

ДИЗАЙН-РАЗРАБОТКА ГЕОМЕТРИИ ОБВОДА ФОРМООБРАЗУЮЩЕЙ ЗНАКОПЕРЕМЕННОЙ КРИВОЙ ПОВЕРХНОСТИ СКОБЫ

У статті запропонована методика проектування робочої поверхні розпушувача (копача коренеплодів), в основі якої закладена крива другого порядку.

THE GEOMETRY PROJECTING OF FORM-GENERATING SIGN- ALTERNATING CURVE OF ENCLOSURE OF THE CRAMPON SURFACE

The methodology of the projecting of loosing device working surface (in the root crop digger) is presented in the article. In the basis of the methodology the second range curve is used.

Постановка проблемы. Выкапывание корнеплодов есть наиболее энергоёмкая операция, которая происходит путем вырезания пласта почвы вместе с корнеплодом, а выделенная смесь земли и корнеплодов на специальных устройствах рыхлится, разделяясь и сепарируясь. Таким образом, рабочий процесс выкапывания должен иметь как минимум две последовательные операции – разрушение почвы и создание усилия для выделения корнеплода без травмирования и с минимальными потерями, при этом затраты энергии должны быть минимальны [1-3].

В связи с этим возникла идея интенсивного обжатия почвы, армированной корнеплодами, еще в монолите, до выделения ее на дневную поверхность. В основу технологии новой конструкции положено знакопеременное действие специальных криволинейных деформаторов двояковыпуклой кривизны [4]. При взаимодействии пласта почвы с таким рабочим органом пласт сначала сжимается, а затем растягивается.

Выполнение предъявляемых агротехнических требований должно обеспечиваться, если рабочая поверхность скобы будет иметь подрезающие, крошащие и рыхлящие элементы, соответствующие фазам процесса взаимодействия рабочего органа с почвой [5]. Для определения геометрических параметров указанных элементов, соответствующих требуемому технологическому воздействию на почву разрабатываем геометрическую модель наперед заданных условий деформации почвенного пласта.

Формулировка целей статьи. Целью настоящих исследований является обоснование геометрических параметров формы кривой поверхности скобы для снижения сопротивления рабочего органа.

Основная часть. С геометрической точки зрения технологическое воздействие рабочего органа на почвенный пласт можно разделить на отдельные воздействия, в основе которых лежит двугранный или трехгран-

ный клин (или комплексное одновременное воздействие этих двух клиньев) [6]. В соответствии с этим будем рассматривать плоскую геометрическую модель для груди рабочей поверхности скобы (плоскость симметрии), воздействующей как двугранный клин, и пространственную геометрическую модель для боковины рабочей поверхности, воздействующей как трехгранный клин.

На основании геометрического анализа процесса взаимодействия клина с почвой устанавливается зависимость между геометрическими и технологическими параметрами отдельных функциональных элементов трехгранного клина (рабочего органа). Основная нагрузка при первичной деформации пласта приходится на носок рабочего органа. В связи с этим, характер первичной деформации зависит главным образом от формы кривой в плоскости симметрии рабочего органа и от постановки в ней рабочей плоскости клина α (клин "вхождения" в почву). Основное воздействие двугранного клина α (рис. 1), расположенного в плоскости XOZ , состоит в подрезании, деформировании и разрушении пласта в процессе его поднимания вперед и вверх.

Геометрическая модель наперед заданных условий деформирования и разрушения почвенного пласта представляет собой совокупность единичных векторов элементарных сил: подрезания – R_1 , крошения – R_2 и рыхления – R_3 (рис. 2). С учетом механических свойств почвы (величина угла внешнего трения) эти направления сил дают направления нормалей (касательных плоскостей) к соответствующим функциональным отсекам рабочей поверхности.

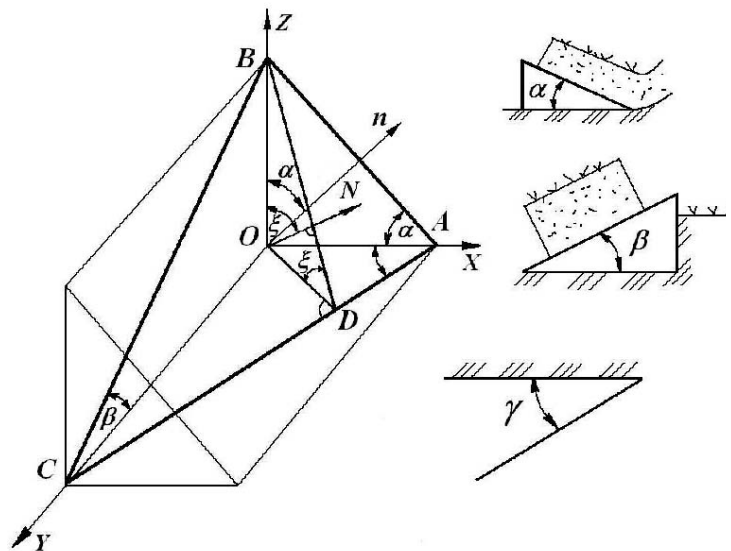


Рис. 1 – Схема к геометрическому анализу воздействия рабочего органа на почву

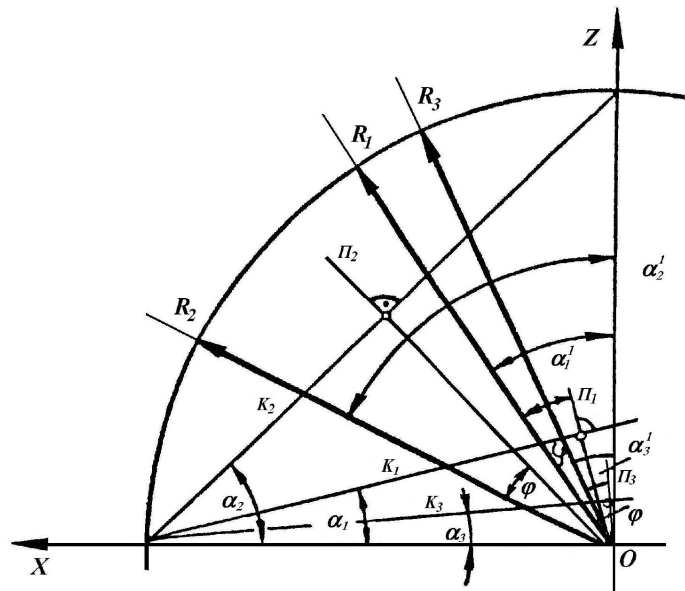


Рис. 2 – Геометрическая модель силового воздействия на почвенный пласт

Используя аналог связи между технологическими параметрами заданного процесса обработки почвы (направления единичных векторов), геометрическими параметрами поверхности (семейство нормалей и касательных) и свойствами почвы (твёрдость, угол внешнего трения) получаем геометрическую модель силового воздействия рабочего органа на почву, определяющую наперед заданные условия деформации почвенного пласта грудью рабочей поверхности рыхлителя (плоским клином).

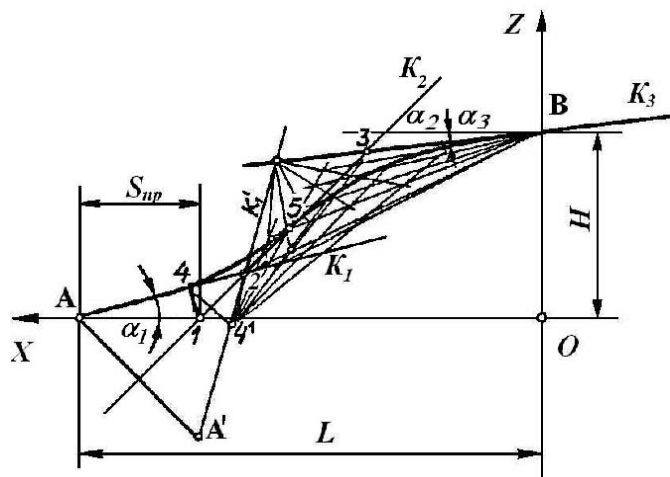


Рис. 3 – Схема конструирования формы исходной кривой

На основе геометрической модели наперед заданных условий деформации почвенного пласта разрабатывается аппарат конструирования формы кривой в плоскости симметрии рыхлителя скобы (рис. 3).

Алгоритм конструирования формы кривой:

1) проводим координатные оси OX и OZ и откладываем на них в масштабе заданную длину и высоту рабочей поверхности ($OA = L$; $OB = H$); из точки A на оси OX откладываем S_{np} – предельное перемещение носка рабочего органа (клин α_1) до момента первичного разрушения.

2) Величину S_{np} можно определить по формуле Ю.Ф. Новикова [5, 7]:

$$S_{np} = \frac{2^n \cdot a^{n+1} \cdot G_{np} \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin^{n+1} \cdot (\alpha_1 + \varphi)}{A \sin^n \alpha_1 \sin^{n+1} \varphi [1 - \sin(\alpha_1 + \varphi)]} \quad (1)$$

где A – коэффициент являющийся функцией начального объемного веса почвы ρ_0 (для влажности 15...20% может быть принят в среднем $A = 45,7 \rho_0$);

α – глубина обработки почвы;

φ – угол вектора R_2 ;

φ_1 – угол внешнего трения;

G_{np} – предельное нормальное напряжение.

3) из точки A под углом α_1 проводим касательную K_1 , а из точки B под углом α_3 – касательную K_3 ;

Величину S_{np} можно также определить экспериментально для клина α_1 или взять приближенно, исходя из того, что наибольшие усилия при деформации почвы действуют на расстоянии, равном $1/3 \div 1/4$ общей длины рабочей поверхности, начиная от ее носка. На этом участке необходимо сохранить минимальные углы резания α_1 ;

4) из точки I под углом α_2 проводим касательную K_2 ;

5) для построения кривой, сопрягающей две прямые K_1 и K_3 соответственно в точках A и B (рис. 3), представим эту кривую в виде двух дуг кривых второго порядка, сопрягающихся между собой по касательной K_2 (гладкость первого порядка) и имеющих в точке касания равные модули радиусов кривизны, но разные центры кривизны. Касательная K_2 пересекает касательные K_1 и K_3 соответственно в точках 2 и 3 и служит единственным параметром, однозначно определяющим искомые кривые второго порядка, сопрягающиеся между собой по этой прямой.

6) примем прямую $1, 2$ за ось конуса и повернем вокруг нее прямую A^1 до совпадения с плоскостью чертежа. При этом прямая займет положение K^1_1 , а точка A^1 – положение A .

7) строим кривую второго порядка по пяти геометрическим условиям - трем касательным K^1_1, K_2, K_3 и двум точкам A и B , расположенным соответственно на касательных K^1_1 и K_3 .

8) по теореме Бриансона [3] для трехсторонника, описанного вокруг кривой второго порядка, находим точку прикосновения 5 ;

9) по трем точкам $A^1, B, 5$ и касательным K^1_1 и K_3 (K^1_1 – касательная к дуге $A^1, 5$ в точке A^1) с помощью теоремы Паскаля [1] строим необходимое количество точек кривой второго порядка;

10) участок построенной кривой $5, A^1$ повернем вокруг прямой $1, 2$ до положения $5, A$. Тогда дуги кривых второго порядка $A, 5$ и $5, B$ будут сопрягаться по прямой K_2 и иметь в точке 5 равные модули радиусов кривизны;

11) аналитическое определение координат точек кривой.

Уравнение рассматриваемой кривой имеет вид:

$$x = \frac{\gamma \cdot x_a \cdot t^2 + x_b \cdot t + x_c}{\gamma \cdot t^2 + t + 1} \quad (2)$$

$$y = \frac{\gamma \cdot y_a \cdot t^2 + y_b \cdot t + y_c}{\gamma \cdot t^2 + t + 1}, \quad (3)$$

где $x_a, y_a, x_b, y_b, x_c, y_c$ – координаты точек A, B и C соответственно (рис. 4).

При этом A и C – точки касания прямой AB и CB к кривой второго порядка, γ – коэффициент кривизны, учитывающий физико-механические свойства почвы.

При задании координаты X определяем координату Y по следующему алгоритму. Из уравнения (2), или $\gamma \cdot t^2(x - x_a) + t(x - x_b) + (x - x_c) = 0$, определяем величину параметра t в искомой точке

$$t = \frac{x_b - x \pm \sqrt{(x_b - x)^2 - 4\gamma(x - x_a) \cdot (x - x_c)}}{2\gamma(x - x_a)}, \quad (4)$$

так как внутри треугольника ABC , $t_1 > 0$ из двух значений t_1 и t_2 выбираем значение больше нуля и подставляем в уравнение (3).

Конструируемая кривая состоит из двух состыкованных кривых второго порядка. Разработанная форма кривой по характеру ориентации векторов, определяющих направления линий действия элементарных сил имеет три зоны:

а – образующую параллельный пучок – отрезок $A, 4$;

б – дающую область схождения – отрезок $4, 5$;

в – образующую расходящуюся систему линий – отрезок $5, B$.

Полученную на основе выполнения наперед заданных агроусловий деформации почвенного пласта, кривую обвода сечения поверхности в плоскости симметрии необходимо проверить по условиям скольжения почвенного пласта по рабочей поверхности без сгуживания при работе скобы.

Начало сгуживания раскрывшейся почвы на рабочей поверхности зависит от глубины обработки, коэффициента внешнего трения и начального угла резания. Для определения влияния этих факторов на закономерность изменения формы конструируемой кривой применим известную методику [5]. Положим для силы сопротивления R_i , которую испытывает рабочий орган при движении (рис. 5), линейную зависимость изменения по глубине:

$$R_i = K \cdot d_i,$$

где K – коэффициент пропорциональности, кг/см.

Нормальная и касательная составляющие силы R_i равны:

$$N_i = R_i \cdot \sin \alpha_i; \quad T_i = R_i \cdot \cos \alpha_i, \quad (5)$$

сила трения F_i определяется из уравнения:

$$F_i = R_i \sin \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi.$$

Необходимое условие движения почвы по клину

$$T_i > F_i, \text{ или } K \cdot d_i \cos \alpha_i > K \cdot d_i \sin \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

обозначим разность $T_i - F_i$ через $\Delta P_i = K \cdot d_i (\cos \alpha_i - \sin \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi)$, тогда становится очевидным, что с уменьшением глубины (т.е. чем выше почва находится на рабочей поверхности) движущая сила ΔP_i уменьшается. Следовательно, почва по рабочей поверхности движется замедленно, что приводит

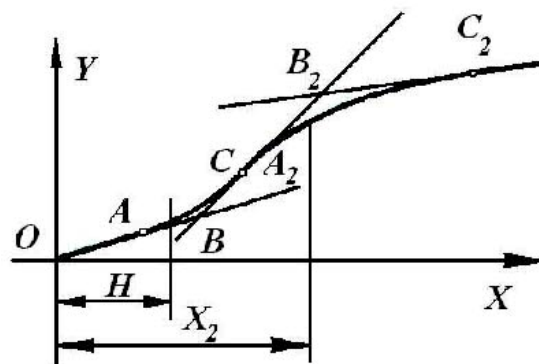


Рис. 4 – Схема к аналитическому определению координат точек кривой

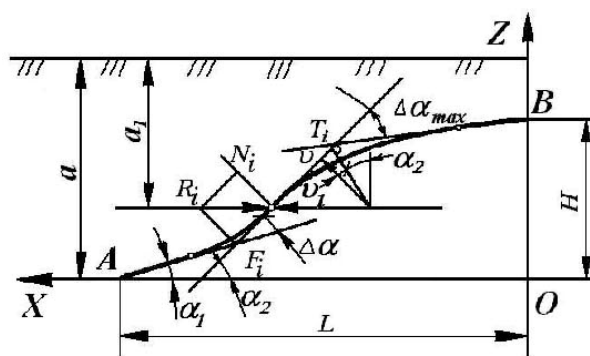


Рис. 5 – Геометрическая модель условий скольжения почвы по рабочей поверхности

к сгруживанию и образованию перед рабочим органом ядра сжатой почвы.

С увеличением угла резания от 10° до 45° средняя относительная скорость перемещения почвы по поверхности клина уменьшается. При малых α она примерно равна скорости клина, в то время как абсолютная скорость во время изменения α от 10° до $30-35^\circ$ резко возрастает, а затем повышается менее интенсивно по мере дальнейшего увеличения до 90° абсолютная скорость приближается к максимальному значению, равному скорости движения клина. С уменьшением угла резания среднее значения t_2 возрастает, достигая максимума при $\alpha \rightarrow 0$.

Если параметры клина и показатели физико-механических свойств почвы постоянны, то как относительная, так и абсолютная средние скорости перемещения почвы с увеличением скорости клина возрастают, причем, t_2 увеличивается более интенсивно.

Устранить явление сгруживания и обеспечить нормальную работу орудия возможно за счет получения переменной величины касательных сил по высоте рабочей поверхности с таким расчетом, чтоб относительная скорость перемещения почвы в любой точке рабочей поверхности была равна или выше скорости на лезвии. При этом движущая сила должна быть постоянной или возрастать по высоте рабочей поверхности:

$$\Delta P_i \geq \lambda \cdot \alpha_i,$$

где α_i – текущее значение глубины (изменяется от глубины хода лезвия до i -ой глубины);

λ – коэффициент пропорциональности.

Коэффициент λ можно определить на основании уравнения для движущей силы, считая $\Delta P_1 = \text{const} \alpha_1$, $\Delta P_i = \Delta P_1$.

$$\begin{aligned} \alpha(\cos \alpha_1 - \sin \alpha_1 \cdot \text{tg} \varphi) &= \alpha_i(\cos \alpha_i - \sin \alpha_i \text{tg} \varphi), \\ \alpha/\alpha_1 &= \cos(\alpha_i + \varphi)/\cos(\alpha_1 + \varphi), \quad \lambda = 1/\alpha_1. \end{aligned} \quad (6)$$

На основании полученных аналитических зависимостей закон изменений формы кривой обвода сечения рабочей поверхности в плоскости симметрии обуславливается глубиной обработки, коэффициентом трения и начальным углом резания. Все указанные факторы были учтены при конструировании формы кривой, на основании геометрической модели наперед выданных условий деформации почвенного пласта и полученная кривая удовлетворяет условиям скольжения почвы. Начало сгруживания разрушившейся почвы соответствует точке перегиба конструируемой кривой. Если до точки перегиба угол получает приращение $\Delta\alpha$, то после начала сгруживания, чтобы почва могла двигаться по рабочей поверхности, угол уменьшается на α_1 .

Выводы. Вышеприведенные исследования применены для разработки знакопеременной криволинейной поверхности скобы для выкапывания

корнеклубнеплодов. Новая форма поверхности будет способствовать снижению тягового сопротивления рабочего органа и улучшению степени крошения почвы.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Булгаков В.М. Теорія бурякозбиральних машин. – К.: НАУ, 2005. – 245 с.
2. Кобець А.С., Сокол С.П. Конструювання поверхні робочого органу типу скоби для викопування коренеплодів // Вісник ДДАУ. – Дніпропетровськ, 2007. – № 2. – 208 с.
3. Павлоцкий А.С. Конструирование поверхностей рабочих органов почвообрабатывающих орудий по наперед заданным условиям деформации почвенного пласта: Дис... канд. техн. наук. – К., 1974. – 218 с.
4. Горячкин В.П. Собрание сочинений: Изд. 2-е. – М.: Колос, 1968. – Т. 2. – 455 с.
5. Корабельский В.И. Обоснование формы и параметров почвообрабатывающих органов с помощью геометрического моделирования основных технологических требований: Дис... докт. техн. наук: 05.05.01. – «Механизация с.-х. производства». – Челябинск, 1988. – 450 с.
6. Гевко Р.Б. Підвищення функціонально-експлуатаційних параметрів і виробниче впровадження викопувально-очисних пристроїв бурякозбиральних машин: Дис... докт. техн. наук: 05.20.04 – «Сільськогосподарські та меліоративні машини». – Тернопіль, 1997. – 348 с.
7. Напрямки вдосконалення бурякозбиральної техніки / Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Синій С.Р., Булгаков В.М. – Луцьк: Вид-во ЛДТУ, 1999. – 168 с.