

DOI: <https://doi.org/10.55505/sa.2022.2.10>

УДК: 631.316:634.1

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКОГО ЩУПА САДОВОГО КУЛЬТИВАТОРА С МЕЖСТВОЛЬНОЙ ОБРАБОТКОЙ ПОЧВЫ

*Виктор РАЙКОВ*

**Abstract.** The article discusses the theoretical basis for determining the parameters of a mechanical device for signaling the presence of a bole (trunk) during the operation of a rotary paw of a garden cultivator with inter-stem tillage. The scheme of the experimental setup is given and the principle of operation is described. The cyclogram of the interaction of the rotary cultivator paw and the mechanical probe is given. It is substantiated that the shape of the probe can have the simplest rectilinear form. The calculation of the geometrical parameters of the probe and the return spring is presented.

**Key words:** Garden cultivator; Rotary paw; Mechanical signal probe; Return spring.

**Реферат.** В статье рассмотрены теоретические основы определения параметров механического устройства для сигнализации наличия штамба (ствола) при работе поворотной лапы садового культиватора с межствольной обработкой почвы. Дана схема экспериментальной установки и описан принцип работы. Приведена циклограмма взаимодействия поворотной культиваторной лапы и механического щупа. Обосновано, что форма щупа может иметь простейший прямолинейный вид. Выполнен расчёт геометрических параметров щупа и возвратной пружины.

**Ключевые слова:** Садовый культиватор; Поворотная лапа; Механический щуп; Возвратная пружина.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для обработки почвы в садах и виноградниках применяют в основном машины ПРВН-2,5А, ПРВН-1,5А, культиваторы КСГ-5 и КСМ-5. Наряду с тем, что эти машины широко используются в хозяйствах, на засоренных участках обработка почвы этими машинами не удовлетворяет агротехническим требованиям (Карданов, К.Х. 2017). В немалой степени это связано с несовершенством конструкции следящего устройства (щупа), который при контакте со штамбом должен подать сигнал на активацию выдвигного рыхлящего органа.

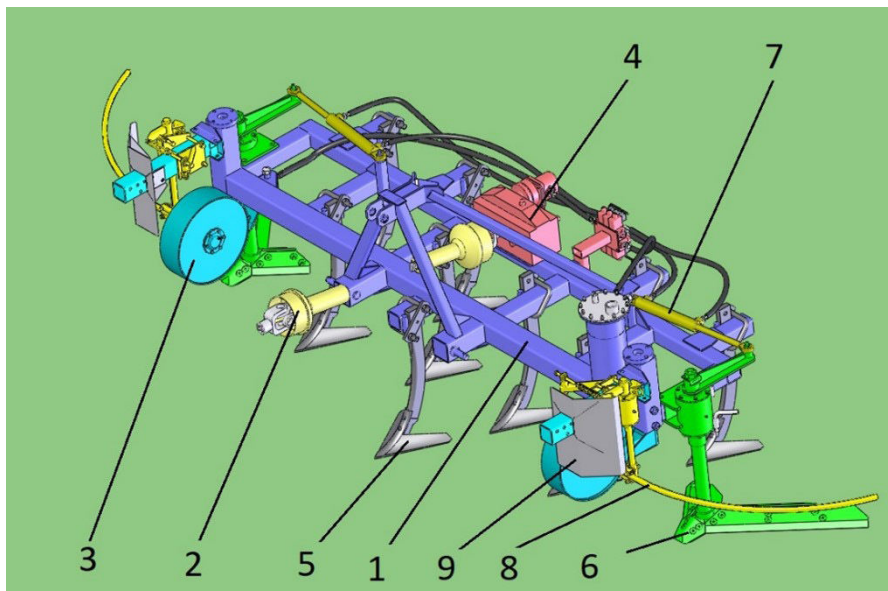
В литературе отсутствуют данные по расчёту геометрических размеров и силовых параметров механического сигнализатора поворота лапы для межствольной обработки. Целью настоящей статьи является исследование теоретических основ работы механического щупа садового культиватора с межствольной обработкой почвы и расчёт оптимальных параметров этого устройства, который бы позволял выбрать размеры и форму щупа по заданной геометрии поворотной лапы, размерам необработанной почвы вокруг штамба и расстоянию от ряда деревьев до поворотных шарниров лапы и щупа.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Общий вид и устройство садового культиватора, изготовленной в Институте сельскохозяйственной техники "Месагро", показано на рис. 1.

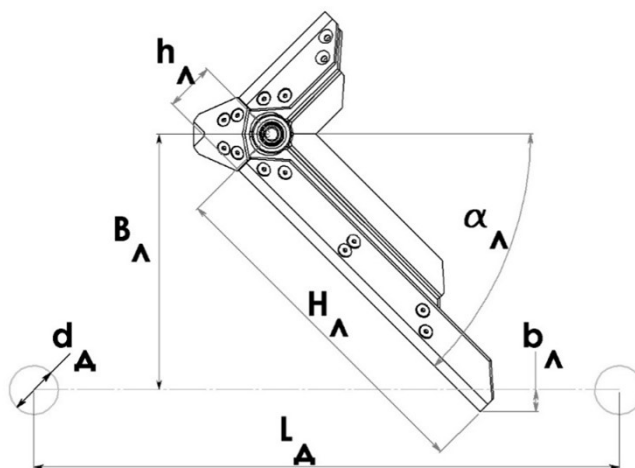
Культиватор выполнен по классической схеме (Хмелев, П.П. 1986) и имеет девять неподвижных лап 5 для обработки почвы в междурядье и две поворотные лапы 6 (правая и левая) для обработки межствольного пространства. Привод поворотных лап осуществляется от насосной станции 4, приводимой в действие от ВОМ трактора через карданный вал 2. В нормальном положении поворотные лапы заходят в межствольную полосу на расстояние 50...100 мм от оси ряда деревьев. Сигнализатор поворота лапы 8 представляет собой металлический прут (щуп) с

возможностью поворота в горизонтальной плоскости при соприкосновении со штамбом дерева. При отклонении щупа на заданный угол происходит замыкание индукционного датчика, который подаёт электрический сигнал на золотники гидрораспределителя. Вследствие этого поток масла гидросистемы включает гидроцилиндры 7, осуществляющие, через рычаги, отклонение и проезд поворотных лап 6 мимо штамба. При сходе щупа со штамба индукционный датчик размыкается и гидрораспределитель возвращает поворотные лапы в исходное положение.



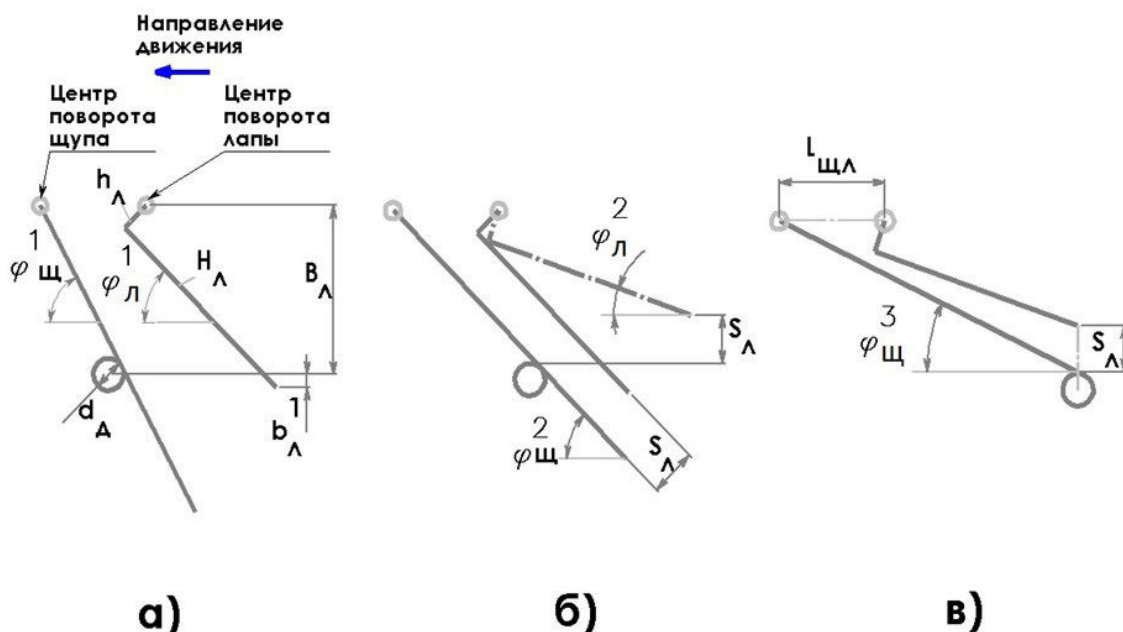
**Рисунок 1.** Общий вид и устройство культиватора с межствольной обработкой почвы: 1 – рама; 2 – карданный вал; 3 – опорное колесо (2 шт.); 4 – насосная станция; 5 – неподвижная культиваторная лапа (9 шт.); 6 – поворотная культиваторная лапа (2 шт.); 7 – гидроцилиндр поворотной лапы (2 шт.); 8 – сигнализатор поворота лапы (щуп, 2 шт.); 9 – защитный щиток (2 шт.)

На рисунке 2 представлена поворотная лапа культиватора, её геометрические параметры и положение относительно ряда деревьев при межствольной обработке почвы.



**Рисунок 2.** Конфигурация и параметры поворотной культиваторной лапы в нормальном положении:  $L_d$  – расстояние между деревьями в ряду;  $d_d$  – диаметр штамба;  $B_d$  – расстояние от ряда до шарнира поворотной лапы;  $b_d$  – величина захода лапы за ряд деревьев;  $H_d$  – длина лапы;  $h_d$  – расстояние от лезвия лапы до поворотного шарнира;  $\alpha_d$  – угол наклона лапы в горизонтальной плоскости.

При подходе к стволу дерева лапа должна повернуться относительно шарнира на угол, достаточный для прохода её края на таком расстоянии от ствола, которое исключало бы повреждение корневой системы дерева. Сигнал на поворот лапы от механического щупа достигается выбором геометрических параметров щупа и его расположением относительно поворотной лапы и ряда деревьев. На рис. 3 показано схематичное изображение поворотной лапы и щупа на трёх этапах работы культиватора: в нормальном положении лапы; в момент поворота лапы и обхода ею ствола; в момент возврата лапы в нормальное положение.



**Рисунок 3.** Взаимное положение поворотной лапы и щупа на трёх этапах работы культиватора: а) в нормальном положении лапы; б) в момент поворота лапы и обхода ею ствола (штриховая линия – лапа после поворота); в) в начале возврата лапы в нормальное положение.  $b_{Л}^1, b_{Л}^2$  – расстояние от края лапы до ряда деревьев до и после поворота лапы;  $S_{Л}$  – минимально допустимое расстояние от лапы до ствола (определяет момент поворота лапы);  $\varphi_{Щ}^1, \varphi_{Щ}^2, \varphi_{Щ}^3; \varphi_{Л}^1, \varphi_{Л}^2$  – соответственно углы поворота щупа и лапы на 1-м, 2-м и 3-м этапах работы культиватора;  $S$  – предельное расстояние от щупа до стойки поворотной лапы

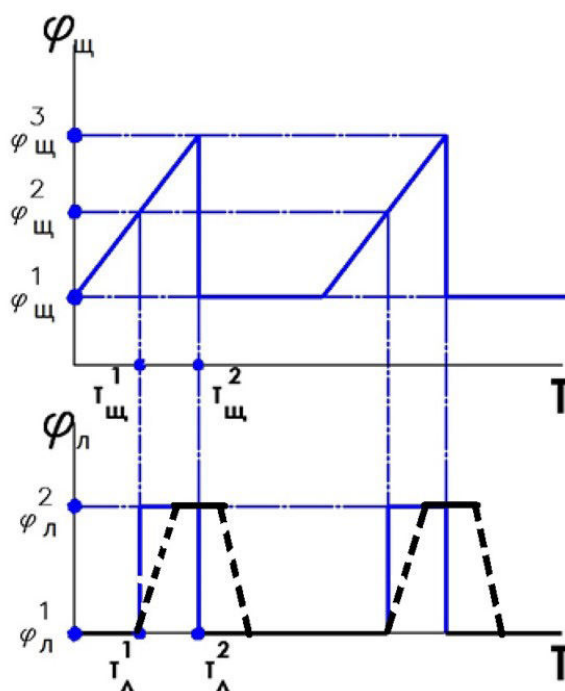
Как показано на рис. 3 а), контакт щупа со стволом должен осуществиться до момента подхода лапы на расстояние  $S_{Л}$  (см. рис. 3 б)) – минимально допустимое из условия неповреждения корневой системы дерева. При этом щуп поворачивается вначале на угол  $(\varphi_{Щ}^2 - \varphi_{Щ}^1)$  (достижение лапой положения на расстоянии  $S_{Л}$  от ствола), затем на угол  $(\varphi_{Щ}^3 - \varphi_{Щ}^2)$  (проход лапы мимо ствола до момента обратного поворота). При полном повороте щупа выполняются две операции:

- срабатывание индукционного датчика, подающего электрический сигнал на гидрораспределитель и через него на гидроцилиндр поворотной лапы;
- натяжение пружины, возвращающий щуп в исходное положение.

Указанные обстоятельства могут быть иллюстрированы циклограммой совместного поворота культиваторной лапы и щупа на рис. 4.

Как видно из рис. 4, переход щупа из начального угла поворота  $\varphi_{Щ}^1$  к промежуточному углу  $\varphi_{Щ}^2$  за время  $T_{Щ}^1$  соответствует подходу лапы к стволу на минимально допустимое расстояние за время  $T_{Щ}^1 = T_{Л}^1$  в нормальном положении лапы (без поворота). Поворот лапы и её движение в этом положении за время  $T_{Л}^2 - T_{Л}^1$  соответствует дальнейшему повороту щупа на угол  $(\varphi_{Щ}^3 - \varphi_{Щ}^2)$  и прекращается в последний момент контакта щупа и ствола. В момент  $T_{Щ}^2 = T_{Л}^2$  осуществляется сход щупа со ствола, при этом срабатывает пружина возврата щупа и замыкание индукционного

датчика, дающего сигнал на поворот лапы в исходное положение. Геометрия щупа должна быть выбрана таким образом, чтобы в момент схода щупа со ствола крайняя точка щупа находилась на вертикали с центром ствола, а также с крайней точкой лапы в её повернутом положении (см. рис. 3 в)).



**Рисунок 4.** Циклограмма углов совместного поворота культиваторной лапы (нижний график) и щупа (верхний график). Ось абсцисс – время  $T$ ; ось ординат – угол поворота  $\varphi$  (индексы см. рис. 3). Нулевая точка – момент касания щупа и дерева. Цикл углов поворота (расстояние между двумя смежными графиками) соответствует шагу деревьев в ряду сада. Обозначения см. в тексте и рис. 3

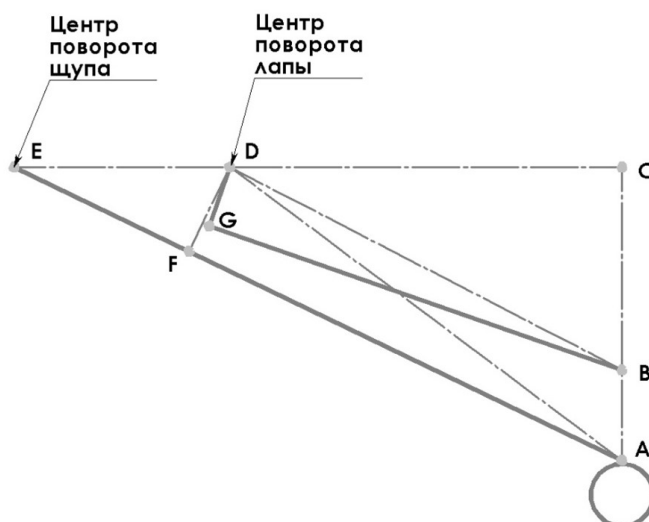
Вертикальные сплошные линии для траектории лапы (нижний график на рис. 4) соответствуют „идеальной” циклограмме, на которой не учитывается время распространения гидравлического сигнала от гидрораспределителя к гидроцилиндрам поворота лап, а также время срабатывания пружины возврата щупа. С учётом этих факторов для поворота лапы требуется определённое время, при этом указанные вертикальные линии на графике переходят в наклонные (обозначены прерывистыми линиями). Это время должно быть определено экспериментальным путём, после чего в представленные ниже расчёты вносится поправка.

Как будет показано, характеристика пружины может быть оценена исходя из значения полного угла поворота щупа, который в свою очередь определяется геометрическими соотношениями щупа и лапы перед их поворотом в исходное положение (см. рис. 3 в)). Из этих же соотношений может быть найден основной параметр щупа – его длина. При этом необходимо сделать допущения, относящиеся к взаимному расположению поворотной лапы и щупа на раме культиватора.

Рассмотрим геометрию взаимного расположения поворотной лапы и щупа в момент перед их возвращением в исходное положение после обхода ствола лапой. Эта схема соответствует рис. 3 в) и изображена на рис. 5.

Согласно ранее принятым обозначениям (см. рис. 2 и 3):  $B_{л} = AC$ ;  $S_{л} = AB$ ;  $h_{л} = DG$ ;  $H_{л} = BG$ ;  $C = DF$ . Введём также новые обозначения:  $K = BD$  и  $L_{щ} = AE$  – длина щупа. Искомую величину  $L_{щ}$  можно найти, используя следующие дополнительные допущения:

- Центр поворота щупа  $E$  лежит на одной горизонтали с центром поворота лапы  $D$ .
- При достижении предельного угла наклона щупа (момент схода со ствола) щуп не должен, по конструктивным соображениям, приближаться к стойке лапы на расстояние менее  $C=DF$ .



**Рисунок 5.** Геометрические соотношения во взаимном положении лапы и щупа в момент схода щупа со ствола и возврата лапы в нормальное положение

Исходя из сказанного, рассматривая прямоугольные треугольники на рис. 5 и производя преобразования, найдём длину щупа  $L_{щ}$ :

$$L_{щ} = B_{л} / \left( \frac{B_{л}}{Z} \sqrt{1 - \left( \frac{C}{Z} \right)^2} - \frac{C}{Z} \sqrt{1 - \left( \frac{B_{л}}{Z} \right)^2} \right)$$

где:

$$Z = \sqrt{H_{л}^2 + h_{л}^2 + 2B_{л}S_{л} - S_{л}^2}$$

Кроме того, из рис. 5 определяются:

- 1) Горизонтальное расстояние между центрами поворота щупа и лапы  $L_{щл} = DE$ :

$$L_{щл} = C / \sin\left(\frac{\pi}{2} - \cos^{-1}\frac{B_{л}}{Z} - \sin^{-1}\frac{C}{Z}\right)$$

- 2) Предельный угол поворота щупа  $\varphi_{щ}^3$ :

$$\varphi_{щ}^3 = \frac{\pi}{2} - \cos^{-1}\frac{B_{л}}{Z} - \sin^{-1}\frac{C}{Z}$$

Определим найденные величины в численном выражении исходя из агротехнических требований и принятых конструктивных размеров культиватора с межствольной обработкой почвы конструкции "Месаго":

- 1)  $S_{л} = 150$  мм (назначается из условия неповреждения культиваторной лапой корневой системы деревьев).
- 2)  $B_{л} = 520$  мм (назначается из условия неповреждения конструкцией культиватора скелетных ветвей деревьев).
- 3)  $H_{л} = 700$  мм;  $h_{л} = 100$  мм - стандартные размеры культиваторной лапы.
- 4)  $C = 150$  мм - принимается из условия предотвращения поломок щупа от контакта со стойкой лапы.

Отсюда имеем для данной конструкции:  $L_{щ} = 1080$  мм;  $L_{щл} = 345$  мм;  $\varphi_{щ}^3 = 26^\circ$ . Указанные величины определяют также угол полного поворота щупа  $\varphi = (\varphi_{щ}^3 - \varphi_{щ}^1) = 62^\circ - 26^\circ = 36^\circ$ .

Дальнейший расчёт сводится к подбору пружины возврата щупа в исходное положение. Возврат щупа должен осуществляться с учётом критической скорости пружины:

$$V_{кр} = \tau_3 \left(1 - \frac{P_2}{P_3}\right) / 3,58$$

где:

$\tau_3 = 0,5$   $\sigma_B = 0,5 \times 200 = 100$  кгс/мм<sup>2</sup> – для проволоки по ГОСТ 9389.

$P_2$  и  $P_3$  – силы пружины при рабочей и предельной деформации.

В данном случае должна использоваться пружина с "мягкой" характеристикой (для предотвращения ударов рычага щупа об ограничивающее устройство в конце хода). Учитывая, что для таких пружин  $P_3 / P_2 \approx 1,2$ , имеем  $V_{кр} \approx 4,5$  м/с.

Соответственно,  $\omega_{кр} = V_{кр} / L_p = \varepsilon t$

где:

$L_p$  – длина рычага щупа, мм.

$\varepsilon$  – угловое ускорение щупа, 1/м<sup>2</sup>.

$t$  – время возврата щупа в исходное положение.

Вместе с тем, по второму закону Ньютона для вращательного движения:

$$\varepsilon = \frac{P_2 L_p}{J_{щ}}$$

где:  $J_{щ}$  – момент инерции щупа относительно оси вращения. По известной формуле для момента инерции стержня с центром тяжести посередине, вращающегося относительно оси, проходящей через конец стержня (Эрдеди, А.А. 1991), имеем:

$$J_{щ} = \frac{m(l/2)^2}{3}$$

где:  $m$  – масса щупа длиной  $l=1,08$  м; для квадратной трубы 20x20 мм  $m \approx 1,5$  кг и

$$J_{щ} = 1,5 (1,08/2)^2 / 3 = 0,14 \text{ (кГ} \times \text{м}^2)$$

Отсюда имеем:

$$P_2 L_p^2 t = V_{кр} J_{щ} = 4,5 \times 0,14 = 0,63$$

Из этой формулы можно получить значение силы  $P_2$ , задаваясь длиной рычага  $L_p$  и временем срабатывания пружины  $t$ . Так, для культиватора конструкции „Mesagro” при

$t = 1,5$  с и  $L_p = 0,12$  мм,  $P_2 = 29$  кГ.

Известный полный угол поворота щупа позволяет получить ход пружины  $h$  по формуле для хорды дуги:

$$h = 2L_p \sin(\varphi/2) = 2 \times 0,12 \sin(36^\circ/2) = 0,074 \text{ м}$$

Значение силы  $P_1$  начальной деформации пружины (для удержания щупа в исходном положении) может быть принято 10 кГ, отсюда находим общую жёсткость пружины:

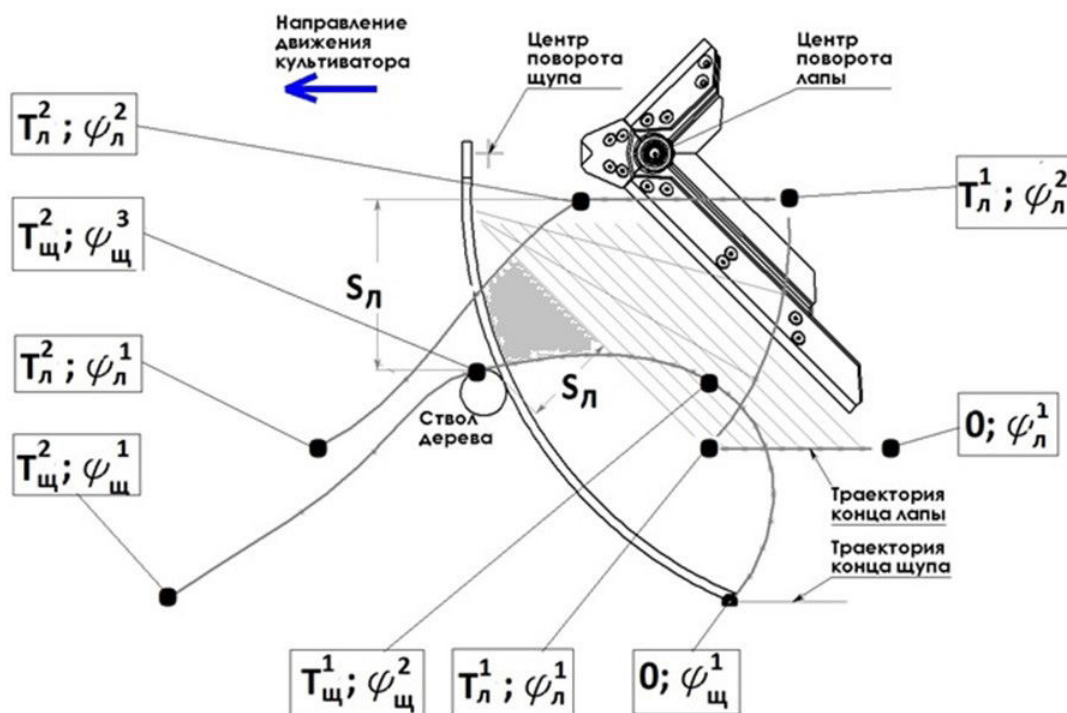
$$z = (P_2 - P_1) / h = ((29/10)) / (0,074) = 0,257 \text{ кГ/мм}$$

Имея  $P_3 = 1,2 P_2 = 35$  кГ, выбираем пружину по ГОСТ 13771 №433 со значением  $P_3 = 35,5$  кГ и жёсткостью одного витка  $z_1 = 5,289$  кГ/мм. Её параметры: наружный диаметр 34 мм; диаметр проволоки 3,5 мм; число витков  $n = z_1 / z = 5,289 / 0,257 = 21$  шт.

Проверка пружины по критической скорости по вышеприведенной формуле даёт значение 5 м/с, что незначительно отличается от ранее принятого значения.

На рис. 6 показаны траектории движения культиваторной лапы и щупа в их взаимодействии при прохождении вокруг ствола дерева.





**Рисунок 6.** Траектории движения культиваторной лапы и щупа в их взаимодействии при прохождении вокруг ствола дерева. Точки и их координаты соответствуют позициям лапы и щупа на циклограмме (см. рис. 5). Размер  $S_{л}$  – минимально допустимое расстояние от лапы до ствола (определяет момент поворота лапы)

Из рис. 6 видно, что при получении сигнала от щупа через индукционный датчик и гидросистему, культиваторная лапа описывает вокруг ствола дерева кривую линию с горизонтальным верхним участком и приближением к стволу на минимально допустимое расстояние  $S_{л}$ . Вместе с тем видно, что после схода щупа со ствола и сигнала на возвратный поворот лапы, она проходит возле ствола на расстоянии меньшем  $S_{л}$ . Следовательно, форма щупа нуждается в дополнительном профилировании – с тем, чтобы задержать контакт щупа со стволом на время, достаточное для отхода лапы на требуемое расстояние. Это легко достичь, например, удлинением конца щупа так, чтобы удлинённый конец располагался параллельно направлению движения культиватора.

Следует также отметить оставшийся необработанным, после поворота лапы, участок почвы возле ствола (затенённая зона на рис. 6). Его площадь, при указанных параметрах обработки, около  $0,035 \text{ м}^2$ . Этот участок можно исключить только специальным профилированием культиваторной лапы – приданием ей вогнутой, в плане, формы. Однако, это является технологически сложной операцией и не оправданой с точки зрения экономической эффективности культиватора с межствольной обработкой почвы в садах.

## ВЫВОДЫ

Обосновано, что форма щупа для привода поворота поворотной лапы садового культиватора может иметь простейший прямолинейный вид.

При исходных данных:

- $B_{л} = 520 \text{ мм}$  – расстояние от ряда деревьев до шарнира поворотной лапы;
- $H_{л} = 700 \text{ мм}$  – длина поворотной лапы;
- $h_{л} = 100 \text{ мм}$  – расстояние от лезвия лапы до поворотного шарнира;
- $a_{л} = 45^\circ$  – первоначальный угол наклона поворотной лапы в горизонтальной плоскости;
- $S_{л} = 150 \text{ мм}$  – минимально допустимое расстояние от лапы до ствола;

- $C = 150$  мм – предельное расстояние от щупа до стойки поворотной лапы;
- центры поворотных шарниров щупа и поворотной лапы лежат на одной горизонтали

получаем численные значения параметров щупа:

- $L_{щ} = 1080$  мм - длина щупа;
- $L_{щдл} = 345$  мм - горизонтальное расстояние между центрами поворота щупа и лапы;
- $\varphi_{щ}^3 = 26^\circ$  - предельный угол поворота щупа к горизонтали;
- $\varphi = 36^\circ$  - угол полного поворота щупа

Щуп должен оканчиваться загнутой частью, параллельной, в конце контакта щупа со стволом, направлению движения агрегата.

Обработка межствольной полосы прямой, в плане, поворотной культиваторной лапой оставляет необработанным участок почвы в районе ствола площадью около  $0,035$  м<sup>2</sup>. Для исключения этого участка необходимо применить вогнутую, в плане, форму культиваторной лапы. Однако эта форма является технологически сложной и ведёт к удорожанию машины.

Подача насоса и сечение рукавов гидросистемы культиватора должны обеспечивать минимальное время между срабатыванием индукционного датчика щупа и поворотом культиваторной лапы. По результатам испытаний культиватора „Mesagro” для этого достаточно насоса НШ-10 с подачей  $13,2$  л/мин и рукавов высокого давления с  $D_v = 12$  мм.

В качестве пружины для возврата в исходное положение щупа с длиной около  $1$  м и массой кг можно использовать пружину по ГОСТ диаметром  $22$  мм и диаметром проволоки  $2,5$  мм

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. АНИФЕРОВ, Ф. Е., ЕРОШЕНКО, Л.И., ТЕПЛИНСКИЙ, И. З. (1990). Машины для садоводства. Ленинград: ВО „Агромпромиздат”. 304 с. ISBN 5-10-000072-4.
2. КАРДАНОВ, К.Х. (2017). Машины для обработки почвы вокруг штамбов на виноградниках. В: NovaInfo.ru, № 73, с. 76-78.
3. КУТЕЙНИКОВ, В.К., ЛОСЕВ, Н.П., ЧЕТВЕРТАКОВ, А.В. и др. (1983). Механизация работ в садоводстве. Москва: Колос. 319 с.
4. ХАЖМЕТОВ, Л.М., ТХАГАПЦОВА, А.Р. (2021). Анализ конструктивных особенностей гербицидных установок для обработки приствольных полос плодовых насаждений: В: Известия кабардино-балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. № 1(31), с. 96-103. ISSN 2411-3492.
5. ХМЕЛЕВ, П. П., ТЯРИН, Г.Г. (1986). Механизация работ в садоводстве. Кишинёв: Картя молдовеняскэ. 226 с.
6. ЭРДЕДИ, А.А. и др. (1991). Техническая механика: Теоретическая механика. Сопротивление материалов. Москва: Высшая школа. 304 с. ISBN 5-06-000700-6.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

**РАЙКОВ Виктор Леонидович**  <https://orcid.org/0000-0002-4386-5480>

доктор технических наук, научный сотрудник, Институт сельскохозяйственной техники „MECAGRO”, г. Кишинёв, Республика Молдова

E-mail: [vraicov@rambler.ru](mailto:vraicov@rambler.ru)

Data prezentării articolului: 12.09.2022

Data acceptării articolului: 07.11.2022