

УДК 631.31

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ПРОФИЛЯ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ДИСКА

ЛОБАЧЕВСКИЙ Я.П.¹,

докт. техн. наук,
профессор,

КОМОГОРЦЕВ В.Ф.²,

канд. физ.-мат. наук,
доцент,

СТАРОВОЙТОВ С.И.²,

канд. техн. наук

¹Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация, e-mail: vim@vim.ru

²Брянский государственный аграрный университет, ул. Советская, 2а, с. Кокино, Выгоничский район, Брянская обл. 243365, Российская Федерация, e-mail: starovoitov@mail.ru

Размеры и форму диска для заданных условий работы при обработке почвы выбирают на основании геометрических соотношений между параметрами диска и допустимыми значениями, выработанными практикой. Установили, что кроме крошащей и оборачивающей способности диска, к факторам, влияющим на его геометрические и энергетические параметры, нужно отнести условие несмятия вертикальной стенки борозды и устойчивый подъем пласта по криволинейной поверхности рабочего сектора. Определили, что исходными данными для построения горизонтальной, поперечно-вертикальной, продольно-вертикальной проекций являются диаметр диска, угол атаки, глубина хода. Глубина хода отображает хорду погружения диска на поперечно-вертикальной и продольно-вертикальной проекциях диска. На горизонтальной проекции обозначается сфера диска, которая исключает смятие вертикальной стенки борозды при его движении. Отметим, что критерием работоспособности диска служит возможное скольжение почвы вдоль кривой продольно-вертикальной проекции в пределах самой нижней точки и точки, исключающей смятие вертикальной стенки борозды и расположенной на хорде погружения. Параметр кривой возможного скольжения определен с учетом того, что сумма произведений касательных усилий на проекцию траектории движения элементарной площадки меньше нуля. С учетом полученного значения на продольно-вертикальной проекции в зоне рабочей поверхности построена кривая скольжения. Точки пересечения кривой скольжения с образующими продольно-вертикальной проекции перемещаются горизонтальным переносом на отрезок горизонтальной проекции. По трем точкам осуществляется построение дуг профиля диска по высоте расположения образующих. Профиль диска со сферическим или плоским днищем строится на уровне образующих поперечно-вертикальной проекции с учетом отрезков, расположенных на перпендикуляре к центру диаметра диска горизонтальной проекции. Методика по построению профиля поперечного сечения диска разработана с учетом двух условий: несмятия почвы в зоне хорды погружения и возможности обеспечения ее скольжения. Данная методика позволяет проектировать диск с плоским и сферическим диском.

Ключевые слова: почвообработка, дисковый рабочий орган, хорда погружения, радиус сферы, кривая скольжения.

Основным геометрическим параметрам, влияющим на крошащую и оборачивающую способность диска, относят его диаметр D , радиус сферы R , половину центрального угла φ сферического сектора. Половина центрального угла сферического сектора для дисковых плугов составляет $\varphi = 31-37^\circ$, луцильников – $\varphi = 26-32^\circ$, борон – $\varphi = 22-26^\circ$; Радиус сферы диска как постоянную величину определяют по формуле:

$$R = \frac{D}{2 \cdot \sin \varphi}, \quad (1)$$

где D – диаметр диска, м;

φ – половина угла сферического сектора, град.

С учетом соотношения глубины обработки, диаметра диска и угла атаки [1] радиус сферы диска равен:

$$R = \frac{D}{k} \sqrt{\frac{k-1}{\sin^2 \alpha} + (0,5k-1)^2}, \quad (2)$$

где k – коэффициент соответствия глубины обработки и диаметра диска;
 α – угол атаки, град.

Размеры и форму диска для заданных условий работы выбирают обычно на основании некоторых геометрических соотношений между параметрами диска и допустимыми их значениями, выработанными практикой. Кроме крошащей и оборачивающей способности диска, к факторам, влияющим на его геометрические и энергетические параметры, можно отнести условие несмятия вертикальной стенки борозды и устойчивый подъем пласта по криволинейной поверхности рабочего сектора [2, 3].

Цель исследования. Разработать методику построения профиля диска с учетом условия несмятия почвы в зоне хорды погружения и возможности обеспечения ее скольжения в пределах криволинейной поверхности рабочего сектора.

Материалы и методы. Для построения горизонтальной, поперечно-вертикальной и продольно-вертикальной проекций первоначально вводим оси симметрии (рисунок) с центром в точке O . Для построения горизонтальной проекции под углом атаки $\alpha = 22^\circ$ в IV квадранте проведем отрезок OA длиной $D = 660$ мм. Относительно центра отрезка OA точки O_1 размещаем цифры 1, 2, 3, 4, 5 на расстоянии, указанном в таблице 1. Для построения поперечно-вертикальной проекции через точку O_1 горизонтальной проекции проводим вертикальную линию. На данной вертикальной линии на расстоянии $D/2$ от дна борозды отмечаем точку O_2 . Через точку O_2 проводим горизонтальную прямую. Расстояние между горизонтальными образующими на поперечно-вертикальной проекции и прямой, проходящей через точку O_2 , равно:

$$h_i = \sqrt{R^2 - \Delta_i^2}, \quad (3)$$

где h_i – вертикальная координата положения образующих относительно горизонтальной прямой, проходящей через точку O_2 ;

Δ_i – расстояние между точкой O_1 и цифрами 1, 2, 3, 4, 5 отрезка OA горизонтальной проекции дискового рабочего органа.

Точки пересечения вертикальных прямых, проходящих через цифры 1, 2, 3, 4, 5 отрезка OA горизонтальной проекции, и горизонтальных образующих поперечно-вертикальной проекции связываем плавной кривой, получая поперечно-вертикальную проекцию диска.

Для построения продольно-вертикальной проекции проводим дуги, радиус которых равен расстоянию между дном борозды и соответствующей образующей поперечно-вертикальной проекции. Через точки пересечения дуг с линией, обозначающей дно борозды, и точки, расположенные на от-

Таблица 1

К ПОСТРОЕНИЮ ПОПЕРЕЧНО-ВЕРТИКАЛЬНОЙ И ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПРОЕКЦИЙ					
Номера точек и образующих	1	2	3	4	5
Расстояние от точки O_1 до цифр 1, 2, 3, 4, 5 отрезка OA , мм	55	110	165	220	275
Расстояние от точки O_2 до образующих поперечно-вертикальной проекции, мм	325	311	286	246	182

резке OA горизонтальной проекции, проводим вертикальные и горизонтальные прямые. Полученные точки пересечения связываем плавной кривой и получаем профиль продольно-вертикальной проекции.

Результаты и обсуждение. Глубина обработки и диаметр дискового рабочего органа связаны между собой следующим соотношением:

$$a = \frac{D}{k}, \quad (4)$$

где a – глубина обработки, м.

Для плугов коэффициент соответствия глубины обработки и диаметра диска составляет $k=3-4$, для борон $k=4-6$ для луцильников $k=6-8$. Большие значения k принимают при обработке твердых почв при малых углах атаки, больших скоростях работы орудия. Примем $k=4$. При диаметре диска 0,66 м глубина обработки составит 0,165 м. На поперечно-вертикальной, продольно-вертикальной проекциях хорду погружения диска обозначаем утолщенной линией.

Определим радиус сферы диска на линии соответствия хорде погружения, при котором исключается смятие борозды тыльной стороной диска:

$$R = \frac{\sqrt{D \cdot (D - a)}}{2 \cdot \sin(\alpha)}. \quad (5)$$

На горизонтальной проекции штриховой линией на уровне хорды погружения радиусом $R = 772$ мм обозначаем сферу диска, которая исключает смятие вертикальной стенки борозды при движении. Далее, от точки O_1 горизонтальной проекции проводим вниз вертикальный отрезок несмятия. Точку пересечения K вертикального отрезка и штриховой линии, обозначающей сферу диска при условии несмятия стенки борозды, горизонтальным переносом смещаем на хорду погружения продольно-вертикальной проекции диска. Получаем точку K'' .

Рассмотрим методику определения геометрии сферы диска с учетом аналитических зависимостей, оптимизирующих переднюю поверхность активного рабочего органа [4, 5]. Критерием работоспособности диска является возможное перемещение почвы вдоль кривой скольжения продольно-верти-

кальной проекции $O''_1 K''$. А это будет в случае, если векторы $d\vec{T}$ и $d\vec{l}$ в любой точке кривой $O''_1 K''$ составляют между собой тупой угол. При этом соблюдается следующее условие:

$$d\vec{T} \cdot d\vec{l} \leq 0. \quad (6)$$

Или же в развернутой форме:

$$dTx'_* \cdot dx'_* + dTy'_* \cdot dy'_* = 0, \quad (7)$$

где dTx'_* , dx'_* , dTy'_* , dy'_* – проекции касательного усилия траектории движения элементарной площадки на оси x и y .

Начальные условия для пассивных рабочих органов следующие:

- деформатор заглубился в почву полностью $h(x)=0$;
- поворот при заглублении отсутствует, $k=0$;
- вдоль траектории заглубления рабочий орган не перемещается: $a(h)=const$; $a'(h)=0$.

Рассмотрим следующие составляющие функции (7). Проекция касательного усилия элементарной площадки на ось x :

$$dTx'_* = f_{внеш} \cdot [\cos(k \cdot h) - f'(x) \cdot \sin(k \cdot h)]; \quad (8)$$

$$dTx'_* = f_{внеш} \cdot [\cos(0 \cdot h) - f'(x) \cdot \sin(0 \cdot h)];$$

$$dTx'_* = f_{внеш}.$$

Проекция касательного усилия элементарной площадки на ось y :

$$dTy'_* = f_{внеш} \cdot [\sin(k \cdot h) + f'(x) \cdot \cos(k \cdot h)]; \quad (9)$$

$$dTy'_* = f_{внеш} \cdot [\sin(0 \cdot h) + f'(x) \cdot \cos(0 \cdot h)];$$

$$dTy'_* = f_{внеш} \cdot f'(x).$$

Проекция траектории движения элементарной площадки на ось x :

$$dx'_* = [-k \cdot x \cdot \sin(k \cdot h) + f(x) \cdot \cos(k \cdot h) + a'(h)]; \quad (10)$$

$$dx'_* = 0 \cdot \sin(0 \cdot h) + 0 \cdot \cos(0 \cdot h) + 0(h);$$

$$dx'_* = 0.$$

Проекция траектории движения элементарной площадки на ось y :

$$dy'_* = k \cdot x \cdot \cos(k \cdot h) - f(x) \cdot \sin(k \cdot h) - 1; \quad (11)$$

$$dy'_* = 0 \cdot x \cdot \cos(0 \cdot h) - f(x) \cdot \sin(0 \cdot h) - 1;$$

$$dy'_* = -1.$$

Таким образом, реализация условия (7) имеет следующий вид:

$$f_{внеш} \cdot f'(x) = 0.$$

Функция $y = f(x)$ будет выглядеть так:

$$y = a_1 x^2 - a_1 x_0 x + \frac{y_0}{x_0}. \quad (12)$$

Тогда:

$$f'(x) = 2 \cdot a_1 \cdot x - a_1 \cdot x_0 + \frac{y_0}{x_0}.$$

Имеем:

$$f_{внеш} \cdot \left(2 \cdot a_1 \cdot x - a_1 \cdot x_0 + \frac{y_0}{x_0} \right) = 0.$$

Примем $f_{внеш} \neq 0$,

Поэтому будет равно нулю выражение в скобках:

$$2 \times a_1 \times x - a_1 \cdot x_0 + \frac{y_0}{x_0} = 0.$$

Отсюда:

$$a_1 = -\frac{y_0}{x_0 \cdot (2x - x_0)}. \quad (13)$$

Координата x_0 обозначает глубину обработки.

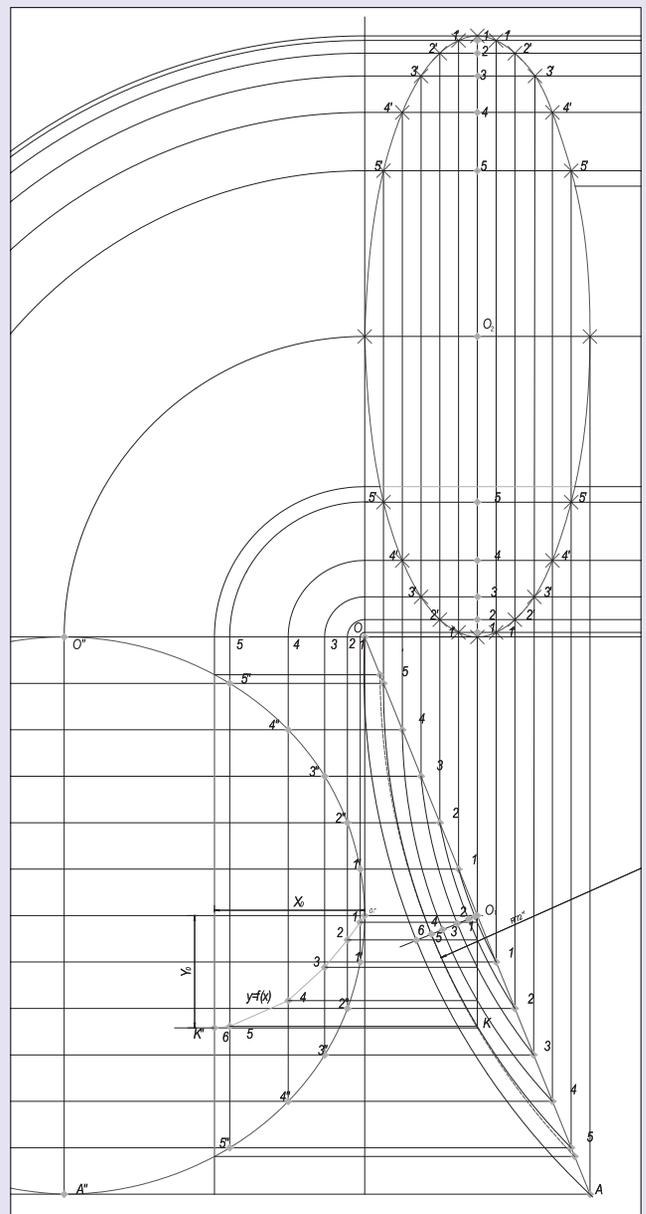


Рисунок. К построению профиля диска

Длина отрезка $O_1K = y_0 = 123$ мм, что можно определить графическим путем. Для определения значения a_1 воспользуемся выражением (13). В таблице 2 представлено интервальное значение $0 \leq x \leq x_0$ и искомое значение y . Значение x сопоставимо с параметрами образующих.

тальным переносом перемещаем на отрезок O_1K горизонтальной проекции. Далее по трем точкам строим дуги профиля диска на высоте расположения образующих.

Профиль диска строим на уровне образующих поперечно-вертикальной проекции. Первоначально

Значение x , мм	Значения y при a_1						
	$a_1 = 0,004518$	$a_1 = 0,004809$	$a_1 = 0,00587$	$a_1 = 0,009681$	$a_1 = -0,24848$	$a_1 = -0,00569$	$a_1 = -0,00452$
5	0,112873	-	-	-	202,51	8,2792	7,3433
19	1,630704	0,82347	-	-	703,44	29,947	26,7021
44	8,746168	7,19688	1,5481	-	1355,70	63,093	56,8644
84	31,87771	29,8977	22,6787	-	1753,20	101,320	93,3722
148	98,95998	98,2278	95,5583	85,969	735,50	124,640	121,6990
165	123	123	123	123	123	123	123

O_11	O_12	O_13	O_14	O_15	O_16
2,8 мм	10,53 мм	23,69 мм	41,17 мм	54,45 мм	54,7 мм

Для дальнейшего построения используем значение $a_1 = -0,00422$ так как при необходимом отрицательном значении $y \leq y_0$. С учетом полученных значений при $a_1 = -0,00422$ на продольно-вертикальной проекции в зоне рабочей поверхности диска строим кривую скольжения $y = f(x)$. Точки пересечения кривой скольжения $y = f(x)$ с образующими продольно-вертикальной проекции горизон-

проводим вертикальный отрезок OA . От данного вертикального отрезка откладываем влево отрезки длиной $O_11, O_12, O_13, O_14, O_15, O_16$, находящиеся на перпендикуляре к точке O_1 отрезка OA (рисунк). Длины отрезков для построения профиля сечения диска представлены в таблице 3.

Можно построить диск со сферическим или плоским днищем. Если мы строим диск со сферическим диском, то от точки b выпуклой поверхности радиусом, исключаяющим несмятие стенки борозды на уровне хорды погружения, отмечаем точку O_2 на линии, проходящей через центр диска. Этим же радиусом от точки O_2 связываем точки b . Если необходимо построить диск с плоским днищем, то связываем точки b вертикальным отрезком.

Выводы. Разработана методика по построению профиля поперечного сечения диска с учетом двух условий: несмятия почвы в зоне хорды погружения и возможности обеспечения ее скольжения.

Показано, что радиус сферы диска является переменной величиной.

Данная методика позволяет проектировать диск с плоским или сферическим днищем.

Литература

1. Лобачевский Я.П., Эльшейх А.Х. Обоснование расстановки дисковых рабочих органов в комбинированных почвообрабатывающих агрегатах // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2009. – № 4. – С. 22-25.
2. Измайлов А.Ю., Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Кузнецов П.А., Юрков М.А., Голощенко С.А. Научные принципы повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающей техники // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 3. – С. 5-7.

3. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Чемисов Н.Н. Энергетическая и качественная оценка рабочего органа // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2015. – № 5. – С. 10-13.
4. Старовойтов С.И. Исследование процесса и разработка чизельного культиватора для работы в плодово-ягодных насаждениях: Дисс.... канд. техн. наук. – М.: ВТИИСП, 1994. – С. 82.
5. Лобачевский Я.П. Новые почвообрабатывающие технологии и технические средства // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2000. – № 8. – С. 30-32.

TECHNIQUE OF CREATION OF PROFILE OF DISK CROSS SECTION

Ya.P. Lobachevsky¹, V.F. Komogortsev², S.I. Starovoytov²

¹All-Russia Research Institute of Mechanization for Agriculture, 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russian Federation

²Bryansk State Agrarian University, Sovetskaya St., vil. Kokino, Vygonichi district, Bryansk region, 243365, Russian Federation, e-mail: starovoitov@mail.ru

A choice of the sizes and form of a disk is made for the set operation conditions on the basis of geometrical ratios between parameters of a disk and their admissible values developed by practice. Except the crumbling and turning ability of a disk the add factors influencing on its geometrical and power parameters are non-crumple condition of a vertical wall of a furrow and steady raising of layer on a curvilinear surface of operation sector. Basic data for construction horizontal, cross-vertical, longitudinal-vertical projections is diameter of a disk, an angle of attack, running depth. Depth of the course images a chord of disk dip on cross-vertical and longitudinal-vertical projections of a disk. The disk sphere which excludes crumple of a vertical wall of a furrow at its movement is designated on the horizontal projection. Criterion of disk efficiency a is possible soil sliding along a curve of longitudinal-vertical projection within limits of the lowermost point and a point excluding crumple of the furrow vertical wall and located on a chord of deep. The parameter of a curve of possible sliding can be defined taking into account that the sum of multiplications of tangent efforts to a projection of a trajectory of the movement of an elementary platform less than zero. Taking into account the received value we can construction the sliding curve on the longitudinal-vertical projection in a zone of operating surface. Points of intersection of the sliding curve with the generating lines of longitudinal-vertical projection are moved by horizontal transfer on a piece of an interval of the horizontal projection. On three points we create a profile of a disk on height of a placement of the generating lines. The disk profile with the spherical or flat bottom should be create at the level of generating lines of cross-vertical projection taking into account the intervals placed on a perpendicular to the center of diameter of a disk of a horizontal projection.

Keywords: Soil cultivation; Disk working element; Deep chord; Sphere radius; Sliding curve.

References

1. Lobachevskiy Ya.P., El'sheykh A.Kh. Obosnovanie rasstanovki diskovykh rabochikh organov v kombinirovannykh pochvoobrabatyvayushchikh agregatakh [Justification of placement of disk working elements in the combined soil-cultivating units]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2009. No 4. pp. 22-25 (Russian).

2. Izmaylov A. Yu., Sidorov S.A., Lobachevskiy Ya.P., Khoroshenkov V.K., Kuznetsov P.A., Yurkov M.A., Golosienko S.A. Nauchnye printsipy povysheniya iznosostoykosti rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchey tekhniki [Scientific principles of increase of wear resistance of working tools of soil-cultivating machinery]. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2012. No. 3. pp. 5-7 (Russian).

3. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I., Chemisov N.N. Energeticheskaya i kachestvennaya otsenka rabocheho organa [Power and technological evaluation of soil cultivating working tool]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015. No. 5. pp.10-13 (Russian).

4. Starovoytov S.I. Issledovanie protsessa i razrabotka chizel'nogo kul'tivatora dlya raboty v plodovo-yagodnykh nasazhdeniyakh [Research of process and development of chisel cultivator for operation in fruit and berry plantations]: Diss. kand. tekhn. nauk. Moscow: VTIISP, 1994. pp. 82 (Russian).

5. Lobachevskiy Ya.P. Novye pochvoobrabatyvayushchie tekhnologii i tekhnicheskie sredstva [New soil-cultivating technologies and technical means]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2000. No. 8. pp. 30-32 (Russian).

