

ОБОСНОВАНИЯ ПРОФИЛЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ СОШНИКА

*С.Н. Капов¹, М. А. Адуов, К. К. Такабаев,
С. А. Нукушева*

Ставропольский аграрный университет, г.Ставрополь, Россия

Аннотация

Увеличение урожайности возделываемых культур является основной целью при решении большинства задач, связанных с усовершенствованием технологических процессов и рабочих органов сельскохозяйственных машин.

Известно, что по геометрической форме рабочие органы почвообрабатывающих орудий и посевных машин выполнены в виде плоских или криволинейных клиньев. К плоским клиньям относятся такие рабочие органы как лемеха, ножи, лапы плоскорезов, зубья борон, а к криволинейным - сферические диски борон, луцильники, отвалы плугов, окучники, а также формы рабочих поверхностей различных стоек, в том числе лаповых сошников.

В данной статье рассмотрено движение почвенного пласта по криволинейной поверхности сошника сеялки прямого посева. Из условия равномерного движения пласта по поверхности криволинейной поверхности сошника получены теоретические зависимости скорости и перемещения пласта от коэффициента трения f , угла постановки α , длины клина l и радиуса кривизны r . Эти зависимости служат основанием для проектирования профиля сошника.

Ключевые слова: рабочий орган, сошник, рабочий профиль сошника, поверхность клина, почвенный массив, сопротивление.

Введение

Новые влагоресурсосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур получают все более широкое распространение в мировой практике. Самая главная идея этих технологий – нейтрализация негативного влияния интенсивного земледелия на плодородие почвы, окружающую среду. Отличительная характеристика этой технологии – исключение механического воздействия на почву и почва полностью и посто-

янно находится под «прикрытием» [1]. Главная отличительная черта технологии прямого посева - использование рабочих органов, минимально разрыхляющие почву (дисковые, анкерные, чизельные). Эффективность такой обработки заключается в значительном снижении энергопотребления, трудовых и денежных затрат главным образом за счет отказа от вспашки и механической предпосевной обработки почвы [2].

Материалы и методы

В общем случае расчетная модель процесса взаимодействия плоского клина с почвенной средой представлена на рисунке 1. Считается, что при перемещении клина из точки D в точку D_0 на расстояние Δ происходит смещение почвенного массива из положения $ABCD$ в положение $A_0B_0C_0D_0$. В начале, массив с импульсом mV_1 вдавливается в еще не деформированную массу, а затем массив с импульсом mV_2 уплотняется. Напряжение смятия F_τ в точке D_0 больше, чем в точке D . Как только напряжение смятия превысит сопротивление почвы сдвигу, впереди лезвия клина возникнет плоскость сдвига AB (развивается трещина), направленная под углом ψ к дну борозды, и от пласта отделится

призмовидный почвенный массив размером $A_0B_0C_0D_0$.

Далее, после его отделения, почвенный массив скользит по поверхности плоского клина с коэффициентом трения F_{mp} , не претерпевая новых деформаций. Размеры отделившегося массива зависят физико-механических свойств почвы, толщины пласта (глубины обработки h) и угла α установки рабочей грани клина к горизонтали (к дну борозды). При этом, действующие со стороны клина суммарные элементарные силы почвенных частиц (массивов) сводятся к равнодействующей R , которая зависит от нормальной реакции на поверхности клина N и определяется как $R=N/\cos j$, где j - угол внешнего трения

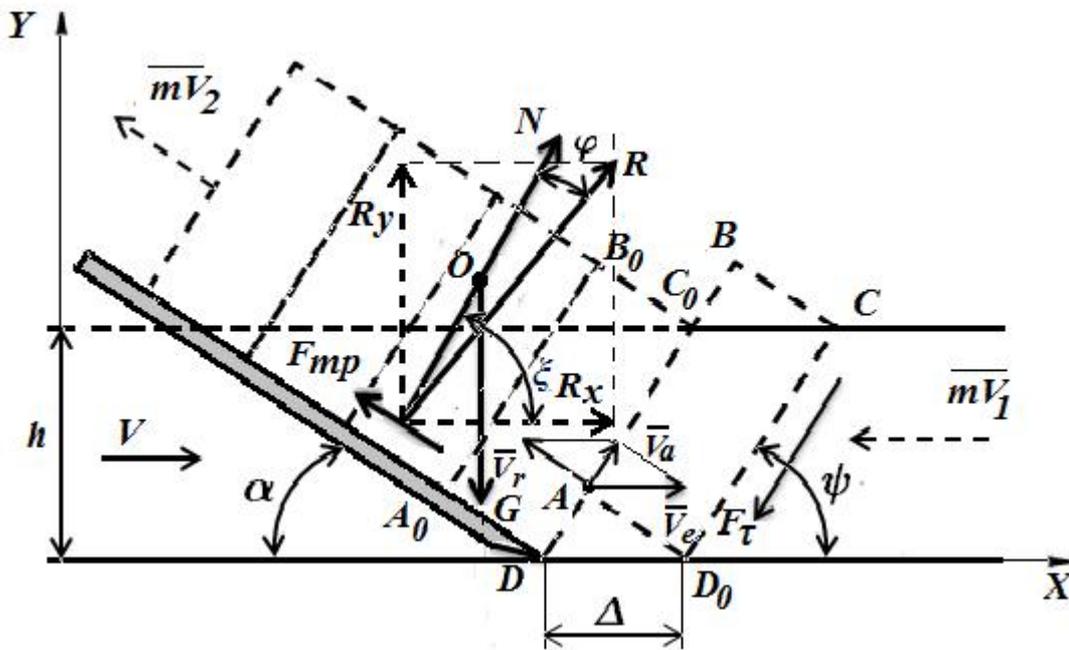


Рисунок 1- Расчетная модель процесса взаимодействия плоского клина с почвенной средой

Отметим, что для скольжения почвенного массива по рабочей поверхности клина необходимо выполнения условия $\xi > \varphi$, где $\xi = \pi/2 - \alpha$; φ – угол трения; α – угол установки (постановки) рабочей грани клина к горизонтали (к дну борозды). В случае если $\xi < \varphi$, то частица перемещается вместе с клином в направлении движения клина.

В отличие от обобщенной расчетной модели экспериментальными исследованиями установлено, что при взаимодействии плоского клина с почвой скорость формоизменения почвенного пласта в некоторый момент времени стремится к бесконечности, а инерционная составляющая сопротивления пласта и составляющая, связанная с изменением скорости деформации, рез-

ко возрастают. Вследствие этого увеличиваются энергозатраты на обработку почвы. Вместе с тем, снизить скорость деформации почвенного пласта возможно путем уменьшения угла α постановки клина к дну борозды. Однако с уменьшением угла α ($\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3$) при постоянной глубине обработки ($h = const$) длина l плоского клина, в соответствии с зависимостью $l = h/\sin(\alpha)$, возрастает ($l_1 < l_2 < l_3$) (рисунок 2). Это, в свою очередь, ведет к увеличению затрат на преодоление трения почвенного пласта о рабочую поверхность клина. Причем, в пределах рекомендуемых углов $\alpha = 15^\circ \dots 35^\circ$, длина l плоского клина может уменьшаться в среднем в 2 раза.

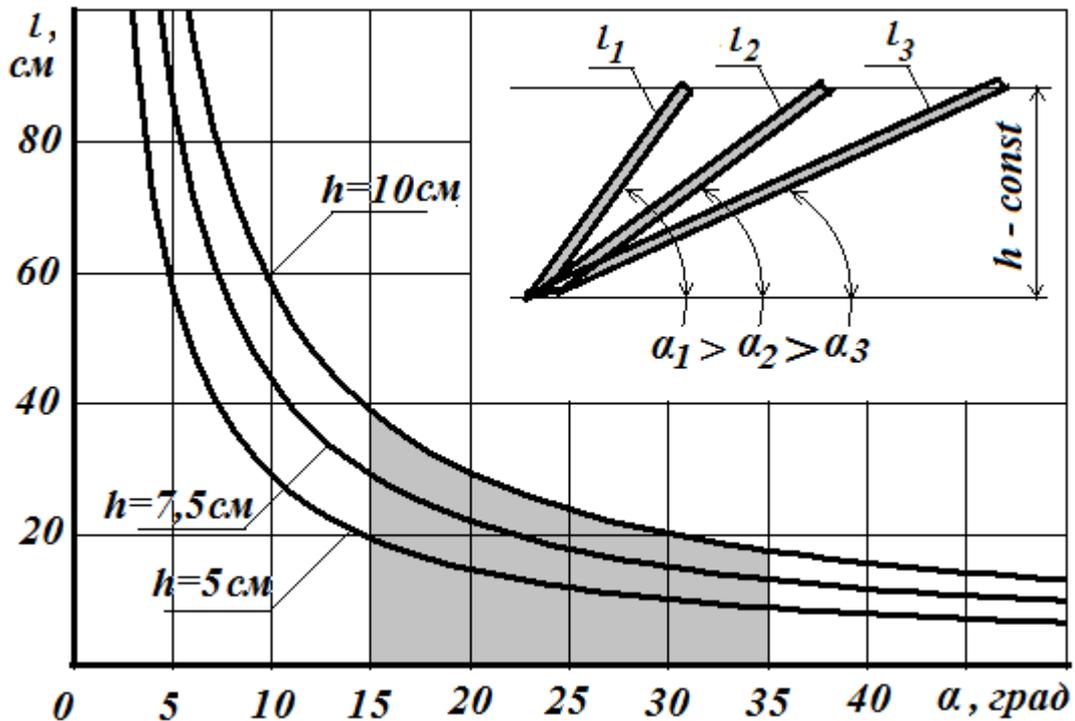


Рисунок 2 – Зависимость угла постановки α длина S плоского клина

Таким образом, разрешить существующее противоречие возможно, если разбить поверхность

клина на несколько последовательных клиньев с малым приращени-

ем угла, соответствующему малому приращению деформации $\Delta \epsilon$.

Так, согласно рисунку 3, в процессе воздействия плоского клина с углом α_1 на почвенную среду объемом $abcd$, пласт деформируется при переходе на рабочую поверхность с объемом cdc_1d_1 . Далее почвенный пласт, перемещаясь по плоской поверхности клина, не испытывает существенного воздействия со стороны клина. В дальнейшем воздействию клина с новым

углом α_2 на пласт приводит к его интенсификации перемещения по клину с гранью c_2d_2 . Многократное последовательное наращивание начального клина приведет к образованию многогранной поверхности $abb_1b_2...b_n$ и различными углами α_n . В конечном итоге, при достаточно малом приращении ($\Delta \alpha \ll 0$), поверхность клина из многогранной $abb_1b_2...b_n$ переходит в криволинейную, что соответствует непрерывности деформации почвы

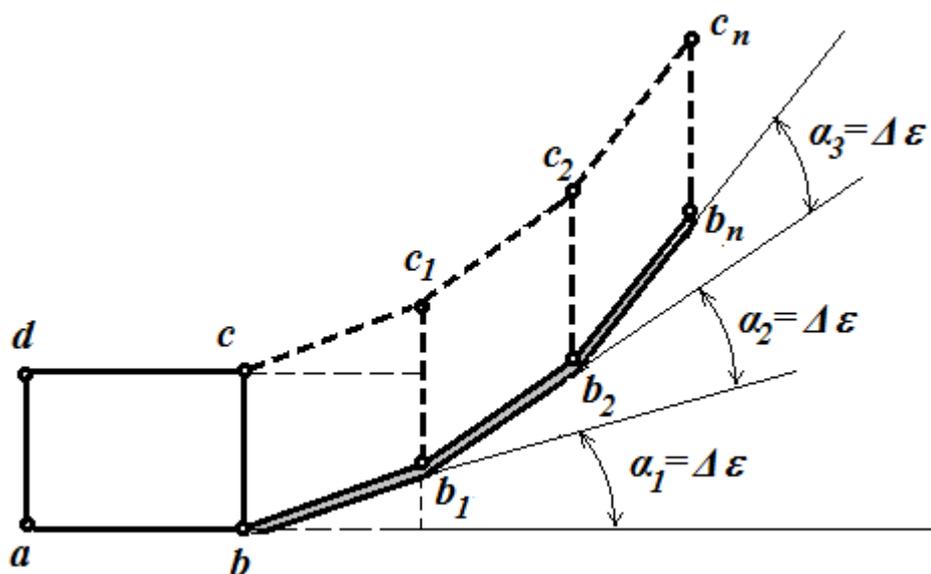


Рисунок 3 – Схема деформации почвенного пласта вогнутым клином с разными углами постановки α_n

Для определения параметров формы профиля лапового сошника рассмотрим математическое описание его профиля криволинейной поверхности (рисунок 4). Направление касательной изменяется при движении точки из M до M_1 по кривой. Для измерения скорости этого изменения возьмем касатель-

ные в концах некоторой дуги $\overset{\circ}{t}$ и $\overset{\circ}{t}_1$, найдем угол φ между ними и поделим этот угол на длину ΔS дуги MM_1 . Устремляя теперь точку M к точке M_1 , найдем предел отношения

$$\lim_{DS \rightarrow 0} \frac{q}{DS} = r$$

Величина r называется *кривизной* кривой в данной ее точке, и она определяется как предел отношения угла поворота касательной на дуге, стягивающейся к данной точке, к длине этой дуги. Кривизна r совпадает с коэффициентом k в формулах Френе – Серре [3]:

$$k = r = \left| \frac{dt^{\circledast}}{dS} \right| = \lim_{DS \rightarrow 0} \frac{|Dt|}{DS} = \lim_{DS \rightarrow 0} \frac{q}{DS}, \quad (1)$$

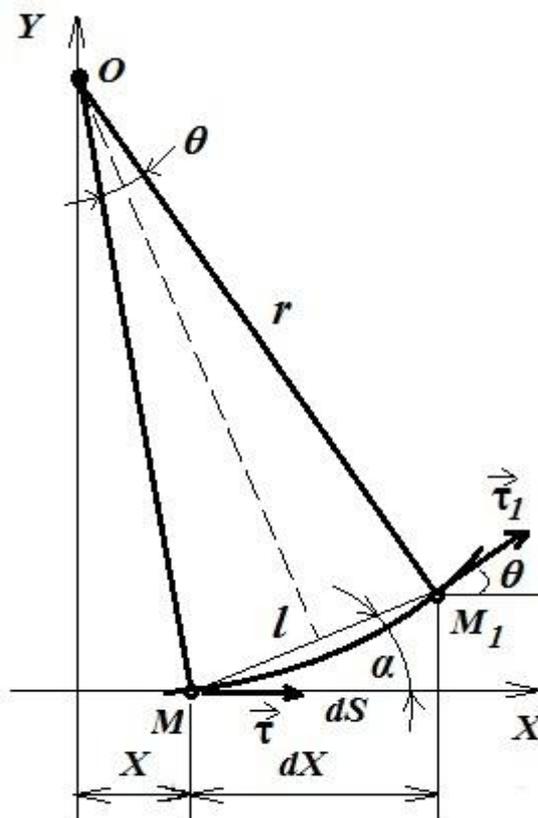


Рисунок 4 – Схема к анализу формы продольного профиля рабочей поверхности клина

Таким образом, при измерении скорости изменения направления касательной появляется возможность оценить кривизну r , которая показывает насколько отклоняется кривая по своей форме от формы прямой линии. Чем больше кривизна — тем сильнее это отклонение. Точка перегиба характеризуется обращением в нуль значение второй производной $\frac{d^2Y}{dX^2}$, а вместе с тем

и кривизны, то есть является точкой спрямления плоской кривой. Величина обратная кривизне есть радиус кривизны кривой r :

$$\frac{1}{r} = \kappa, \quad (2)$$

Знак кривизны совпадает со знаком производной $\frac{d^2Y}{dX^2}$ и определяет направление вогнутости кривой в сторону возрастания ординат.

Единичный радиус вектор $\bar{r}(t)$ точки m относительно какой-либо фиксированной точки будет сложной функцией времени $\bar{r}(t) = S(t)$. Из дифференциальной геометрии известны формулы Серре-Френе, устанавливающие связи между единичными векторами естественных осей и вектором-функцией кривой:

$$\frac{d\bar{r}}{ds} = \bar{t}, \frac{d\bar{t}}{ds} = \frac{1}{r}\bar{n} = \rho\bar{n}, \quad (3)$$

Используя определение скорости и формулы Серре-Френе [3], получим:

$$\bar{V} = \frac{d\bar{r}}{dt} = \bar{t} \times \frac{ds}{dt}; \frac{d\bar{t}}{ds} = \frac{d\bar{t}}{dq} \times \frac{dq}{ds}, \quad (4)$$

Если скалярно умножит определение (4) на единичные вектора, и угол между которыми составляет $\rho / 2 - \varphi$, то радиус кривизны характеризуется параметрами V и φ :

$$\frac{1}{r} = \frac{\varphi}{V}, \quad (5)$$

При взаимодействии с рабочей поверхностью клина почвенная частица приобретает скорость V и движется по траектории MM_1 (рисунок 4), которая обусловлена изменением угла взаимодействия между вектором скорости рабочей поверхности клина и вектором скорости почвенной частицы.

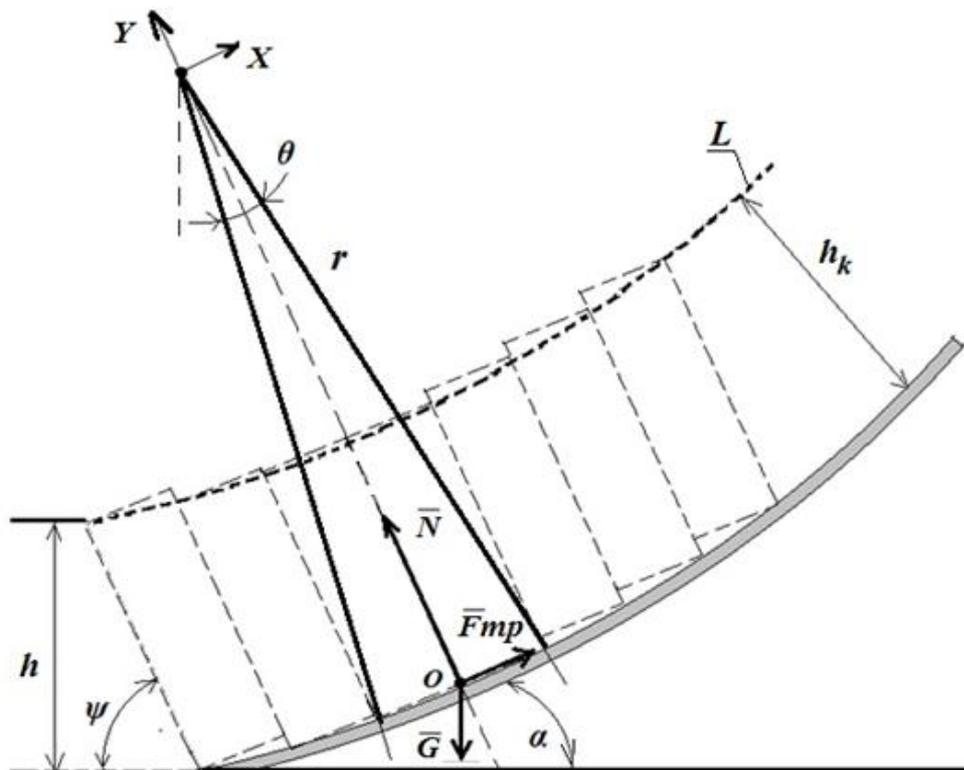


Рисунок 5–Расчетная схема процесса взаимодействия криволинейного клина с почвенной средой

Криволинейный клин более интенсивно действует на почвенную среду. У него угол α не постоянен, а изменяются в определенных пределах (рисунок 5). При воздействии на почву криволинейного клина, например с углом α , почвенный пласт деформируется при переходе на рабочую грань. В дальнейшем, перемещаясь по грани, пласт получает дополнительное воздействие со стороны кривизны клина, которая задается изменением угла α . Многократное после-

довательное наращивание угла клина приводит к образованию элементарных блоков, которые на поверхности клина размещаются по траектории L . Деформирующие свойства криволинейной поверхности зависят от характера изменения указанных углов α и ψ . Причем, толщина пласта перед клином h больше чем на клине h_k . С уменьшением кривизны поверхности клина величина h_k уменьшается.

Рассмотрим материальный баланс ($m\dot{V}^k = 0$), учитывая, что на клин с криволинейной поверхностью приложена система сил, действующих на элементарный пласт почвы (рисунок 5):

$$\dot{N} + \dot{G} + \dot{F}_{mp} = 0, \quad (6)$$

где \dot{N} - нормальная реакция почвенного пласта на поверхности клина; \dot{G} - гравитационная сила ($G=mg$); \dot{F}_{mp} - сила трения ($F_{mp}=fN$).

Проекция действующих сил на оси OX и OY позволяет соответственно получить:

$$mg \sin(\alpha) \cos(\varphi) - F_{mp} = 0, \quad (7)$$

$$N - mg \cos(\alpha) = 0, \quad (8)$$

Тогда материальный баланс примет вид:

$$m\dot{V} = mg \sin(\alpha) \cos(\varphi) - f mg \cos(\alpha), \quad (9)$$

После сокращения на величину m имеем уравнения [4]:

$$\dot{V} = g(\sin \alpha \cos \varphi - f \cos \alpha), \quad (10)$$

$$\frac{V^2}{r} = \dot{\varphi} V = g \sin(\alpha) \cos(\varphi), \quad (11)$$

Разделим (10) на (11) получим:

$$\frac{dV}{V} = -f \frac{\cos(\alpha)}{\cos(\varphi) \sin(\alpha)} d\varphi,$$

или

$$\frac{dV}{V} = -f \frac{\operatorname{ctg}(\alpha)}{\cos(\varphi)} d\varphi, \quad (12)$$

Проинтегрировав (12) имеем

$$\ln V = -f \operatorname{ctg}(\alpha) \int \frac{d\varphi}{\cos(\varphi)} + \ln C, \quad (14)$$

После преобразования (14) с учетом, что

$$\cos(\alpha) = \frac{1 - \frac{\ddot{\varphi}}{g} \frac{r}{2}}{1 + \frac{\ddot{\varphi}}{g} \frac{r}{2}}$$

получим [1]:

$$\ln(V) = -f \operatorname{ctg}(\alpha) \ln \left| \frac{1 + \frac{\ddot{\varphi}}{g} \frac{r}{2}}{1 - \frac{\ddot{\varphi}}{g} \frac{r}{2}} \right|, \quad (15)$$

$$\text{или } \ln(V) = q + f \times \text{ctg}(a) \times \ln \left| \frac{1 - \frac{\alpha}{\epsilon} \frac{q \ddot{\phi}^2}{2 \emptyset}}{1 + \frac{\alpha}{\epsilon} \frac{q \ddot{\phi}^2}{2 \emptyset}} \right| + \ln(C), \quad (16)$$

C – постоянная интегрирования.

В результате получим, что:

$$V = e^q \times \left| \frac{1 - \frac{\alpha}{\epsilon} \frac{q \ddot{\phi}^2}{2 \emptyset}}{1 + \frac{\alpha}{\epsilon} \frac{q \ddot{\phi}^2}{2 \emptyset}} \right|^{f \times \text{ctg}(a)}, \quad (17)$$

Учитывая, что $q=0$ и $V=V_0$ получим $C = V_0$ и формула (17) примет вид

$$V = V_0 \times \left| \frac{1 - \frac{\alpha}{\epsilon} \frac{q \ddot{\phi}^2}{2 \emptyset}}{1 + \frac{\alpha}{\epsilon} \frac{q \ddot{\phi}^2}{2 \emptyset}} \right|^{f \times \text{ctg}(a)}, \quad (18)$$

Выразив угол смежности q через радиус кривизны r и стягивающую хорду l , что соответствует длине сошника (рисунок 4), найдем, что

$$\begin{aligned} \text{tg} \frac{q}{2} &= \frac{l}{2h}, & h &= \sqrt{r^2 - \frac{\alpha}{\epsilon} \frac{\ddot{\phi}^2}{2 \emptyset}} = \frac{l}{2} \sqrt{4r^2 - l^2} \\ \text{tg} \frac{q}{2} &= \frac{l}{\sqrt{4r^2 - l^2}} \end{aligned}$$

Отсюда

$$q = 2 \times \text{arctg} \frac{\frac{\alpha}{\epsilon} \frac{l}{\sqrt{4r^2 - l^2}} \frac{\ddot{\phi}^2}{2 \emptyset}}, \quad (19)$$

Результаты и обсуждения

Заменив значения q в выражении (18) из выражения (19), окончательно получим зависимость для определения скорости движения почвенного пласта по сошнику с криволинейной поверхностью:

$$V = V_0 \times e^{\frac{2 \arctg \frac{l}{\sqrt{4r^2 - l^2}}}{\alpha}} \left| 1 - \frac{l^2}{2 \times r^2} \right|^{f \times \arctg(\alpha)}, \quad (20)$$

Формула (20) устанавливает влияния коэффициента трения f , угла постановки α , длины клина l и радиуса кривизы r на изменения скорости V движения почвенного элемента по криволинейной поверхности клина.

$$S = V_0 \times e^{\frac{2 \arctg \frac{l}{\sqrt{4r^2 - l^2}}}{\alpha}} \left| 1 - \frac{l^2}{2 \times r^2} \right|^{f \times \arctg(\alpha)}, \quad (21)$$

Окончательная формула (21) устанавливает влияния коэффициента трения f , угла постановки α , длины клина l и радиуса кривизны r на изменения профиля S поверхности лапового сошника при движении почвенного элемента по криволинейной поверхности. Используя диапазон глубины заделки

Для определения профиля поверхности рабочего органа лапового сошника проинтегрируем функцию (20) по времени в интервале от 0 до t :

семян и технологические свойства почв, нами спроектирован сошник для прямого посева и он в настоящее время проходит лабораторно-полевые испытания при посеве пшеницы на территории научно-производственного кампуса КАТУ им С. Сейфуллина

Список литературы

1. Матюшков М.И., Азаров Н.К. Машины и технологии возделывания зерновых культур при почвозащитной системе земледелия. Шортанды: Проспект. - 2002.-С.6-7.
2. Адуов М.А. и др. Исследование процесса равномерного распределения семян в подсошниковом пространстве "Вестник КрасГАУ" Краснодарского аграрного государственного университета. Краснодар. - 2012. - №9(72) - С. 166-172.
3. Рашевский П.К. Курс дифференциальной геометрии. Государственное издательство технико-теоретической литературы. – М. 1956. -420 с.
4. Воронков Н. М. Курс теоретической механики. Государственное издательство физико-математической литературы. М. 1961г, с. 428.

Түйін

Топырақ өңдейтін және сепкіш машиналардың жұмыс органдары геометриялық формасы бойынша жазық немесе қисық сызықты сына ретінде жасалған және қисық сызықтыларға тырмалардың сфералық дисктері, сыдыра жыртқыштар, соқалардың қайырмалары, түптегіштер және солардың ішінде табандысіңіргіштер де жатады. Осы мақалада тікелей себетін сепкіштің сіңіргішінің қисық сызықты беті бойынша топырақ қабатының қозғалуы қарастырылған. Сіңіргіштің қисық сызықты беті бойынша топырақ қабатының бірқалыпты жылжу шартынан жылдамдықтың және топырақ қабатының ығысуының үйкеліс коэффициентінен f , қою бұрышынан, сынаның ұзындығынан l және қисықтық радиусынан r теориялық тәуелділіктері алынды. Бұл тәуелділіктер сіңіргіштің профилін жобалауға арналған негіз болып табылады.

Summary

Geometrically, the working organs of the tillers and sowing machines are made in the form of flat or curved wedges and curvilinear include spherical disks of harrows, scallops, plow blades, hillocks and, including paw coulters. In this article, the movement of the soil layer along the curved surface of the coulter of a direct seeder is considered. From the condition of uniform motion of the formation along the curvilinear surface of the opener, the theoretical dependences of the velocity and displacement of the formation on the friction coefficient f , the setting angle, the wedge length l , and the radius of curvature r were obtained. These dependencies serve as the basis for designing the opener profile.