

УДК 631. 316.022.4

DOI:

## МЕТОДИКА ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ СТРІЛЧАТОЇ ЛАПИ НА ОСНОВІ БІОЛОГІЧНОГО ПРОТОТИПУ

Михайлов Є. В., д. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 42-13-06

Волик Б. А., к. т. н.,

Теслюк Г. В., к. т. н.,

Коновий А. В. асп.\*

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет*

**Анотація** – в роботі нами запропонована методика обґрунтування конструктивної схеми стрілчастої лапи на підставі аналізу тіла біологічного прототипу – каліфорнійського морського ската. Наведено приклад конкретного розрахунку профілю різального периметра, базовий розмір якого відповідає розмірам технічного прототипу.

Технології вирощування сільськогосподарських культур мають стійку тенденцію до вдосконалення, що вимагає такої ж постійної адаптації системи машин до умов експлуатації. Зміни в технології практично завжди супроводжуються змінами в системі обробки ґрунту. Серед останніх істотних інновацій необхідно відзначити систему органічного землеробства. Характерною особливістю її впровадження є наявність у поверхневому шарі ґрунту значної кількості рослинних залишків, які не пройшли повністю стадію гуміфікації. В результаті ступінь консолідації ґрунту знижується. У той же час, основні ґрунтообробні знаряддя розраховані на роботу в умовах підпірного різання і їх використання в умовах зниженої консолідації оброблюваного середовища стає проблематичним. В якості вирішення проблеми нами пропонується покращити обтічність робочих поверхонь і різучого периметра на основі використання методів біоніки. Зокрема за допомогою запозичення форми тіла морських тварин, що мають хороші гідродинамічні властивості.

**Ключові слова** – органічне землеробство, консолідація ґрунту, стрілчаста лапа, безпідірне різання, біологічний аналог, критерій подібності.

---

© Михайлов Є. В., Волик Б. А., Теслюк Г. В., Коновий А. В.

\* Науковий керівник – к. т. н., доц. Волик Б. А.

*Постановка проблеми.* Основна відмінність традиційної технології з використанням полицевого обробітку від поверхневого в системі органічного землеробства полягає в принципах формування гумусового профілю у ґрунті. В першому випадку рослинні рештки заорюють на велику глибину. В другому у поверхневий шар.

Рослинні рештки, що попали у ґрунт або знаходяться на його поверхні підвержені розкладанню під дією мікроорганізмів і ґрунтової фауни. Процес розкладання має два різновиди – мінералізація і гуміфікація.

Мінералізація – розпадання органічного матеріалу до кінцевих продуктів: води, азоту, фосфору, магнію, калію кальцію та ін.

Гуміфікація – сукупність біохімічних і фізико-хімічних процесів трансформації продуктів розкладання органічних решток в гумусові кислоти ґрунту. Підсумок гуміфікації – закріплення у ґрунті органічного матеріалу у формі нових продуктів, стійких до мікробіологічного розкладу. Ці матеріали є акумуляторами запасів енергії і елементів живлення для наступного покоління рослин.

Швидкість розпадання у значній мірі залежить від типу ґрунту і його гранулометричного складу, а також від типу процесу – аеробний чи анаеробний. При глибокому заорюванні рослинних решток переважають анаеробні процеси, при поверхневому аеробні. Як наслідок в поверхневому шарі гумус утворюється швидше, але він бистріше і мінералізується.

Ще одна особливість – надземна маса, особливо бобових розпадається швидше за кореневу систему і коренева система мінералізується з меншою швидкістю.

Технологія також передбачає розкидання по поверхні подрібнених решток попередника. Рослинні рештки заорюють лущільником або дискатором на глибину до 10 см. Таким чином, у поверхневому шарі накопичується значна кількість рослинних решток, які ще не пройшли стадію гуміфікації.

Поверхневий обробіток, як правило виконують комбінованим агрегатом у складі – стрілочастих лап, турбодискові секції і ножового катка.

Конструктивні параметри і режим роботи стрільчастої лапи визначається механіко-технологічними властивостями середовища, що обробляється. В даному випадку середовище слабо консолідоване і режим підпірного різання на який розраховані стрільчасті лапи не виконується. Таким чином, використання культиватора з лапами традиційного виконання є проблематичним.

*Аналіз останніх досліджень.* Як відомо [1], працездатність лапи визначають кути: розкриття крил, постановки крил до dna борозни, підйому ґруді. Методики визначення абсолютних значень

наведених кутових параметрів добре відпрацьовані [1], але вони працюють за умови підпорного різання, що в умовах слабо консолідованого ґрунту не зовсім відповідає дійсності. Модель повинна бути змінена.

Відомий фермер Лазаренко І. І. експериментально відпрацював конструкцію стрілчастої лапи (рис. 1, а) для роботи саме в таких умовах.

Як видно на рисунку, лапа має підвищену стріловидність і лезо крила з рваною поверхнею диференційованої зносостійкості. Завдяки швидкісному напору така конструкція у парі з ножовим катком досить якісно виконує розпушення на глибину до 15 см (рис. 1, б), але, як правило, такої якості вдається досягти як мінімум за два проходи агрегату.



а



б

Рис. 1. Стрілчаста лапа конструкції Лазаренко І. І. (а); загальний вид плантації після проходу культиватора (б)

Відомий агроєколог Антонець А. С. [2] рекомендує вести обробку на глибину 5 см і теж виконувати два проходи.

Аналіз роботи фермерських господарств Швейцарії, країни де органічне землеробство широко практикується теж підтверджує глибину 5 см і дворазове проходження агрегату [3].

Таким чином, за один прохід якісне підрізання не виконується, не дивлячись на те, що всі три джерела рекомендують підвищення швидкості на 20-30%, що свідчить про те, що лапу треба адаптовувати на безпідірний режим різання. Забезпечити такий режим можна покращенням обтічності робочого органу.

В даному розрізі перспективним є використання методів біоніки і зокрема методу функціональних аналогій [4-7]. Сутність методу полягає в тому, що параметри знаряддя отримують шляхом моделювання біологічного аналогу. Для ґрунтообробних машин

основні принципи моделювання закладені Гудковим А. Н. [6], найбільш детальні дослідження виконані Бабіцьким Л. Ф. [4-6]. На даний момент можна виділити два основних напрямки досліджень:

- біологічний аналог функціонує в середовищі, аналогічному досліджуваному, наприклад, землерої, хрпаки;
- аналог функціонує у водному середовищі, наприклад, акула, морський скат;
- аналог функціонує у повітряному середовищі, наприклад орел, ластівка, кондор.

Але, скопіювати біологічний прототип це тільки половина діла. Для вирішення конкретної практичної задачі необхідно на основі копії створити відповідний математичний апарат (математичну модель), який би дозволив виконати адаптацію моделі до конкретних умов експлуатації.

*Формування цілей статті (постановка завдання).* Обґрунтування методами біоніки конструктивних параметрів стрільчастої лапи, адаптованої до роботи в умовах органічного землеробства.

*Основна частина.* Аналізом літературних джерел встановлено, що з точки зору гідродинаміки тіло акули і морського скату – самі раціональні природні конструкції [8, 10]. За формою тіло каліфорнійського морського скату найбільш відповідає формі стрільчастої лапи і тому його прийняли в якості біологічного аналогу.

До особливостей будови тіла скату, які визначають його гідродинаміку і які обов'язково повинні бути враховані в моделюванні слід віднести:

- ключовидний ніс;
- форма тіла – закруглена спереду та загострена ззаду;
- ріжуча кромка по периметру має профіль, що забезпечує розсікання середовища ламінарним потоком, тобто без завихрення.

Після того, як аналог обраний, процес формування конструкції робочого органа проходить декілька етапів. Розглянемо їх послідовно.

Шляхом обміру фотографічного зображення аналогу, створюється геометрична модель, яка за формою і розмірами йому повністю відповідає (рис. 2).

Результати замірів необхідно представити у табличному виді, що необхідно для складання регресійної моделі.

Взявши за основу геометричну модель, розробляємо розрахункову схему (рис. 3). Розміри необхідно прийняти у відповідності до критерію подібності. В нашому випадку - це співвідношення визначального конструктивного параметра технічного прототипу – це ширина захвату  $B_p$  і ширини тіла біологічного аналогу  $Y_8$ .

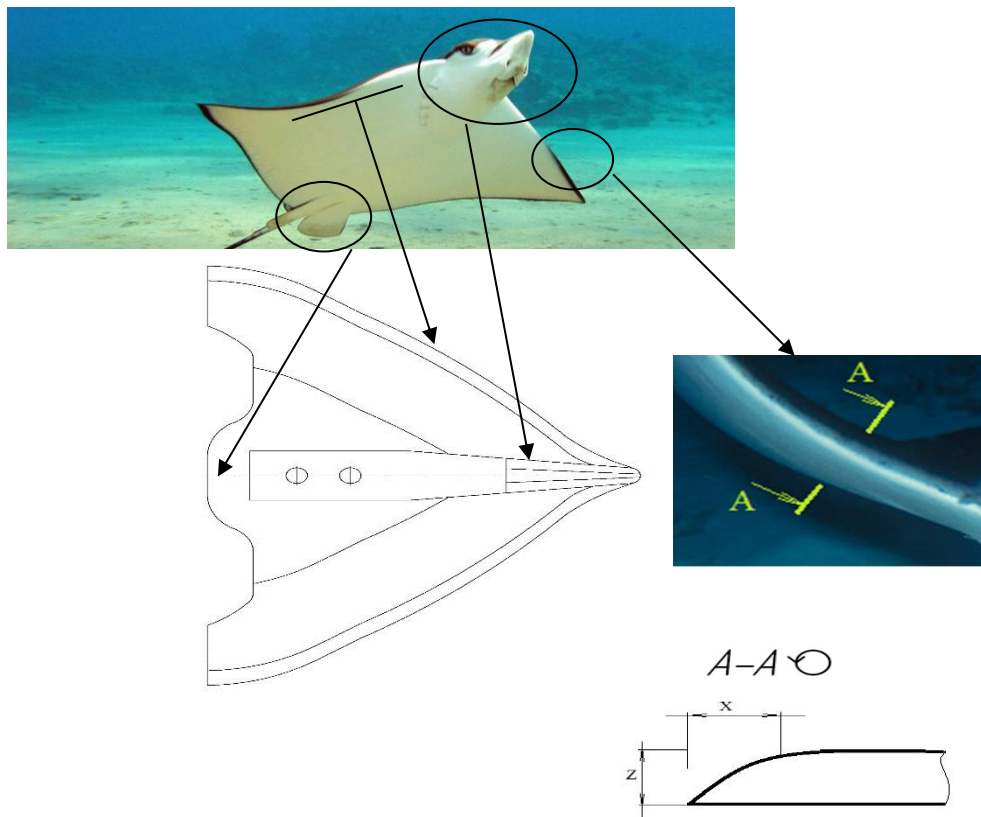


Рис. 2. Принцип формування геометричної моделі

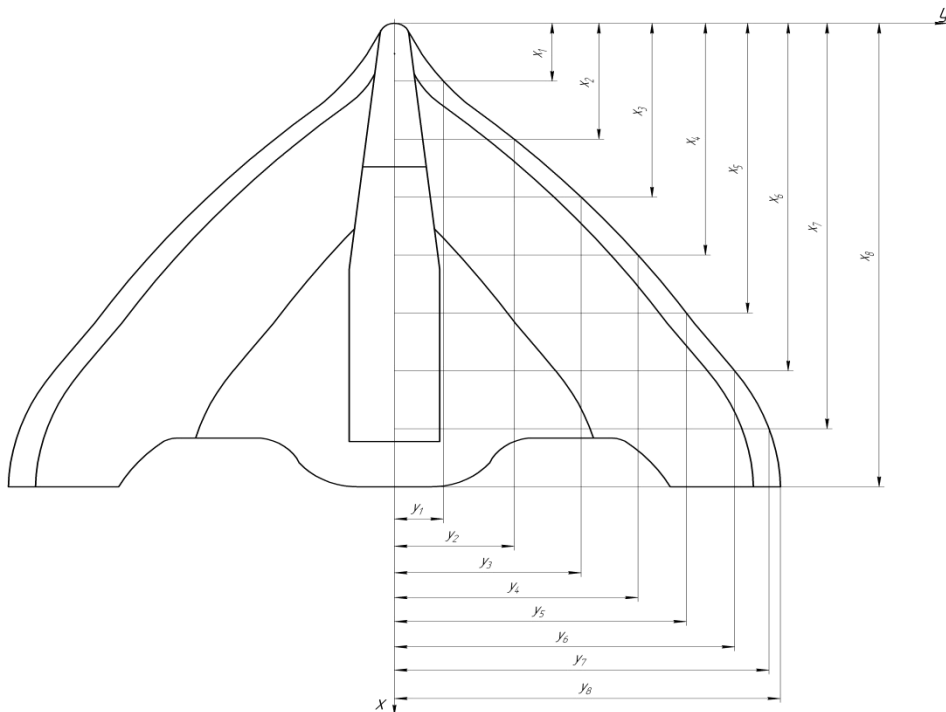


Рис. 3. Розрахункова схема прототипу стрілкової лапи

Методом найменших квадратів виконуємо апроксимацією отриманого масиву даних (табл. 1) і знаходимо аналітичні вирази, що

описують геометрію робочого органу. Але апроксимація може бути виконана різними регресійними моделями. Тому за загальновідомою методикою [11] будемо найбільш імовірні рівняння регресії і окреслюємо такі, що в подальшому можуть бути використані в математичній моделі. Введемо наступні позначення:  $K_K$  – коефіцієнт кореляції;  $K_D$  – коефіцієнт детермінації;  $K_{\Pi}$  – середня похибка апроксимації.

Таблиця 1 – Параметри контуру ріжучого периметра робочого органу з урахуванням величини критерію подібності  $K_{\Pi} = 1$

x, мм	0	40	80	120	160	200	240	280	320
y, мм	0	28	67	102	132	158	184	203	212

– Лінійна регресія

$$y=0.6667x+15.7500 \quad (K_K = 0,9871; K_D = 0,9745; K_{\Pi} = 10,81\%)$$

– Квадратична регресія

$$y=-0.0013x^2+1.1461x-16.2143 \quad (K_K = 0,9997; K_D = 0,9993; K_{\Pi} = 10,91\%)$$

– Статична регресія (степенна)

$$y=0.8742x^{0,9739} \quad (K_K = 0,9812; K_D = 0,9628; K_{\Pi} = 7,40\%)$$

– Показова регресія

$$y=36.1792 \cdot 1.0065^x \quad (K_K = 0,85,26; K_D = 0,7269; K_{\Pi} = 23,77\%)$$

– Логарифмічна регресія

$$y=36.1792+1.0065 \ln x \quad (K_K = 0,9876; K_D = 0,9753; K_{\Pi} = 12,80\%)$$

– Гіперболічна регресія

$$y=204.7-8123.6/x \quad (K_K = 0,9016; K_D = 0,8129; K_{\Pi} = 29,87\%)$$

– Експоненціальна регресія

$$y=e^{3,5885} + 0.0064x \quad (K_K = 0,8526; K_D = 0,7269; K_{\Pi} = 23,77\%)$$

Результати розрахунків за наведеними формулами представлені в табл. 2.

Аналіз коефіцієнтів кореляції показує, що квадратична регресія найбільш адекватно описує залежність і її слід прийняти за основну. Проте і всі інші рівняння можуть бути використані при розробці остаточної математичної моделі взаємодії ріжучого периметра з ґрунтом.

Таблиця 2 – Розрахункові значення  $Y$ , мм по контуру знаряддя

Вихідні дані		Значення $Y$ у відповідності до регресійної моделі						
X	Y	Лінійна	Квадратична	Статична (степенная)	Показова	Логарифмічна	Гіперболічна	Експоненціальна
40	28	42,4	27,5	31,8	46,8	12,6	1,7	46,8
80	67	69,1	66,1	62,4	60,5	77,0	103,2	60,6
120	102	95,8	101,0	92,6	78,4	114,7	137,5	78,4
160	132	122,4	132,6	122,5	101,4	141,4	154	101,5
200	158	149,1	160,2	152,2	131,4	162,1	164,1	131,4
240	184	175,8	183,3	181,8	170,0	179,1	170,9	170,0
280	203	202,3	201,1	211,3	220,0	193,4	175,7	220,0
320	212	229,8	213,0	240,6	284,7	205,8	179,4	284,8

*Висновки.* Запропонована методика дозволяє отримати регресійне рівняння профілю ріжучого периметра робочого органу, що дозволяє розробити математично модель його взаємодії з оброблюваним середовищем. Наявність такої моделі у сукупності з моделлю ґрунту, надає можливість провести адаптацію профілю до роботи в ґрунтових умовах.

#### Література:

1. *Кобець А. С., Волик Б. А., Пугач А. М.* Ґрунтообробні машини: теорія, конструкція, розрахунок: монографія. Дніпропетровськ, 2011. 140 с.
2. Система органічного землеробства агроєколога С. С. Антонця / В. В. Писаренко та ін. URL: <https://www.pdaa.edu.ua/sites/default/files/node/3483/sistemaorganichnogozemlerobstvaantontsya.pdf> (дата звернення: 18.08.2019).
3. *Хегглі Д. (FiBL), Клерк М. (FiBL), Дірауер Х.* Мінімальний обробіток ґрунту. Застосування в органічному землеробстві. URL: [http://www.ukraine.fibl.org/fileadmin/documentsukraine/Booklets/Zemlja\\_A4.pdf](http://www.ukraine.fibl.org/fileadmin/documentsukraine/Booklets/Zemlja_A4.pdf) (дата звернення: 18.08.2019).
4. *Бабицький Л. Ф., Москалевич В. Ю., Соболевский И. В.* Бионико-механические основы сельскохозяйственных машин. Теория и методы. LAP LAMBERT Academic Publishing, Deutschland, 2016. 384 с.
5. *Бабицький Л. Ф.* Біонічні напрями розробки ґрунтообробних машин. Київ: Урожай, 1998. 164 с.
6. *Бабицький Л. Ф., Москалевич В. Ю.* Бионические основы технических решений: учебное пособие. Симферополь: ЮФ НУБиП Украины «КАТУ», 2010. 84 с.

7. *Братусь А. С., Новожилов А. С., Платонов А. И.* Динамические системы и модели в биологии. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 400 с.

8. *Першин С. В.* Гидродинамические аспекты изучения движения водных животных // Бионика / под ред. Б. С. Сотскова. Москва: Наука, 1965. С. 207-215.

9. *Скоринкин А. И.* Математическое моделирование биологических процессов. Казань, 2015. 86 с.

10. *Гудков А. Н.* Теоретические основы построения рабочих процессов сельскохозяйственных машин с учетом характера живой материи растений, животных, почвы // Земледельческая механика. Москва: Машиностроение, 1966. Т. 9. С. 86-97.

11. Аппроксимация функции одной переменной: онлайн калькулятор. URL: <https://planetcalc.ru/5992/> (дата звернення: 18.08.2019).

## **МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ СТРЕЛЬЧАТОЙ ЛАПЫ НА ОСНОВЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОТОТИПА**

Михайлов Е. В., Волик Б. А., Теслюк Г. В., Коновой А. В.

**Аннотація** – **технології** **выращивания** **сельскохозяйственных культур** имеют устойчивую тенденцию к совершенствованию, что требует такой же постоянной адаптации системы машин к условиям эксплуатации. Изменения в технологии практически всегда сопровождаются изменениями в системе обработки почвы. Среди последних существенных инноваций необходимо отметить систему органического земледелия. Характерной особенностью ее внедрения является наличие в поверхностном слое почвы значительного количества растительных остатков не прошедших полностью стадию гумификации. В результате степень консолидации почвы снижается. В то же время основные почвообрабатывающие орудия рассчитаны на работу в условиях подпорного резания и их использование в условиях пониженной консолидации обрабатываемой среды становится проблематичным. В качестве решения проблемы нами предлагается улучшить обтекаемость рабочих поверхностей и режущего периметра на основе использования методов бионики. В частности посредством заимствования формы тела морских животных, имеющих хорошие гидродинамические свойства.

В работе нами предложена методика обоснования



**конструктивной схемы стрельчатой лапы на основании анализа тела биологического прототипа – калифорнийского морского ската. Приведен пример конкретного расчета профиля режущего периметра, базовый размер которого отвечает размерам технического прототипа.**

## **METHOD OF REASONING OF THE CONSTRUCTION SCHEME OF MULTIPLE LAPP ON THE BASIS OF THE BIOLOGICAL PROTOTYPUS**

E. Mikhailov, B. Volik, G. Tesluk, A. Konovoy

### *Summary*

**Crop growing technologies have a steady tendency to improvement, which requires the same constant adaptation of the machine system to the operating conditions. Changes in technology are almost always accompanied by changes in the tillage system.**

**Among the last essential innovations it is necessary to note the system of organic farming. A characteristic feature medium becomes of its introduction is the presence in the surface layer of the soil of a significant amount of plant residues that have not completely passed the stage of humification. As a result, the degree of soil consolidation is reduced. At the same time, the main tillage implements are designed for work in the conditions of retaining cutting and their use in conditions of reduced consolidation of the processed problematic. As a solution to the problem, we propose to improve the streamlining of the working surfaces and the cutting perimeter based on the use of bionics methods. In particular, by borrowing the body shape of marine animals with good hydrodynamic properties.**

**In this paper, we have proposed a method for substantiating the constructive schema of the arched lapi on the basis of an analysis of the body of a biological prototype – the California sea stingray. An example of a specific calculation of the cutting perimeter profile is given, the basic dimensions of which correspond to the dimensions of a technical prototype.**