement on a previously known active zone.*

*Key words: geometric modeling, active zone, evolute, involute, evolvent-evolutionary model, involute surface, screw working detail, tillage tools, reflected flows.*