

УДК 631.316.6 + 631.319.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КИНЕМАТИКИ СЕПАРИРУЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ КУЛЬТИВАТОРА

<sup>1</sup>Анutow Р.М., <sup>2</sup>Котельников В.Я., <sup>3</sup>Козьявин А.А., <sup>2</sup>Котельников А.В., <sup>4</sup>Тищенко Д.Е.

<sup>1</sup>Грязинский культиваторный завод, Грязи;

<sup>2</sup>Юго-Западный госуниверситет, Курск, e-mail: rotor9090@mail.ru;

<sup>3</sup>ККГСХА, Курск;

<sup>4</sup>ГКЗ, Грязи

Даны исследования технологических параметров кинематики ротационных сепарирующих рабочих органов культиватора.

**Ключевые слова:** культиваторы, экологическая обработка почвы, сохранение влаги, энергии, времени и средств

## INVESTIGATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE KINEMATICS OF SEPARATING THE WORKING BODIES OF THE CULTIVATOR

<sup>1</sup>Anutov R.M., <sup>2</sup>Kotelnikov V.Y., <sup>3</sup>Kozyavin A.A., <sup>2</sup>Kotelnikov, A.V., <sup>4</sup>Tishchenko D.E.

<sup>1</sup>Gryazinsky cultivator plant, Gryazi;

<sup>2</sup>Southwestern State University, Kursk, e-mail: rotor9090@mail.ru;

<sup>3</sup>KKGSKHA, Kursk;

<sup>4</sup>SRC, Gryazi

Given the study of rotational kinematics of the process parameters separating the working bodies of the cultivator.

**Keywords:** cultivators, environmental soil moisture retention, energy, time and money

При выполнении технологического процесса пальцы сепаратора совершают сложное движение. Отнесем это движение к системе координат  $x, o, y$ . Оно складывается из вращательного вокруг геометрической оси диска и поступательного (переносного) движения вместе с диском. Траектория движения конца пальца сепарирующего диска является кривой циклоидального типа.

Уравнение движения точки  $O$  запишем в параметрической форме (рис. 1):

$$x = R (\alpha' i - \sin \alpha'). \quad (1)$$

$$y = R (1 - \cos \alpha'), \quad (2)$$

где  $\alpha'$  – угол поворота пальца от вертикального радиуса;  $i$  – передаточное число тормоза;  $R$  – радиус диска ротора сепаратора.

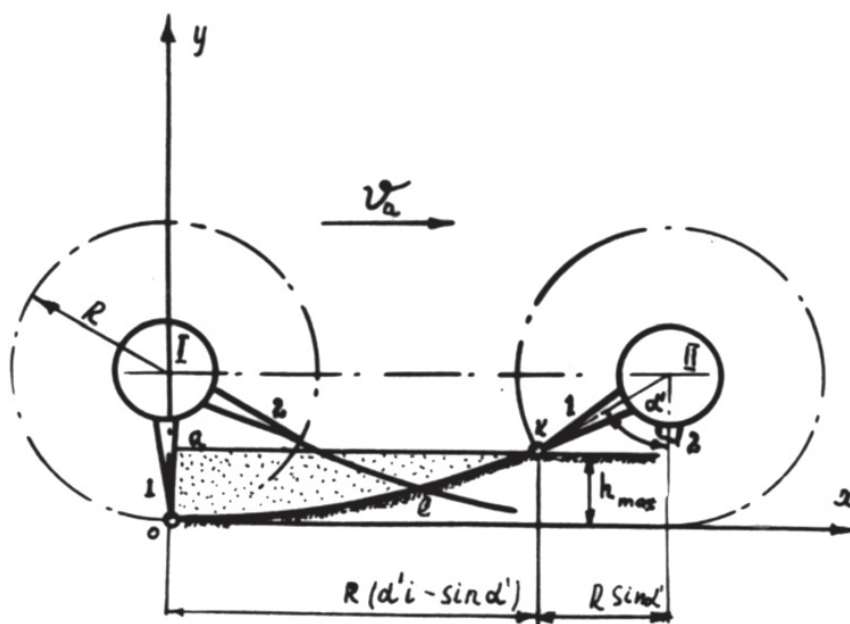


Рис. 1 Кинематика сепарирующего диска

В принятой системе координат и при заданном направлении скорости  $v_a$  движения агрегата конец пальца  $O$ , перемещаясь из положения 1 в положение 2, опишет часть дуги удлинённой циклоиды  $ok$  и повернется при этом на угол  $\alpha'$ . Конец пальца 2 опишет траекторию аналогичного типа, но смещённую по фазе на угол  $\alpha$ , равный углу между смежными пальцами 1, 2. На некоторой высоте (в точке  $e$ ) траектории пересекаются. Как отмечалось, эта точка имеет важное технологическое значение. Она определяет, в частности, отклонения глубины обработки от максимального заглубления пальца  $h_{\max}$ .

В параметрических уравнениях выразим  $x$  через  $y$ . Для этого, исключив параметр  $\alpha'$  из уравнения (2) и подставив его значение в уравнение (80), получаем:

$$\cos \alpha' = 1 - \frac{y}{R},$$

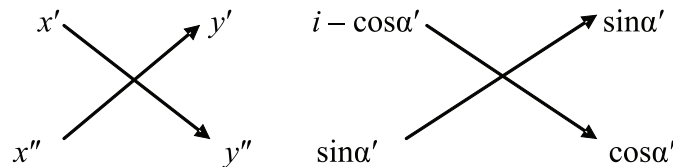
откуда

$$\alpha' = \arccos \left( 1 - \frac{y}{R} \right).$$

Подставляя правую часть этого равенства в уравнение (1), имеем:

$$x = Ri \cdot \arccos \left( 1 - \frac{y}{R} \right) - \sqrt{y(2R - y)}.$$

Полученное уравнение является трансцендентным, в котором  $y$  является сложным



найдем максимальное значение угла  $\alpha'$  поворота пальца до точки перегиба траектории и передаточное число  $i$ , соответствующее этому углу.

Приравняв решение определителя или числитель второй производной к нулю:

$$i \cos \alpha' - \cos^2 \alpha' - \sin^2 \alpha' = 0,$$

получаем:

$$i = \frac{1}{\cos \alpha'}. \quad (3)$$

Тогда угол  $\alpha'$  поворота пальца от вертикального радиуса до точки перегиба кривой будет равен:

$$\alpha' = \arccos \frac{1}{i}.$$

Если считать, что точка перегиба траектории находится в почве, а угол  $\gamma_{\max}$  касательной к ней совпадает с углом  $\theta$  скальвания

аргументом. Для решения его целесообразно  $y$  записать:

$$y = \frac{x(1 - \cos \alpha')}{\alpha' i - \sin \alpha'}.$$

Движение пальца в почве сопровождается ее скальванием. Если траектория движения конца пальца совпадает с линией скальвания, то его заглубление будет определяться этой линией. В этом случае линия скальвания почвы совпадает с касательной к траектории движения конца пальца, а угол скальвания – с углом наклона касательной. Углы скальвания определяются физико-механическими свойствами почвы, а углы наклона касательных к траекториям движения равны первым производным  $\frac{dy}{dx}$ .

Найдем значение угла  $\alpha'$  поворота пальца 1 в точке перегиба траектории движения и определим условия, при которых максимальный угол наклона касательной не превышает угла  $\theta$  скальвания почвы. Первая производная равна:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\sin \alpha'}{i - \cos \alpha'};$$

вторая производная:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{i \cos \alpha' - \cos \alpha' - \sin \alpha'}{i - \cos \alpha'}.$$

Записав решение определителя (по Е.Н. Ефимову [54]):

ния, то между углом  $\alpha'$  поворота пальца до точки перегиба и углом  $\theta$  скальвания имеется связь:

$$\alpha' = \frac{\pi}{2} - \theta \quad \text{при } \theta = \gamma_{\max}$$

$$i = \frac{1}{\cos \alpha'} = \frac{1}{\sin \theta}. \quad (4)$$

Таким образом, рациональное передаточное число определяется по уравнению (4). При увеличении передаточного числа тормоза угол наклона касательной в точке перегиба уменьшается. В этой связи важно знать промежуточные и экстремальные значения углов  $\gamma$  наклона касательной и углов  $\alpha'$  поворота пальца до точки перегиба при переменных передаточных числах  $I$  тормоза.

Для определения взаимосвязи текущих значений углов  $\gamma$  и  $\alpha'$  рассмотрим геометрическую модель работы диска (рис. 2). Здесь

OB – радиус диска; OP – мнимый радиус окружности, катящейся без скольжения относительно полюса P скоростей. По условию работы диска:

$$OP = Ri.$$

Используя выполненные построения, найдем соотношения между радиусом –

вектором  $R_a$  и  $R_b$ , а также углами  $\gamma_{max}$  и  $\alpha'$ , соответствующими точке перегиба циклоидальной кривой. Из  $\Delta BOD$  и  $\Delta BDP$  видно, что:

$$BD = BP \sin \gamma; \tag{5}$$

$$BD = R \sin \alpha'. \tag{6}$$

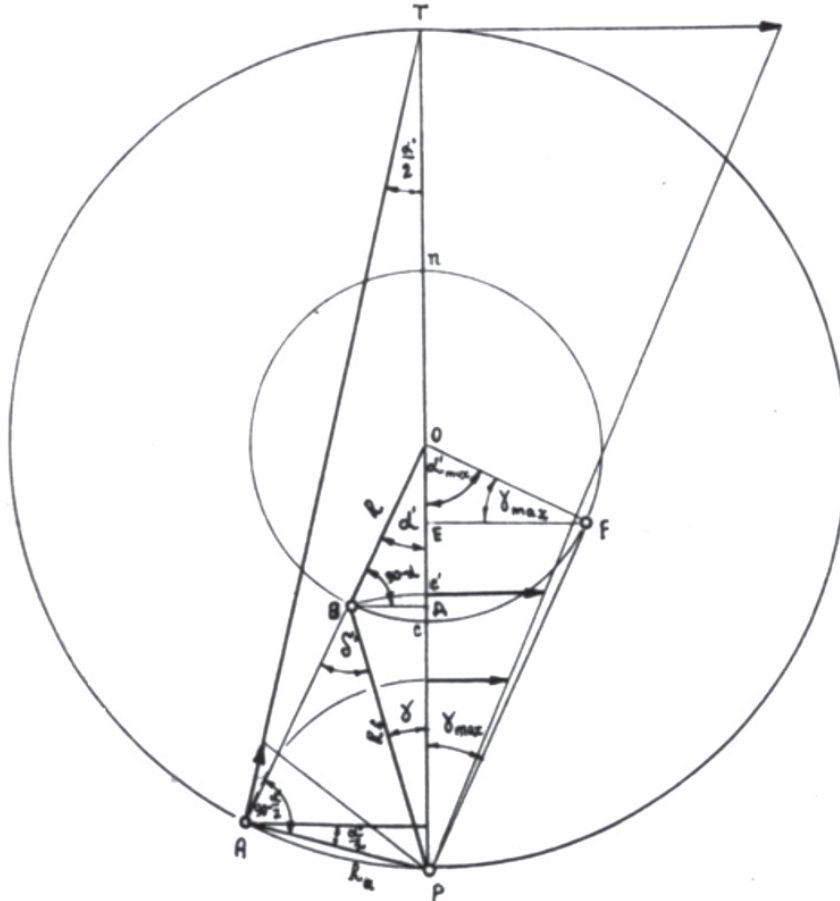


Рис. 2. К определению зависимости между углами  $\gamma$  и  $\alpha'$

Здесь  $\nu$  угол между радиусом-вектором BP и OP; в пределе он равен  $\nu_{max}$  и ограничен радиусами-векторами OP и PF.

Из уравнений (5) и (6) запишем:

$$R_b = BP = \frac{R \sin \alpha'}{\sin \nu}. \tag{7}$$

А из  $\Delta ATP$  соответственно:

$$R_a = AP = 2Ri \cdot \sin \frac{\alpha'}{2}. \tag{8}$$

Из соотношения сторон  $\Delta PBA$  получаем:

$$\frac{R_a}{R_b} = \frac{\sin \delta}{\sin \left( 90^\circ - \frac{\alpha'}{2} \right)}.$$

Здесь  $\angle APO$  равен  $90^\circ - \frac{\alpha'}{2}$ .

Заменяя  $R_a$  и  $R_b$  их значениями из уравнений (7) и (8), составим равенство:

$$\frac{2Ri \sin \frac{\alpha'}{2}}{\sin \delta} = \frac{R \sin \alpha'}{\sin \nu \sin \left( 90^\circ - \frac{\alpha'}{2} \right)}. \tag{9}$$

Где угол  $\delta$  равен:

$$\delta = \alpha' + \gamma.$$

Тогда уравнение (9) можно записать в виде:

$$\frac{2Ri \sin \frac{\alpha'}{2}}{\sin (\alpha' + \gamma)} = \frac{\sin \alpha'}{\sin \nu \cos \frac{\alpha'}{2}}.$$

После замены двойного угла получаем:

$$\frac{i \sin \alpha'}{\sin \alpha'} = \frac{\sin(\alpha' + \gamma)}{\sin \nu}$$

Откуда

$$\operatorname{ctg} \gamma = \frac{i - \cos \alpha'}{\sin \alpha'} \quad (10)$$

Уравнение (89) определяет функциональную взаимосвязь между параметрами  $\gamma$ ,  $i$ ,  $\alpha'$ .

Учитывая, что скорость конца пальца в любой точке кривой линии резания направлена по касательной к ней, можно записать: а уравнение нормали к касательной в точке конца радиуса имеет вид:

Изменения угла  $\gamma$  наклона касательной к траектории движения конца пальца в зависимости от угла  $\alpha'$  и передаточного числа  $i$

Угол поворота пальца, ° $\alpha'$	Значение углов $\gamma$ при $i$						
	1	1,5	2	3	4	5	6
0	90	0	0	0	0	0	0
5	87,0	9,8	4,8	2,4	1,7	1,2	1,0
10	85,0	19,5	9,7	4,8	3,3	2,5	1,8
15	82,0	25,7	14,2	7,3	4,8	3,7	2,8
30	75,0	38,0	23,8	13,3	9,2	6,8	5,5
45	67,3	38,5	28,8	17,2	12,2	9,4	7,40
60	60,0	40,8	30,0	19,2	14,0	10,8	8,7
75	52,2	38,3	28,8	19,3	14,3	11,7	9,5
90	45,0	33,7	26,7	18,3	14,2	11,3	9,4

При проектировании диска сепаратора необходимо, чтобы угол  $\alpha'$  наклона пальца в почве не совпадал (а был несколько больше угла  $\gamma$ ) с касательной к траектории движения в точке перегиба и углом  $\theta$  скалывания почвы.

$$K' = \frac{i - \cos \alpha'}{\sin \alpha'}$$

Перемножив  $K$  и  $K'$ , получим:

$$K' \cdot K = -1.$$

Отсюда следует, что угол  $PFO$  равен  $\frac{\pi}{2}$ ,

а радиус-вектор  $FP$  проходит всегда через точку полюса  $P$ .

Подставляя в уравнение (89) переменные значения  $i$ ,  $\alpha'$ , определяем модуль угла  $\gamma$  наклона касательной в пределах: для  $i = 1-6$  и  $\alpha' = 0-90^\circ$  (таблица).

### Выводы

Установлены аналитические соотношения технологических, кинематических и конструктивных параметров ротационных рабочих органов культиватора.