

А. Г. Иванов, И. А. Несмиянов, Н. С. Воробьева

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КУЛЬТИВАТОРА
С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ БЛОКОМ УДАЛЕНИЯ СОРНЯКОВ**

Волгоградский государственный аграрный университет

vgsxa@mail.ru

Проведен обзор машин и роботов для удаления сорняков в рядах. Разработана конструкция автоматизированного культиватора. Обоснованы конструктивные размеры культиватора. Описана система управления автоматизированным блоком.

Ключевые слова: удаление сорняков, автоматизированный культиватор, система управления.

A. G. Ivanov, I. A. Nesmiyanov, N. S. Vorob'eva

**JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF A CULTIVATOR
WITH AN AUTOMATED WEED REMOVAL**

Volgograd State Agrarian University

A review of machines and robots for removing weeds in rows has been conducted. The proposed design of an automated cultivator is described. The design dimensions of the cultivator are justified. The control system of the automated unit is described.

Keywords: weed removal, automated cultivator, control system.

При возделывании овощных культур в открытом грунте имеет место проблема удаления сорняков в рядке и непосредственно в защитной

зоне культурного растения. Особенно остро данная проблема всплыла в период пандемии короновиральной инфекции, так как эта операция

выполняется с помощью ручного труда. В связи с этим разработка автоматизированных и роботизированных машин для борьбы с сорной растительностью является актуальной задачей, направленной на повышение эффективности, снижение энергозатрат и доли ручного труда.

Для борьбы с сорняками в рядах существует ряд машин. При возделывании капусты, салатов, земляники для борьбы с сорняками непосредственно вокруг растения с одновременным рыхлением и удалением сорняков используется культиватор-полольник междурядий КПМ [1] (рис. 1). Значительным недостатком данной машины является то, что механизатору постоянно необходимо следить за поло-



Рис. 1. Культиватор-полольник междурядий КПМ-2

жением обрабатываемого растения и контролировать вручную перемещение роторов, при необходимости сдвигая или раздвигая их. При этом помимо механизатора еще задействовано два работника.

Роботизация сельского хозяйства не стоит на месте, разработан ряд роботов для уничтожения сорняков, одним из которых является робот Trabotux (рис. 2), предназначенный для обнаружения и борьбы с сорняками при возделывании моркови. Trabotux работает следующим образом: стереоскопические камеры выявляют сорняки, после чего при помощи ножа происходит уничтожение сорняка. Скорость движения робота не превышает 360 м за час [2].



Рис. 2. Робот-пропольщик Trabotux

Существуют и более производительные системы, например, WeedSeeker 2 (рис. 3). Данная система оснащена датчиками и инновационными алгоритмами выявления сорняков. Благодаря оптическому сенсору система обнаруживает не-

желательные растения, как только они оказываются в поле зрения датчика. После обнаружения сорного растения система отправляет сигнал на форсунку, которая производит распыление гербицидов в необходимом количестве [3].



Рис. 3. Машины для уничтожения сорной растительности WeedSeeker

Как показал анализ существующих технических средств, все роботизированные машины для уничтожения сорняков являются импортными, большая часть – единичными экспериментальными образцами, поэтому разработка

отечественных высокоэффективных роботизированных и автоматизированных машин для возделывания сельскохозяйственной продукции является актуальной задачей.

Для решения обозначенной проблемы разра-

ботана конструкция автоматизированного культиватора-полольника (рис. 4), которая состоит из рамы 1, опорных колес 2, маятников 3, криво-

шипа 4, рычагов 5, рабочих органов 6, гидромоторов 7, шагового двигателя 8, камеры технического зрения 9 и системы управления 10.

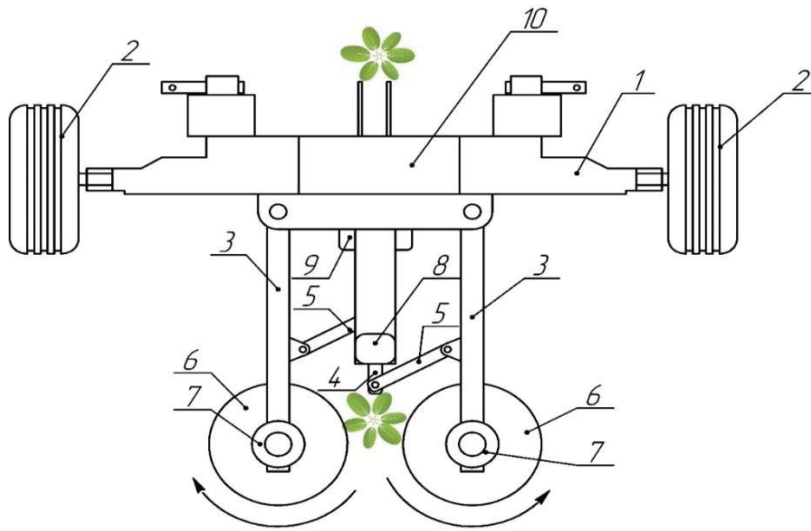


Рис. 4. Конструкция автоматизированного культиватора-полольника

Данный культиватор сочетает в себе механические, электрические и программные элементы для автоматизированного процесса обработки почвы. Благодаря интеграции мехатронных компонентов рассматриваемая конструкция способна эффективно выполнять задачи удаления сорняков, обеспечивая оптимальные условия для роста и развития культурных растений [4].

Автоматизированный культиватор разработан на базе культиватора КПМ-1. Рама и маятники культиватора являются стандартными изделиями. Для поворота маятников на определенный угол необходимо обосновать размеры кривошипа и рычага.

На рис. 5 представлена расчетная схема. Из рисунка видно, что ось вращения шагового двигателя расположена на расстоянии 350 мм от линии крепления маятников AB . Для расчета размеров кривошипа и рычага примем несколько допущений: 1) точка крепления рычага к маятнику при сведенных рабочих органах находится на равном удалении от линии AB , что и точка оси вращения шагового двигателя; 2) ввиду малости угла поворота маятника примем, что точка крепления рычага к маятнику перемещается по прямой, параллельной прямой AB .

Определим расстояние от точки крепления маятника к раме до точки крепления рычага к маятнику. Для этого рассмотрим два треугольника – AKD и AK_1D_1 .

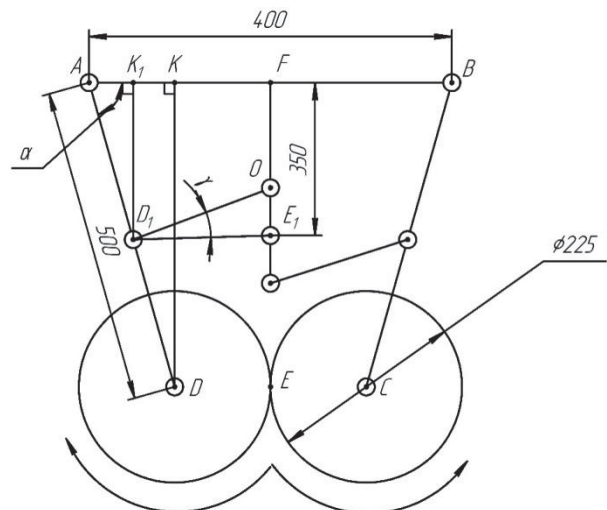


Рис. 5. Расчетная схема определения точки крепления рычага к маятнику

Найдем катет AK треугольника AKD :

$$AK = \frac{AB}{2} - DE = \frac{400}{2} - 112,5 = 87,5 \text{ мм}; \quad (1)$$

здесь AB – межосевое расстояние крепления маятников на раме, мм; DE – радиус рабочего органа, мм.

Определим угол α между маятником и рамой при сведенных рабочих органах:

$$\cos \alpha = \frac{AK}{AD} \Rightarrow \alpha = \arccos \left(\frac{AK}{AD} \right) = \arccos \frac{400}{87,5} = 80^\circ. \quad (2)$$

Зная угол α и отрезок K_1D_1 , найдем расстояние от точки крепления маятника к раме до точки крепления рычага к маятнику:

$$AD_1 = \frac{K_1D_1}{\sin \alpha} = \frac{350}{\sin 80^\circ} = 355 \text{ мм.} \quad (3)$$

Рассмотрим треугольник D_1OE_1 и определим расстояние от точки крепления рычага к маятнику до оси вращения кривошипа:

$$\begin{aligned} D_1E_1 &= AF - AK_1 = AF - AD_1 \cdot \cos \alpha = \\ &= 200 - 355 \cdot \cos 80^\circ = 139 \text{ мм.} \end{aligned} \quad (4)$$

Для определения размеров кривошипа и рычага рассмотрим положение автоматизирован-

ного культиватора с максимально разведенными рабочими органами (рис. 6) [5].

При обработке различных овощных культур автоматизированным культиватором значение $S_{\max}$ будет различаться ввиду различного физиологического строения растений. Также значение $S_{\max}$ зависит от периода, в который производится культивация растений. На основании вышеизложенного примем, что расстояние $S_{\max} = 400 \text{ мм}$.

Рассмотрим равнобедренную трапецию $ABCD$ (рис. 6) и зная все ее стороны, определим высоту h :

$$h = \sqrt{AD^2 - \left(\frac{(DC - AB)^2}{2(DC - AB)} \right)^2} = \sqrt{500^2 - \left(\frac{(525 - 400)^2}{2(525 - 400)} \right)^2} = 487 \text{ мм.} \quad (5)$$

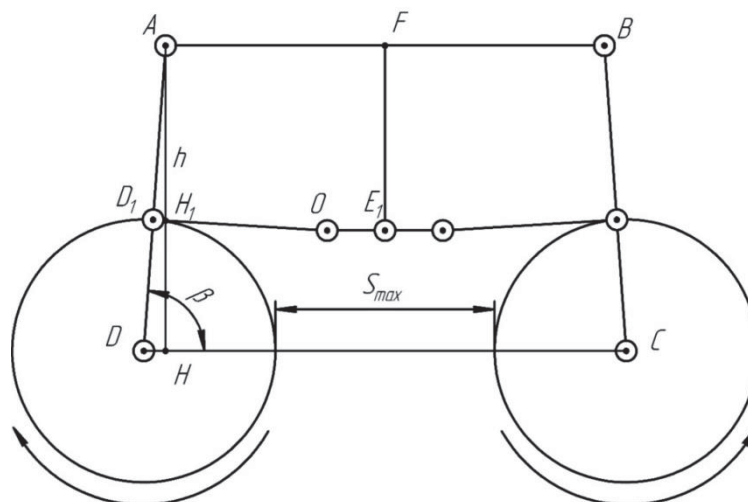


Рис. 6. Схема рычажного механизма при максимально разведенных рабочих органах

Определим угол β из треугольника ADH :

$$\sin \beta = \frac{h}{AD} \Rightarrow \beta = \arcsin \frac{h}{AD} = \arcsin \frac{487}{500} = 76,9^\circ. \quad (6)$$

Зная угол β и точку крепления рычага к маятнику, определим общую длину кривошипа и рычага:

$$\begin{aligned} D_1E_1 &= AD_1 \cdot \cos \beta + AF = \\ &= 355 \cdot \cos(76,9^\circ) + 200 = 280,5 \text{ мм.} \end{aligned} \quad (7)$$

Определив сумму длин кривошипа и рычага, а также длину отрезка D_1E_1 , составим два уравнения:

$$D_1O + OE_1 = 280 \text{ мм,} \quad (8)$$

$$D_1O \cdot \cos \gamma = 139 \text{ мм.} \quad (9)$$

Проведя ряд преобразований, получим уравнение для определения угла γ :

$$139 \cdot \sin \gamma - 280 \cos \gamma + 139 = 0; \quad (10)$$

решив уравнение, получаем угол $\gamma = 37,2^\circ$.

Подставив значение угла γ в уравнения (8) и (9), получаем длину кривошипа, равную 174,5 мм, и рычага – 105,5 мм.

Для управления приводом перемещения маятников разработана система управления, функциональная схема которой представлена на рис. 7.

Система управления основана на микрокомпьютере Raspberry Pi5 [6, 7]. Данный микрокомпьютер оснащен 4-ядерным 64-разрядным процессором Arm Cortex-A76 Broadcom BCM2712 с частотой 2,4 ГГц, криптографическими расширениями, кэшем L2 512 КБ на ядро и общим кэшем L3 2 МБ. В качестве графического процессора используется VideoCore VII

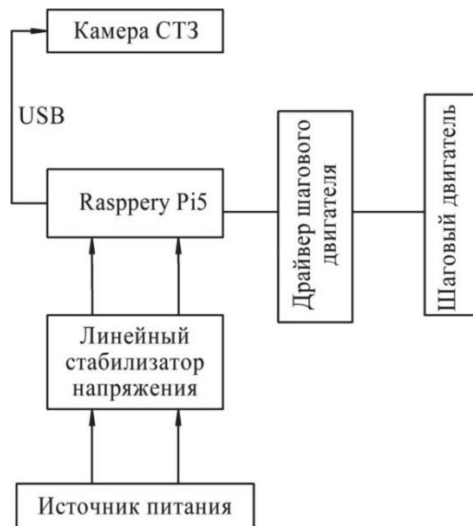


Рис. 7. Функциональная схема системы управления автоматизированным культиватором

с тактовой частотой 800 МГц, поддерживающий OpenGL ES 3.1, Vulkan 1.2. Raspberry Pi 5 оснащен 8 ГБ памяти LPDDR4X-4267 SDRAM, которая делится между CPU и GPU. Питание микрокомпьютера осуществляется через USB-C; напряжение питания составляет 5 В, а максимальная потребляемая мощность не превышает 25 Вт. Для подключения внешних устройств микрокомпьютер имеет четыре USB-порта, два из которых – версии 3.0 (скорость передачи данных по ним достигает показателей в 5 Гбит/с). Raspberry Pi5 имеет интерфейсы MIPI DSI/CSI (22 пина; 1,5 Гбит/с), по которым подключаются дисплей и камеры. Также на плате присутствует разъем PCI-Express 2.0 для SSD-накопителей и прочей скоростной периферии PCIe.

Питание системы управления осуществляется от бортовой сети трактора, с которым агрегируется автоматизированный культиватор.

Для определения местоположения культурных растений на поле используется камера технического зрения [8]. Распознав культурные растения, микрокомпьютер определяет их размер и подает управляющий сигнал на драйвер шагового двигателя для поворота кривошипа на определенный угол.

Таким образом, использование автоматизированного культиватора-полольника позволяет автоматизировать трудоемкие операции при возделывании пропашных культур, исключить ручной труд, повысить урожайность за счет более качественной обработки культур от сорняков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Культиватор-полольник междурядий КППМ «Эко-корректор» / [Электронный ресурс] // Инновационные системы возделывания овощей : [сайт]. – URL : <https://xn--b1altk.xn--p1ai/catalog/zaschita-rastenii/kpm-eko-korrektor.html> (дата обращения: 12.07.2024).
2. Trabotyx демонстрирует технологии автономной прополки / [Электронный ресурс] // RoboTrends: [сайт]. – URL : <https://robotrends.ru/pub/2327/trabotyx-demonstriruet-tehnologii-avtonomnoy-propolki?ysclid=lyibybwz9c820769914> (дата обращения: 12.07.2024).
3. Система точечного опрыскивания WeedSeeker 2 / [Электронный ресурс] // Trimble : [сайт]. – URL : <https://ru.ptxtrimble.com/product/sistema-tochechnogo-oprskivania-weedseeker2/> (дата обращения: 12.07.2024).
4. Иваненко, В. С. Культиватор-полольник с мехатронным модулем удаления сорняков в рядке и в округе абриса культурного растения / В. С. Иваненко // Материалы XXVIII региональной конференции молодых ученых и исследователей Волгоградской области. Волгоград, 25–27 октября 2023 года. – Волгоград : Волгоградский государственный аграрный университет, 2024. – С. 158–160.
5. Иванов, А. Г. Обоснование геометрических параметров робота-пропольщика / А. Г. Иванов, Н. С. Воробьева, А. В. Дяшкин // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 3(226) / ВолгГТУ. – 2019. – С. 22–25.
6. Распределенная система управления погрузочным манипулятором параллельно-последовательной структуры / И. А. Несмиянов, В. Н. Скакунов, Е. Н. Захаров, А. Г. Иванов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса : Наука и высшее профессиональное образование. – 2017. – № 1(45). – С. 260–266.
7. Сафин, М. А. Разработка системы управления мобильным роботом на языке программирования Python с помощью микрокомпьютера Raspberry PI / М. А. Сафин, Р. Д. Садыков // Автоматизация. Современные технологии. – 2023. – Т. 77, № 12. – С. 567–570.
8. Ярославцева, А. И. Разработка программного обеспечения для системы ориентации мобильной роботизированной системы в пространстве на основе стереозрения / А. И. Ярославцева // Труды Международной конференции по компьютерной графике и зрению «Графикон». – 2022. – № 32. – С. 584–596.