

УДК 631.316

Соболевский И. В., Бабицкий Л. Ф.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ КУЛЬТИВАТОРА ПО БИОНИЧЕСКОМУ ПОДОБИЮ

Аннотация. Статья раскрывает разработку нового рабочего органа культиватора по бионическому подобию. Проанализирована система «почва – рабочий орган – упругая стойка» и рассмотрен эффект использования автоколебаний с частотами, близкими к собственным частотам рабочего органа. Обоснован выбор биологического прототипа рабочего органа культиватора, основой которого являются мерикарпии. Представлена конструктивно-технологическая схема, и описан принцип работы культиватора для поверхностной обработки почвы. Получены основные теоретические зависимости по обоснованию конструктивных и режимных параметров.

Ключевые слова: рабочий орган, культиватор, бионический подход, геокарпия, мерикарпия, S-образная стойка, деформатор, колебания, частота, энергоёмкость.

Соболевський І. В., Бабицький Л. Ф.

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КУЛЬТИВАТОРА ЗА БІОНІЧНОЮ ПОДІБНІСТЮ

Анотація. Стаття розкриває розробку нового робочого органу культиватора за біонічною подібністю. Проаналізовано систему «ґрунт – робочий орган – пружна стійка» і розглянуто ефект використання автоколивань з частотами, близькими до власних частот робочого органу. Обґрунтовано вибір біологічного прототипу робочого органу культиватора, основою якого є мерікарпії. Приведена конструктивно-технологічна схема, і описано принцип роботи культиватора для поверхневого обробітку ґрунту. Одержані основні теоретичні залежності по обґрунтуванню конструктивних і режимних параметрів.

Ключові слова: робочий орган, культиватор, біонічний підхід, геокарпія, мерікарпія, С-подібна стійка, деформатор, коливання, частота, енергоємність.

Sobolewski I. V., Babitsky L. F.

RATIONALE OF CULTIVATOR WORKING BODIES PARAMETERS FOR BIONIC LIKENESS

Summary. The article reveals the development of a new working body of the cultivator on the bionic likeness. The system «soil – working body – elastic stability» is analyzed and the effect of self-oscillations with frequencies close to the natural frequencies of the working body is examined. The choice of the biological prototype of the working body of the cultivator, the merikarp, is provided. The analysis of the physical phenomena of geocarpy to adapt elements of the merikarp structure with developed autocephaly properties in justification of the working body design. Constructive-technological scheme is presented, and the principle of operation of the cultivator for the surface treatment of the soil is described. Introduction to the design of the cultivator hemispherical protrusions on the cylindrical coils of the spring elastic rack helped to create self-oscillating process of the working body in the soil, the intensity of which depends on the physics-mechanical properties of soil and changing traction resistance. Such theory based on the rationale of the design and operating parameters is received: the critical speed of movement of the working bodies of the cultivator, the oscillation amplitude with regard to impact, given the introduction in the design of vibro-impact elements of the characteristic size of the working body.

Key words: working body, cultivator, bionic approach, geocache, merikarp, C-shaped hour, deformer, vibration, frequency, intensity.

Постановка проблемы. Одним из основных элементов технологии поверхностной обработки почвы является сплошная культивация, которую применяют для уничтожения сорняков и рыхления почвы без её оборачивания при уходе за парами и подготовке почвы к посеву [1]. При этом происходит процесс рыхления почвы на глубину до 16 см. Такая технология обработки почвы способствует сохранению влаги и питательных веществ в форме, которая доступна для усвоения их растениями.

Анализ научной литературы. Изучению основ почвозащитной системы земледелия посвящены работы таких учёных, как А. И. Бараев [2], А. А. Зайцева [3], Н. В. Краснощёков [4], А. А. Плишкин, Е. В. Блоштейн [5], Н. К. Шикула [6] и др. В этих работах обоснована почвозащитная система земледелия с использованием системного подхода, который предусматривает единство анализа, логики и синтеза. Это дает возможность рассматривать рабочие органы культиватора в целом структурном и функциональном взаимоотношении с учётом окружающей среды. Однако необходимо учитывать биологические процессы, которые возникают в почве, растениях и живых организмах, а также их взаимосвязь с работой сельскохозяйственных машин.

Рабочие органы, разработанные для поверхностной обработки в основном применялись на жёстких, параллелограммных и поводковых подвесках. Однако они имели большую металлоёмкость и часто выходили из строя на каменистых почвах.

С целью повышения надёжности рабочих органов культиваторов, работающих на каменистых почвах, в конструкцию были введены пружинные подвески, в которых пружина являлась предохранителем, накапливающим энергию удара при встрече рабочего органа с препятствием и возвращающим её обратно в виде кинетической энергии. Однако большая металлоёмкость и сложность данной конструкции также ограничивали скоростные характеристики движения агрегата.

Широкозахватные паровые агрегаты нового поколения оснащают упругими подвесками с замкнутым контуром. Подвеска присоединена к раме двумя параллельными подпружинниками из полосовой стали жёсткостью 20...30 Н/мм. При рассмотрении подвески рабочих органов культиваторов как консольно-закреплённого на раме кривого бруса, свободный конец которого совершает автоколебания, Е. Л. Кондратьевым [7] установлено, что их частота в динамическом режиме совпадает с приведенной собственной частотой подвески.

Как показал анализ исследований, увеличение скорости и глубины обработки при упругой подвеске приводит к снижению частоты и увеличению амплитуды её колебаний. Данный эффект негативен вследствие нарушения глубины обработки и ограничен скоростью.

Изучение системы «почва – рабочий орган – упругая стойка» дало возможность рассмотреть эффект использования автоколебаний с частотами, близкими к собственным частотам системы. Энергоэффект, по сравнению с предыдущими

разработками крепления рабочего органа, возрос на 20...30%.

Однако остаётся ограничение критической скорости движения рабочего органа из-за относительно большого перемещения S_1 рабочего органа – деформатора в фазе сжатия почвы и возрастания амплитуды колебаний стойки. Неравномерность глубины обработки почвы приводит к неблагоприятным условиям произрастания растений. Возникают перепады плотности почвы и отсутствие влаги из-за неразрушенных капилляров, способствующих интенсивному её испарению.

Поэтому необходимо дальнейшее совершенствование рабочих органов для поверхностной обработки почвы с учётом требований экологически безопасных принципов действия и поиска оригинальных технических решений, которые должны быть направлены на сохранение агрофона и плодородия почв.

Одним из оригинальных и новых решений совершенствования рабочих органов является использование бионического подхода – искусство применения биологии для небологических целей [8].

Целью статьи является обоснование параметров, конструктивной схемы и технологического процесса работы рабочего органа культиватора по бионическому подобию с достижением технического результата – повышения эффективности рыхления почвы с увеличением устойчивости хода по глубине.

Изложение основного материала. Исследования биологических прототипов показали, что их рабочие конечности активно влияют на обрабатываемую среду. Особого внимания заслуживает процесс ударного воздействия, который в сочетании с многоконттактными рабочими органами приводит к принципу многоконттактно-ударного действия на почву.

В соответствии со вторым постулатом общей теории систем об их организации [8] для периодического сжатия и скалывания блока почвы рабочий орган должен обеспечивать реализацию реологических особенностей и выполнять вибрационно-импульсное перемещение в почве.

Одними из бионических прототипов являются мерикарпии – веретеновидные семена с заостренным нижним концом и до половины спирально закрученной «остью» [9] (рис. 1).

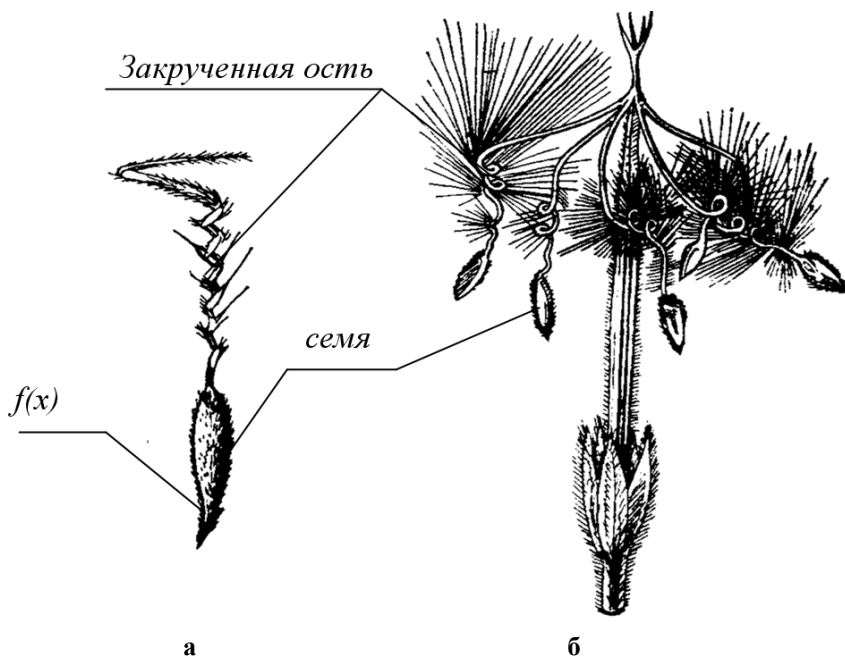


Рис. 1. Строение мерикарпиев семейства Гераниевые: а) плод аистника (*Erodium cicutarium*); б) плоды пеларгонии.

В распространении мерикарпиев семейства Гераниевые, как и зерновок ковылей, играют роль анемохория, автокриптохория и геокарпия.

Автокриптохория – свойство опавших семян зарываться в почву. При этом плоды снабжены специальными приспособлениями.

Геокарпия – способ распространения у растений плодов путём внедрения в почву завязи. Плоды попадают в почву обычно вследствие

сложных и своеобразных изгибов плодоножки. У арахиса под завязью образуется особый орган – гинофор (вырост цветоложа в цветке, имеющий вид тонкой цилиндрической ножки, на которой находится пестик). Пестик растёт, пока не внедрит завязь в почву на глубину до 10 см. Затем рост его прекращается и начинает разрастаться завязь, превращаясь в плод. Такое физическое явление позволило адаптировать элементы

строения мерикарпиев с развитыми свойствами автокриптохории в обоснование конструкции рабочего органа культиватора для поверхностной обработки почвы.

Предлагаемая конструкция рабочего органа культиватора (рис. 2) состоит из С-образной пружинной стойки 1 с лапой 2. Верхняя часть С-образной стойки выполнена в виде витой цилиндрической пружины 3 с полусферическими выступами 4 на нижней поверхности верхнего витка. На верхней поверхности нижнего витка есть полусферические выступы 5, а на среднем витке есть полусферические выступы 6.

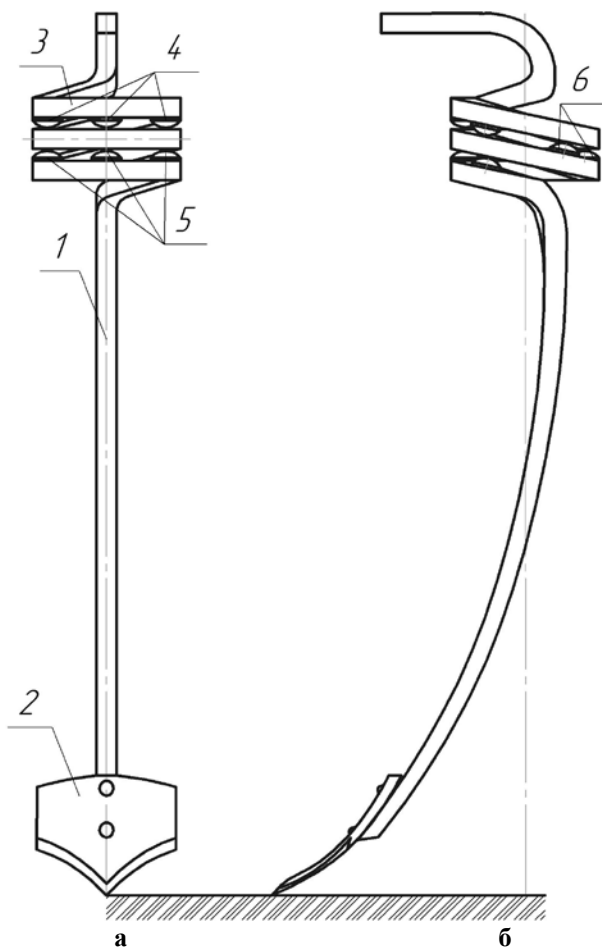


Рис. 2. Общий вид рабочего органа культиватора: а) вид спереди; б) вид сбоку.

Технологический процесс работы рабочего органа культиватора заключается в следующем. При обработке почвы С-образная пружинная стойка 1 за счёт витой цилиндрической пружины 3 выполняет колебательные движения в горизонтальной плоскости вследствие действия на лапу 2 изменяющейся силы сопротивления почвы. При этом обеспечивается высокая надёжность технологического процесса работы за счёт целостности конструкции стойки и, как следствие, снижения изгибающего момента.

В случае возникновения препятствия – камня – и отклонения С-образной стойки 1 в направ-

лении, противоположном движению рабочего органа культиватора, за счёт полусферических выступов 6 возникает удар между ними и верхним витком. Это обеспечивает создание ударных импульсов от полусферических выступов 6, которые передаются на С-образную стойку 1, а затем на лапу 2. Возникает интенсивная вибрация, которая уменьшает силу трения почвы и растительных остатков по лапе 2.

Когда преграда пройдена, С-образная стойка 1 возвращается в исходное положение. В этот момент полусферические выступы 4 и 5 ударяют по виткам витой цилиндрической пружины 3, создавая при этом ударные импульсы, которые передаются на С-образную стойку 1, а потом и на лапу 2 и препятствуют накоплению почвы на лапе. Возникает автоколебательный процесс, интенсивность которого зависит от физико-механических свойств почвы и изменяющегося тягового сопротивления.

Частота колебаний при этом зависит от свойств почвы, а их амплитуда минимизируется за счёт ударных импульсов, которые её понижают.

Такой режим даёт возможность при сохранении агротехнических требований увеличить критическую скорость $V_{кр}$ движения рабочих органов культиватора [2]:

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{P_{x.кр}}{\varepsilon_1 H_T l_{po}} g - \frac{k}{\varepsilon} l_{po} g}, \quad (1)$$

где $P_{x.кр}$ – критическое давление, при котором начинают преобладать вертикальные смещения рабочего органа;

k, ε – коэффициенты регрессии;

H_T – твёрдость почвы;

l_{po} – характерный размер рабочего органа.

Используя в качестве обобщённой характеристики реологических свойств почвы деформационный показатель ν [3] критическое давление $P_{x.кр}$ определится по формуле:

$$P_{x.кр} = \frac{2F}{\pi^2 \nu_{min}}, \quad (2)$$

где F – площадь поперечного сечения деформатора.

В результате преобразований критическая скорость $V_{кр}$ движения рабочих органов культиватора определится по выражению:

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{2F}{\pi^2 \nu_{min} \varepsilon_1 H_T l_{po}} g - \frac{k}{\varepsilon} l_{po} g}. \quad (3)$$

Предложенное уравнение по определению скорости движения рабочего органа свидетельствует о возможности адаптированного изменения автоколебаний с учётом скоростных характеристик.

Амплитуда колебаний a_k рабочего органа неразрывно связана с его перемещением S следующим выражением [2]:

$$S = a_k \cos(\omega_0 t - \nu), \quad (4)$$

где ω_0 – приведенная собственная частота колебаний рабочего органа;

ν – частота начальной фазы колебаний.

Перемещение S деформатора во время удара в фазе сжатия почвы определяется по выражению [3]:

$$S = \frac{R \cdot \Delta S}{P_1}, \quad (5)$$

где R – работа деформатора во время удара;

P_1 – сила, действующая на деформатор в конце фазы сжатия почвы;

ΔS – путь, в течение которого действует сила во время удара.

В результате преобразований уравнений (4) и (5) получим выражение для определения амплитуды колебаний с учётом удара в виде:

$$a_k = \frac{R \cdot \Delta S}{P_1 \cdot \cos(\omega_0 t - \nu)}. \quad (6)$$

Как видно из уравнения (6), чем короче время удара t , тем больше работа R деформатора, а путь ΔS и амплитуда колебаний a_k во время удара, соответственно, меньше.

Для снижения энергоёмкости процесса при соблюдении агротехнических требований также необходимо учитывать характерный размер рабочего органа l_{po} [2].

С учётом введения в конструкцию виброударных элементов – витой цилиндрической пружины 3 и полусферических выступов 4, 5 и 6 выражение для характерного размера l_{po} будет иметь вид:

$$l_{po} = \beta_1 + \alpha_1 + \lambda_1 + q_1 + k_1 + r_1 \sqrt{b^{\beta_1} \cdot a^{\alpha_1} \cdot l^{\lambda_1} \cdot Q^{q_1} \cdot K^{k_1} \cdot R_{п.ш.у.}^{r_1}}, \quad (7)$$

где $\beta_1, \alpha_1, \lambda_1, q_1, k_1, r_1$ – показатели степени, учитывающие влияние каждого геометрического параметра на процесс;

$b, a, l, Q, K, R_{п.ш.у.}$ – соответственно, ширина, глубина рыхления, длина рабочей части, угол резания рабочего органа, количество ударников, радиус полушара ударника.

Таким образом, предложенная конструкция рабочего органа культиватора даёт возможность снизить тяговое сопротивление и повысить эффективность поверхностного рыхления почвы при культивации за счёт более устойчивого хода по глубине. Полученные формулы позволят оптимизировать конструкции рабочих органов по бионическому подобию, разрабатываемые для поверхностной обработки почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпенко А. Н. Сельскохозяйственные машины / А. Н. Карпенко, В. М. Халанский. – [5-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Колос, 1983. – 495 с.
2. Бараев А. И. Почвозащитное земледелие : избранные труды / А.И. Бараев. – М. : Агропромиздат, 1988. – 383 с.
3. Зайцева А. А. Борьба с ветровой эрозией почв / А. А. Зайцева. – М. : Колос, 1970. – 152 с.
4. Краснощёков Н. В. Машины для защиты почв от ветровой эрозии / Н. В. Краснощёков. – М. : Россельхозиздат, 1977. – 224 с.
5. Плишкин А. А. Комплексная механизация работ по защите почв от ветровой эрозии / А. А. Плишкин, Э. В. Блоштейн. – М. : Колос, 1976. – 184 с.
6. Шикула Н. К. Почвозащитная система земледелия : справ. кн. / Н. К. Шикула. – Харьков : Прапор, 1987. – 200 с.
7. Машиностроение : энциклопедия : в 40 томах / гл. ред. К. В. Фролов. – Раздел IV : Расчёт и конструирование машин. Том IV-16 : Сельскохозяйственные машины и оборудование. – М. : Машиностроение, 2002. – 720 с.
8. Бабицкий Л. Ф. Біонічні напрями розробки ґрунтообробних машин / Л. Ф. Бабицкий. – К. : Урожай, 1998. – 162 с.
9. Геранивые [Электронный ресурс] // Википедия. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Геранивые>.