

УДК 631.316.022.4

Кобец А.С., д-р наук гос. упр., профессор,
Пугач А.Н., д-р наук гос. упр., доцент
 (ДГАЕУ)

ОБОСНОВАНИЕ РАДИУСА ОКРУЖНОСТИ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ КРИВОЙ НОСКА КУЛЬТИВАТОРНОЙ ЛАПЫ*

Кобец А.С., д-р наук держ. упр., профессор,
Пугач А.М., д-р наук держ. упр., доцент
 (ДГАЕУ)

ОБҐРУНТУВАННЯ РАДИУСА КОЛА НАПРАВЛЯЮЧОЇ КРИВОЇ НОСКА КУЛЬТИВАТОРНОЇ ЛАПИ

Kobets A.S., D. Sc. (Public Administration), Professor,
Puhach A.M., D. Sc. (Public Administration), Associate Professor
 (DSAEU)

SUBSTANTIATION OF RADIUS OF THE CIRCLE OF GUIDE CURVED OF SPEARHEAD CULTIVATION CLAW

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос обоснование радиуса дуги окружности направляющей кривой носка культиваторной лапы исходя из обеспечения качественного выполнения технологического процесса при наименьших энергозатратах. Современные тенденции на получение экологически чистой продукции требуют частичного или же полного отказа от химических средств борьбы с сорняками. И как следствие повышается значение культиваторов, как наиболее эффективного механического средства борьбы. Анализ теоретических и практических наработок в сфере усовершенствования культиваторов показывает их основные направления: повышение износостойкости рабочих органов, повышение подрезающей способности стрелчатой лапы, улучшение стойкости движения по глубине и по ширине захвата, оптимизация общей компоновки машины, создание совершенно новых рабочих органов, разработка комбинированных агрегатов. Выполнено обоснование радиуса дуги направляющей кривой носка культиваторной лапы. Установлены зависимости напряжений в почве для различных участков лезвия лапы.

Ключевые слова: направляющая кривая, культиваторная лапа, обработка почвы, культиватор, лезвие, носок

Введение. Стрелчатые лапы являются довольно распространёнными почвообрабатывающими органами и используются в массовом порядке.

Лезвие традиционной культиваторной лапы являет собой симметричный клин. В процессе работы культиваторной лапы носок изнашивается в первую очередь и становится закруглённым, после чего интенсивность износа несколько снижается. Это свидетельствует о значительном повышении нормального давления почвы на остром носке лапы, чем на закруглённом. Следовательно, представляется целесообразным выполнять лезвие составным – из дуги окружности и прямых линий, сопряжённых в точках касания.

Несмотря на значительное количество комбинированных машин с пассивными и активными рабочими органами, которые эксплуатируются сегодня, оди-

* © Кобец А.С., Пугач А.Н., 2017

ночные пассивные рабочие органы требуют разработки конструкций сочетающих повышенную износостойкость с низкой металлоёмкостью. Например, изменение геометрии рабочего органа [1-6] применительно к выполнению технологического процесса.

Целью наших исследований было обоснование радиуса дуги окружности направляющей кривой носка культиваторной лапы.

Результаты исследований и их обсуждение. Для обоснования радиуса дуги окружности лезвия рассмотрим контактную задачу теории упругости.

При сжатии почвы и деформатора, в качестве которого выступает лезвие лапы, по участку контакта функция напряжения $\sigma(y)$ будет выражена уравнением

$$\sigma(y) = \frac{P + Aa^2 - 2Ay^2}{\pi\sqrt{a^2 - y^2}}, \quad (1)$$

где P – равнодействующая внешних сил, Н; a – полуширина контакта, м; A – некоторая постоянная, зависящая от геометрической формы тел и их упругих постоянных w_1 и w_2 .

Постоянная A определяется следующим образом:

$$A = \frac{f_1''(0) + f_2''(0)}{2(w_1 + w_2)}, \quad (2)$$

где $w_1 = \frac{2(1 - \mu_1^2)}{\pi E_1}$ и $w_2 = \frac{2(1 - \mu_2^2)}{\pi E_2}$; $f_1''(0)$ и $f_2''(0)$ – вторые производные от уравнений профилей поперечного сечения взаимодействующих тел в точке симметрии участка контакта ($y = 0$); μ_1 и μ_2 – коэффициенты Пуассона стали и почвы; E_1 и E_2 – модули упругости стали и почвы, кг/см².

Уравнение профиля почвы в плоскости контакта при $b/2$ можно представить в виде полупространства с постоянной ординатой: $z = f_2(y) = \text{const}$. Поэтому $f_2''(0) = 0$. В свою очередь при взаимодействии культиваторной лапы и почвы можно считать, что лапа, по сравнению с почвой, абсолютно жёсткая, так как изготовлена из стали. Следовательно, $E_1 = \infty$. Тогда $w_1 = 0$, а уравнение (2) будет иметь вид

$$A = \frac{f_1''(0)}{2w_2}.$$

Поскольку коэффициент Пуассона для почвы мал, то величина w_2 будет равна

$$w_2 = \frac{2}{3,14 \cdot E_2}, \quad (3)$$

где модуль упругости E_2 находится в пределах $E_2 = (4,26-5,44) \cdot 10^6$ кг/см², то есть, $w_2 = (0,15-0,12) \cdot 10^{-6}$ см²/кг.

Лезвие лапы состоит из двух участков: дуги окружности и клина. Рассмотрим деформацию почвы каждым участком в отдельности.

Круглый участок носка лезвия описывается уравнением окружности, центр которой лежит на оси симметрии OX :

$$f_1 = (x - r)^2 + y^2 = 0, \quad (4)$$

где r – радиус окружности носка лапы, м.

Дифференцируем уравнение (4) как функцию, заданную неявно,

$$x'_y (x - r) + y = 0,$$

откуда первая производная равна

$$x'_y = -\frac{y}{x - r}.$$

Дифференцируя уравнение вторично получим

$$x''_y = -\frac{x + r + y \cdot x'_y}{(x - r)^2}.$$

Подставляя в полученное выражение значение первой производной и учитывая, что $x = \sqrt{r^2 - y^2} + r$, окончательно будем иметь выражение для вычисления второй производной

$$f''_1 = -\frac{r^2}{\sqrt{(r^2 - y^2)^3}},$$

которое при $y = 0$ равно $f''_1(0) = -1/r$.

Представим равнодействующую P как произведение удельного сопротивления почвы при обработке k_y на ширину захвата лапы $P = k_y \cdot b$.

Удельное сопротивление почвы обработке k_y находится в пределах $k_y = (4-6) \text{ Н/см}^2$ [1], или $k_y = (4-6) \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$, а ширина культиваторных лап равна 270 и 330 мм, поэтому будем иметь следующие пределы изменения равнодействующей: $P = (1,08 - 1,92) \cdot 10^4 \text{ Н}$.

В дальнейших рассуждениях будем ориентироваться на большее значение равнодействующей.

Решая совместно равенства (1), (4) получим уравнение распределения напряжений в почве

$$\sigma_1(y) = \frac{2P}{\pi a} \sqrt{a^2 - y^2}, \quad (5)$$

где $a = \sqrt{2Prw_2}$.

Подставив численные значения в выражение (5), получим функцию распределения напряжений, вызываемых носком лапы, для заданных условий

$$\sigma_1(y) = \frac{2 \cdot 1,92 \cdot 10^4}{3,14 \cdot 0,076 \cdot r} \sqrt{0,076 \cdot r^2 - y^2} = \frac{1,6 \cdot 10^4}{r} \sqrt{0,076 \cdot r^2 - y^2}.$$

Как видно из полученного уравнения, напряжения в почве при $y = b/2$ равны нулю $\sigma_1(b/2) = 0$, а при $y = 0$ будут равны своему максимальному значению: $\sigma_1(0) = \sigma_{1\max} = 0,451 \cdot 10^5$ Н/м².

Линейная часть лезвия описывается уравнением $x = \text{ctg } \gamma_0 |y|$. В этом случае распределение напряжений в почве будет описываться формулой

$$\sigma_2(y) = \frac{2P}{\pi a} \ln \frac{a - \sqrt{a^2 - y^2}}{|y|}, \quad (6)$$

где $a = \frac{\pi P w_2}{2 \text{ctg } \gamma_0}$.

Подставляя численные значения в формулу (6), получим выражение, описывающее функцию напряжения для линейного участка лезвия лапы

$$\sigma_2(y) = 2,72 \cdot 10^6 \cdot \text{ctg } \gamma_0 \cdot \ln \frac{0,45 \cdot 10^{-2}}{\text{ctg } \gamma_0} - \sqrt{\left(\frac{0,45 \cdot 10^{-2}}{\text{ctg } \gamma_0}\right)^2 - y^2}}{|y|}.$$

При $y = 0$ напряжения в почве перед носком лапы равны бесконечности: $\sigma_2(0) = \sigma_{2\max} = \infty$, в то время как на концах лапы при $y = b/2$ они равны нулю: $\sigma_2(b/2) = 0$.

Применив принцип суперпозиции, можно составить эпюру суммарных напряжений (рис. 1), определяемую суммой напряжений от дуги окружности и линейного участка лезвия

$$\sigma(y) = \sigma_1(y) + \sigma_2(y).$$

Как видно на рис. 1 и из приведенных выражений, напряжения в почве, создаваемые лезвием лапы, зависят от радиуса носка лапы и угла наклона линейной части.

Запишем разность напряжений для приведенных участков лезвия:

$$\begin{aligned} \Delta\sigma(y) &= \sigma_1(y) - \sigma_2(y) = \\ &= \frac{1,6 \cdot 10^4}{r} \sqrt{0,076 \cdot r^2 - y^2} - 2,72 \cdot 10^6 \cdot \text{ctg } \gamma_0 \cdot \ln \frac{0,45 \cdot 10^{-2}}{\text{ctg } \gamma_0} - \sqrt{\left(\frac{0,45 \cdot 10^{-2}}{\text{ctg } \gamma_0}\right)^2 - y^2}}{|y|}. \end{aligned}$$

Приравняв разность напряжений нулю: $\Delta\sigma(y) = \sigma_1(y) - \sigma_2(y) = 0$, получим равенство напряжений в почве, создаваемых различными участками лезвия. Откуда можно записать, что

$$\frac{1,6 \cdot 10^4}{r} \sqrt{0,076 \cdot r^2 - y^2} =$$

$$= 2,72 \cdot 10^6 \cdot \operatorname{ctg} \gamma_0 \times$$

$$\frac{0,45 \cdot 10^{-2}}{\operatorname{ctg} \gamma_0} - \sqrt{\left(\frac{0,45 \cdot 10^{-2}}{\operatorname{ctg} \gamma_0}\right)^2 - y^2}$$

$$\times \ln \frac{\dots}{|y|}$$

Полученное выражение, являясь нелинейным уравнением, устанавливает зависимость между радиусом носка лапы r и углом наклона линейного участка лезвия.

Выводы.

1. Приведены графики напряжений в почве для разных участков лезвия.

2. Установлена зависимость между радиусом носка лапы и углом наклона линейного участка, позволяющая перейти к формированию направляющей кривой поверхности лапы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сысолин, П.В. Почвообрабатывающие и посевные машины / П.В. Сысолин, Л.В. Погорельый // История, машиностроение, конструирование. – К.: Феникс, 2005. – 264 с.

2. Пугач, А.М. Обґрунтування параметрів культиваторних лап оснащених елементами локального зміцнення: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / А.М. Пугач. – Вінниця, 2010. – 24 с.

3. Исследование износа культиваторных лап оснащенных элементами локального упрочнения рабочей поверхности / А.С. Кобец, Б.А. Волик, А.Н. Пугач // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2007. – Т. 1., вип. 59. – С. 76–80.

4. Польові дослідження стрілочастих лап, оснащених елементами локального зміцнення / А.С. Кобец, О.М. Кобець, А.М. Пугач // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2009. – № 2. – С. 31–35.

5. Пат. 29516, Україна, МПК А 01 В 35/00. Робочий орган культиватора / Кобець А.С., Волик Б.А., Пугач А.М. – № u200711479; заявл. 16.10.2007; опубл. 10.01.2008, Бюл. № 1.

6. Пат. 85100, Україна, МПК А 01 В 35/26. Робочий орган культиватора / Волик Б.А., Терещенко М.В., Пугач А.М. – № a200700461; заявл. 17.01.2007; опубл. 25.12.2008, Бюл. № 24.

REFERENCES

1. Sysolin, P.V. and Pogorelyi, L.V. (2005), *Pochvoobrabatyvayushchiye i posevnyye mashiny* [Tillage and sowing machines], Feniks, Kiev, Ukraine.

2. Pugach, A.M. (2010), “Justification of parameters for cultivators paws equipped with elements of local hardening”, Abstract of Ph. D. dissertation, Vinnitsa, Ukraine.

3. Kobets, A.S., Volik, B.A. and Pugach, A.N. (2007), “Investigation of the wear of cultivator paws equipped with elements of local hardening of the working surface”, *Visnik Kharkivs'kogo natsional'nogo tekhnichnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka*, vol. 1, no. 59, pp. 76-80.

4. Kobets, A.S., Kobets, O.M. and Pugach, A.N. (2009), “Investigation of paws equipped with elements

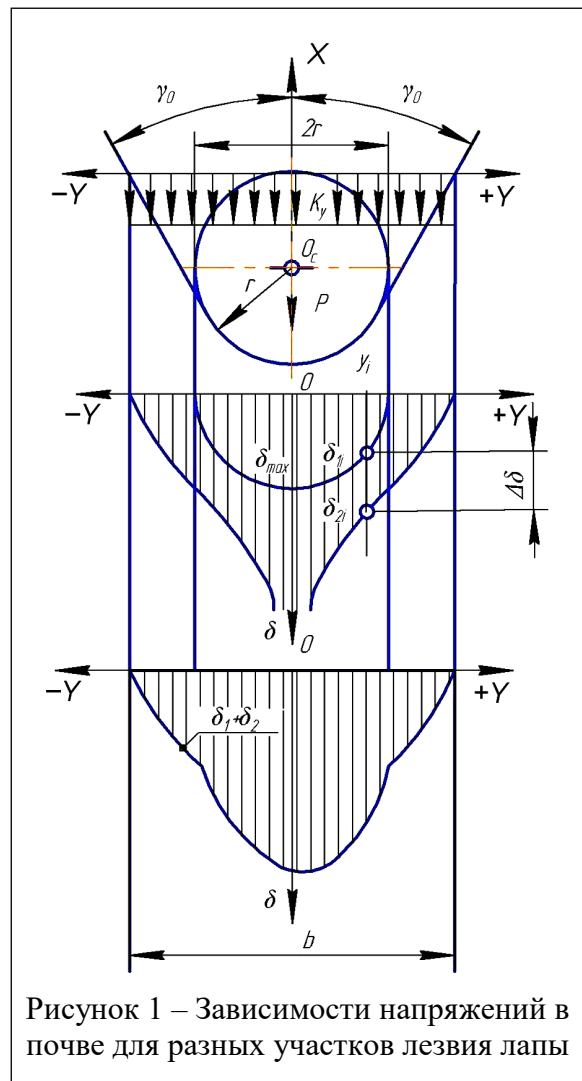


Рисунок 1 – Зависимости напряжений в почве для разных участков лезвия лапы

of local hardening”, *Visnik Dnipropetrovs'kogo derzhavnogo agrarnogo universitetu*, no. 2, pp. 31-35.

5. Kobets', A.S., Volik, B.A. and Pugach, A.M., Dnipropetrovs'kiy derzhavniy agrarno-yekonomichniy universitet (2008), *Robochiy organ kul'tivatora* [The working organ of the cultivator], Dnepropetrovsk, Ukraine, Pat. 29516.

6. Volik, B.A., Tereshchenko, M.V. and Pugach, A.M., Dnipropetrovs'kiy derzhavniy agrarno-yekonomichniy universitet (2008), *Robochiy organ kul'tivatora* [The working organ of the cultivator], Dnepropetrovsk, Ukraine, Pat. 85100.

Об авторах

Кобець Анатолій Степанович, доктор наук по государственному управлению, профессор, ректор, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет (ДГАЭУ), Днепр, Украина, info@dsau.ua

Пугач Андрей Николаевич, доктор наук по государственному управлению, доцент, начальник НИЧ, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет (ДГАЭУ), Днепр, Украина, pugacham@yandex.ua

About the authors

Kobets Anatoliy Stepanovych, Doctor of Public Administration, Professor, Rector, Dnipropetrovsk State University of Agriculture and Economics, Dnipro, Ukraine, info@dsau.ua

Pugach Andrey Nikolayevich, Doctor of Public Administration, Associate Professor, Head of research department, Dnipropetrovsk State University of Agriculture and Economics, Dnipro, Ukraine, pugacham@yandex.ua

Анотація. В роботі розглядається питання обґрунтування радіуса кола направляючої кривої носка культиваторної лапи, виходячи із забезпечення якісного виконання технологічного процесу при найменших енергозатратах. Сучасні тенденції на отримання екологічно чистої продукції потребують хоча б часткової або повної відмови від хімічних засобів боротьби з бур'янами. І як наслідок підвищується значення культиваторів, як найбільш ефективного механічного засобу боротьби. Аналіз теоретичних і практичних напрацювань в сфері удосконалення культиваторів показує їх основні напрямки: підвищення зносостійкості робочих органів, підвищення підрізаючої спроможності стрільчастої лапи, покращення стійкості руху по глибині і по ширині захвату, оптимізація загальної компоновки машини, створення принципово нових робочих органів, розробка комбінованих агрегатів. Виконано обґрунтування радіуса дуги направляючої кривої носка культиваторної лапи. Встановлена залежність напружень у ґрунті для різних ділянок леза лапи.

Ключові слова: культиваторна лапа, обробка ґрунту, культиватор, лезо, носок

Abstract. The authors substantiate the circle radius for the guide curve of the cultivator hoe nose having in mind ensuring the qualitative execution of technological process at the lowest energy costs. The current tendencies for obtaining an ecologically clean production demand partial or total refuse from chemical methods of the weed control. As a result, the importance of cultivators as the most effective mechanical means of the weed control is increasing. The analysis of theoretical and practical developments in the sphere of cultivator improvement shows the key tendencies, which are as follows: to improve wear resistance of operating elements; to upgrade cutting ability of center hoe; to improve moving stability by cutting depth and coverage; to optimize overall layout of the machine; and to design new operating elements and combined aggregates. The circle radius was substantiated for the guide curve arch in the cultivator hoe nose. The dependencies between the soil stresses are established for different parts of the hoe blade.

Keywords: guide curve, cultivator hoe, soil cultivation, cultivator, blade, nose

Стаття поступила в редакцію 10.05.2017

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук, проф. В.И. Дырдой