

Конструкція і теорія сільськогосподарських машин
Construction and theory of agricultural machines

УДК 631.3.02:531.01(075.8)

Обоснование параметров чизельных рабочих органов

С.И.Корниенко¹, В.Ф.Пащенко², В.И.Мельник³, Е.Н.Огурцов⁴¹ *Институт овощеводства и бахчеводства Национальной академии аграрных наук Украины (пос. Селекционное, Харьковская обл., Украина), ovoch.iob@gmail.com*^{2,3} *Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенка (г. Харьков, Украина), ² victor_melnik@ukr.net, ³ mashinovikoristannia@ukr.net*⁴ *Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева (г. Харьков, Украина), office@kнау.kharkov.ua*

С целью минимизации тягового сопротивления, путем применения методов вариационного исчисления, получены рациональный профиль долота и лобовая поверхность наральника чизельного рабочего органа. Обоснована схема расстановки таких рабочих органов на орудии. Экспериментально показана энергетическая эффективность усовершенствованных рабочих поверхностей при сохранении качественных показателей рыхления почвы.

Ключевые слова: чизель, долото, стойка, профиль, почва, деформация, рыхление, сводообразование, тяговое сопротивление.

Введение. Чизелевание приводит к разуплотнению подпахотной подошвы или предотвращает ее образование [1, 2, 3] и, по сравнению со вспашкой, улучшает технико-экономические показатели почвообрабатывающих агрегатов (удельный расход топлива и производительность) примерно на 20% [4].

С агротехнической точки зрения следует выделить два основных варианта чизелевания: с применением широких наральников — на глубину 16-35 см и с применением узких наральников — на глубину 30-70 см [4]. Существуют различные точки зрения и подходы к обоснованию профиля и конструкции чизельных рабочих органов [4, 5, 6].

Постановка проблемы. Для теоретического обоснования геометрических параметров чизельных рабочих органов, а также схемы их расстановки, следует выделить четыре задачи:

- 1) рациональный профиль долота чизельной лапы, использующегося без наральника;
- 2) рациональный профиль долота чизельной лапы с учетом совместной работы с наральником;
- 3) обоснование профиля крыла наральника чизельного рабочего органа и построение его лобовой поверхности;

4) обоснование схемы расстановки чизельных рабочих органов.

При решении поставленных задач необходимо достигнуть минимума тягового сопротивления орудия. В таком случае для их решения предлагается использовать методы вариационного исчисления [7, 8, 9].

Рациональный профиль рабочих поверхностей определяли, задавшись условием, что его кривая проходит через фиксированные точки с заданным углом наклона в начальной точке. В этом случае вариационная задача формулируется так: среди множества кривых, проходящих через две фиксированные точки и выходящих из начальной под заданным углом, необходимо определить кривую, которая соответствует профильной линии долота чизельного рабочего органа с минимальным тяговым сопротивлением.

Первая задача. При локальном рыхлении почвы нет необходимости совместно с долотом использовать наральник и, тем самым, увеличивать тяговое сопротивление чизельного рабочего органа. В таком случае, рациональный профиль долота целесообразно искать с одной плавающей граничной точкой.

Угол наклона касательной в начальной точке искомой кривой задавался на основании соответствующего угла наклона долота серийного рабочего органа чизельного плуга ПЧ-2,5. Однако, анализ зависимостей максимальных напряжений на растяжение в почве, возникающих под действием клина, показывает, что даже при относительно высоком допустимом напряжении $[\sigma]_p = 8 \text{ кН/м}^2$ при глубинах хода клина от 0,16 до 0,20 м оно достигается при угле, значение которого находится между 24° и 30° .

В таком случае, постановку задачи можно уточнить следующим образом. Среди множества кривых, выходящих из заданной точки под углом 27° и проходящих через вторую граничную точку, смещающуюся по прямой $Z = Z_k$, необходимо найти кривую, которая описывает профиль долота, обеспечивающий ему минимальное тяговое сопротивление.

Для решения задачи воспользуемся методом прямого вариационного исчисления. Искомый профиль задаём в виде уравнения, отвечающего условиям постановки задачи [4]:

$$Z = -C_1 \{ \exp[C_2 X^2 (X_k - X)] - 1 \} + Z'_0 X + \frac{X^2 (Z_k - X_k Z'_k)}{X_k^2} \quad (1)$$

где: C_1, C_2 — искомые коэффициенты.

Значения постоянных коэффициентов C_1, C_2 и граничной точки X_k , находим из решения следующей интегральной системы уравнений [4]:

$$\frac{\partial R_x}{\partial C_i} = \hat{a} \rho \vartheta^2 \int_{x_0}^{x_k} \left\{ \frac{(f + Z') Z'}{Z_k (f + Z'^2)} \times \frac{\partial Z}{\partial C_i} + \left[1 - \frac{Z - H_0}{Z_k} \right] \times \left[\frac{(3 + Z'^2)(f + Z')}{(1 + Z'^2)^2} + \frac{Z'}{1 + Z'^2} \right] \right\} Z'^2 dx + F|_{x=x_k} \frac{\partial \tilde{O}_i}{\partial \tilde{N}_i} = 0; \quad (2)$$

$$i = 1, 2; \quad x_k = \frac{F_1(f)}{2C_1 C_2} + \left[\left(\frac{F_1(f)}{2C_1 C_2} \right)^2 + \frac{z_k}{C_1 C_2} \right],$$

где

$$F_1(f) = C_1 C_2 x_k + \frac{z_k}{x_k}; \quad Z' = -2X C_1 C_2 \left(X_k - \frac{3}{2} X \right) \times \{ \exp[C_2 X^2 (X_k - X)] - 1 \} + Z'_0 + \frac{2X (Z_k - X_k Z'_0)}{X_k^2}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial C_1} = -\exp[C_2 X^2 (X_k - X)] + 1;$$

$$\frac{\partial Z}{\partial C_2} = -C_1 X^2 (X_k - X) \exp[C_2 X^2 (X_k - X)];$$

$$\frac{\partial Z'}{\partial C_1} = -2X C_2 \left(X_k - \frac{3}{2} X \right) \times \{ \exp[C_2 X^2 (X_k - X)] - 1 \};$$

$$\frac{\partial Z'}{\partial C_2} = -2X C_1 \left(X_k - \frac{3}{2} X \right) \times \{ \exp[C_2 X^2 (X_k - X)] \times [C_2 X^2 (X_k - X) + 1] - 1 \}.$$

Систему уравнений (2) решали численным методом при $f = 0,5$; $Z_0 = 0,51$; $X_0 = 0$; $Z_0 = 0$; $Z_k = 0,3 \text{ м}$; $H_0 = 0$.

В результате решения системы уравнений (2) получили значения коэффициентов C_1, C_2 и конечной координаты X_k , которые составили соответственно 1,425; 2,850 и 0,260 м.

Уравнение кривой, описывающей профиль долота минимального тягового сопротивления, выглядит следующим образом:

$$Z = -1,425 \{ \exp[2,85x^2(0,26 - x)] - 1 \} + 0,51x + 2,47x^2 \quad (4)$$

Полученный профиль долота чизельного рабочего органа показан на рис. 1.

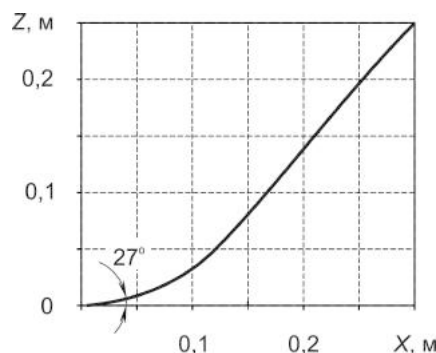


Рис. 1. Профиль долота чизельной лапы .

Вторая задача. На комбинированной машине АГРО-3 количество рабочих органов устанавливается от одного до пяти, в зависимости от условий, в которых она применяется. Чизельные лапы машины предназначены для взрыхления почвы на глубину до 16-18 см, а другие рабочие органы измельчают комочки почвы, тем самым создаются наиболее благоприятные условия заделывания семян сельскохозяйственных культур в почву. Большая часть энергетических усилий для приведения в действие комбинированной машины тратится чизельными лапами, так как они первыми действуют на необработанную почву и обеспечивают необходимую глубину. Чизельные лапы изготовляют в виде долота с широким наральником, которые потом соединяют со стойкой.

Обоснование геометрического профиля наральника чизельной лапы проводили в два этапа. На первом этапе обосновывали профиль

долота наральника с учетом обеспечения необходимого углубления в почву при минимальных расходах энергии, на втором — профиль наральника минимальной энергоемкости по результатам исследований, связанных с обоснованием долота.

Энергетический функционал, который определяет тяговое сопротивление чизельной лапы, можно представить так:

$$R_x = \hat{\alpha} \rho \vartheta^2 \int_{x_0}^{x_k} \left[1 - \frac{Z - H_0}{Z_k} \right] \frac{Z^3 (f + Z')}{1 + Z'^2} dX \quad (5)$$

Уравнения кривой будем искать в виде уравнения, которое бы удовлетворяло заданную постановку задачи, то есть кривая должна проходить через координаты предельных точек с заданным углом касательной в исходной точке:

$$Z = -C_1 \{ \exp[C_2 X^2 (X_k - X)] - 1 \} + Z'_0 X + \frac{X^2 (Z_k - X_k Z'_0)}{X_k^2}, \quad (6)$$

где C_1, C_2 — искомые коэффициенты.

Тогда:

$$Z' = -2XC_1 C_2 \left(X_k - \frac{3}{2} X \right) \times \{ \exp[C_2 X^2 (X_k - X)] - 1 \} + Z'_0 + \frac{2X(Z_k - X_k Z'_0)}{X_k^2}. \quad (7)$$

После введения в уравнение (5) выражений (6) и (7) задача сводится к определению коэффициентов C_1 , и C_2 . Для этого необходимо взять производные от полученных уравнений по коэффициентам и приравнять их к нулю:

$$\frac{\partial R_x}{\partial C_i} = \hat{\alpha} \rho \vartheta^2 \int_{x_0}^{x_k} \left\{ \frac{(f + Z') \cdot Z}{Z_k (f + Z'^2)} \cdot \frac{\partial Z}{\partial C_i} + \left[1 - \frac{Z - H_0}{Z_k} \right] \left[\frac{(3 + Z'^2)(f + Z')}{(1 + Z'^2)^2} + \frac{Z'}{1 + Z'^2} \right] \cdot \frac{\partial Z}{\partial C_i} \right\} Z'^2 dx = 0, \quad (8)$$

$i = 1; 2.$

В результате решения на персональном компьютере системы уравнений (8) при $H_0 = 0$; $X_k = 0,5$ м; $Z = 0,3$ м; $f = 0,5$ м; $Z_0 = 0,57$ м; $X_0 = 0$; $Z_0 = 0$ получаем значения коэффициентов C_1 , и C_2 , которые, соответственно, равны 1,160 и 1,298.

Тогда искомый профиль долота описывает уравнение:

$$Z = -1,16 \{ \exp[1,298 X^2 (0,5 - X)] - 1 \} + 0,57 X + 0,06 X^2. \quad (9)$$

Кривая линия, построенная по уравнению (9), отображает профиль долота чизельного рабочего органа (рис. 2).

Третья задача. Наральник чизельного рабочего органа состоит из двух симметричных крыльев, которые работают в равных условиях.

Поэтому для определения профиля наральника достаточно рассмотреть одно крыло. При этом для обеспечения необходимого углубления чизельной стойки и получения ее минимальной энергоемкости профиль долота, расположенного на продленные оси наральника, сохранен таким, какими он был обоснован при решении вариационной задачи в плоской постановке.

На поверхности крыла наральника выделяем элементарную площадку, на которую действует удельное давление почвы q и удельная сила трения dF . Последняя направлена в сторону движения пласта почвы на поверхности наральника. Однако, профиль поверхности наральника нам неизвестный, и определить закономерность движения пласта почвы по нему трудно. Поэтому для упрощения решения задачи, будем считать, что элементарная сила трения направлена по касательной к искомой поверхности и находится в плоскости, параллельной плоскости XYZ . Последнее предположение основывается на том, что крыло наральника расположено близко к лемеху лобового резания.

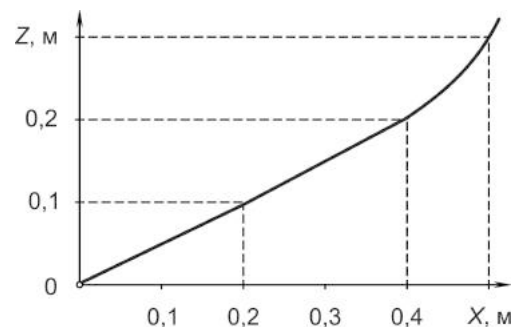


Рис. 2. Рациональный профиль долота чизельного рабочего органа.

Постановку вариационной задачи формулируем следующим образом. Из большого количества поверхностей $Z = f(x, y)$, которые проходят через точки O, C, B и A , найти ту, которая бы обеспечила функционалу (10) минимум. Для решения задачи используем метод вариационного исчисления Ритца и метод конечных элементов.

Энергетический функционал для определения тягового сопротивления крыла наральника имеет вид:

$$R_x = \int_0^{X_a} \int_0^{Y_{ci}} (q_x + dF) dX dY \quad (10)$$

$$q_x = \rho \vartheta^2 \left[1 - \frac{Z}{H} \right] \frac{Z_x^4}{(1 + Z_x'^2) \cdot (1 + Z_x'^2 + Z_y'^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (11)$$

$$dF = f \rho \vartheta^2 \left[1 - \frac{Z}{H} \right] \frac{Z_x^3}{(1 + Z_x'^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (12)$$

где: H — глубина хода крыла наральника.

Спроектируем искомую поверхность на плоскость XOY (рис. 3). Уравнения линий, которые ограничивают проекцию поверхности крыла, выглядят так:

$$x = 0; \quad x = a; \quad y = 0; \quad y = b. \quad (13)$$

Кусочно-линейную аппроксимацию искомой поверхности представляем в виде:

$$Z = \sum_{k=1}^m C_k \varphi_k, \quad (14)$$

где: C_k — искомые коэффициенты; φ_k — базисные функции.

Базисные функции являются линейными, кусочно-непрерывными, равняются единице в узлах и нулю по области определения. Базисные функции определяются для всех элементов m , которые имеют связи с узлом k :

$$\varphi_k = \sum_{n=1}^m \varphi_k^{l^0}, \quad (15)$$

где $m = 20$.

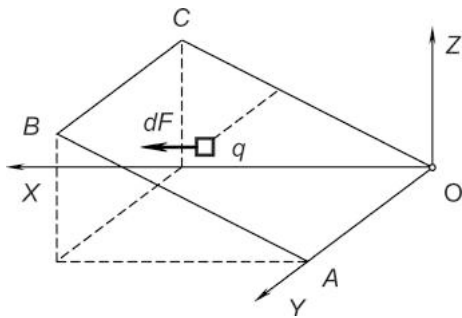


Рис. 3. Схема к обоснованию профиля крыла наральника.

Присваиваем номера узлам i, j и k , строго сохраняя порядок движения последовательности против часовой стрелки.

Система функций формы имеет вид:

$$\begin{aligned} \varphi_i^{l^0} &= -\frac{1}{2S} [(X - X_j) \cdot (Y_k - Y_j) - \\ &- (Y - Y_j) \cdot (X_k - X_j)], \quad \text{при } (X, Y) \in l^0; \quad (16) \\ \varphi_i^{l^0} &= 0, \quad \text{при } (X, Y) \notin l^0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi_j^{l^0} &= -\frac{1}{2S} [(X - X_k) \cdot (Y_i - Y_k) - \\ &- (Y - Y_k) \cdot (X_i - X_k)], \quad \text{при } (X, Y) \in l^0; \quad (17) \\ \varphi_j^{l^0} &= 0, \quad \text{при } (X, Y) \notin l^0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi_k^{l^0} &= -\frac{1}{2S} [(X - X_i) \cdot (Y_j - Y_i) - \\ &- (Y - Y_i) \cdot (X_j - X_i)], \quad \text{при } (X, Y) \in l^0; \quad (18) \\ \varphi_k^{l^0} &= 0, \quad \text{при } (X, Y) \notin l^0. \end{aligned}$$

Для нахождения значений коэффициентов C_k , которые бы обеспечили функционалу (10)

минимальное значение, продифференцируем уравнение (10) по C_k , приравняв их к нулю:

$$\frac{\partial R_x}{\partial C_k} = \int_0^{X_a} \int_0^{Y_{ci}} \frac{\partial (q_x + dF)}{\partial C_k} dXdY = 0, \quad (19)$$

$$k = 1, 2, \dots, 20.$$

Решения выполнялись на персональном компьютере при $X_a = 0,33$ м; $Y_{ci} = 0,14$ м; $f = 0,5$; $dX = 0,065$; $dY = 0,035$; $Z_1 = 0,08$; $Z_2 = 0,03$; $Z_3 = 0,05$; $Z_4 = 0$; $Z_5 = 0$; $Z_{12} = 0$; $Z_{13} = 0$; $Z_{17} = 0,08$; $Z_{20} = 0,08$; $H = 0,16$ м.

В результате решения системы уравнения (19), находим значения искомых коэффициентов и определяем значение функции Z_k (рис. 4).

Четвертая задача. Есть теретические предпосылки к обоснованию эффективности локального чизелевания, когда рабочие органы чизеля располагаются существенно реже, чем в серийных машинах.

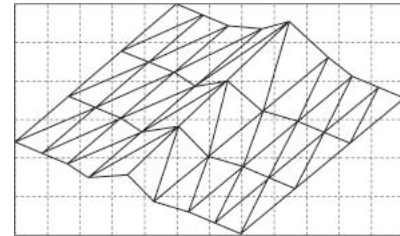


Рис. 4. Профиль наральника чизельного рабочего органа.

Опираясь на теорию сплошных сред [10, 11], можно предполагать, что почва находящаяся над относительно ровным подпахотным горизонтом (традиционное чизелевание), с течением времени самоуплотняется интенсивнее, чем в случае, когда подпахотный горизонт представляет собой чередующиеся рытвины (локальное чизелевание). Такое явление связано с процессами сводообразования (зависания почвы между парами наклонных стенок каждой рытвины).

Тут есть закономерность — чем глубже чизелевание, тем реже должны располагаться рабочие органы чизеля. Глубина локального чизелевания — больше традиционного. Взаимосвязь глубины обработки с максимальным расстоянием между соседними рабочими органами локального чизеля обосновывается созданием таких условий, когда вершины рытвин достигают разуплотненного слоя почвы (поверхности традиционного подпахотного горизонта), но не образуют ровных площадок (нетронутых территорий традиционного подпахотного горизонта).

Увеличение глубины обработки почвы ведёт к повышению затрат энергии и ухудшает крошение почвы. Уменьшение глубины обработки почвы вызывает необходимость более плотной

расстановки чизельных рабочих органов с целью исключения огрехов между ними. Это также увеличивает затраты энергии на обработку почвы и на забивание рабочих органов пожнивными остатками и сорняками.

Деформация почвы под действием наральников чизельных рабочих органов распространяется под углом. Поэтому конструктивное обоснование системы расстановки чизельных рабочих органов является важным для совершенствования рабочего процесса комбинированной машины. Анализ процесса работы чизельных лап на машине АГРО-3 показывает, что их задача — обеспечивать заданную глубину хода плоскорезущих лап в условиях повышенной плотности почвы, а также создать условия для улучшения накопления в почве влаги и воздуха. В связи с этим, нет необходимости перекрытия деформаций в почве, которые распределяются под воздействием чизельных лап.

На рис. 5. приведена схема распространения деформации в почве под действием чизельных рабочих органов.

Исходя из приведенной геометрии, можно определить расстояние между чизельными рабочими органами по формуле:

$$l_H = l_n + 2h \cdot ctg\psi + B_H \quad (20)$$

где l_H — расстояние между долотами чизельных рабочих органов; l_n — расстояние между обработанными полосами на поверхности поля; B_H — ширина долота чизельного рабочего органа; h — глубина хода чизельных рабочих органов.

Глубина хода чизельных рабочих органов и расстояние между обработанными полосами в условиях локального рыхления почвы определяется природно-климатическими условиями зоны, состоянием почвы и требованиями выращиваемой культуры.

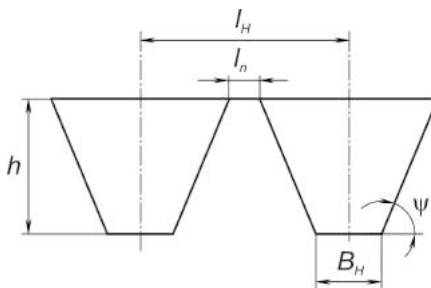


Рис. 5. Схема к обоснованию расстояния между чизельными рабочими органами.

С одной стороны, увеличение такого расстояния способствует снижению затрат энергии на обработку почвы, с другой — ограничивается необходимостью создания условий для поддержания плодородия почвы. Поэтому выбор ра-

ционального соотношения между глубиной рыхления и расстоянием между взрыхленными полосами имеет важное эколого-экономическое значение, особенно, в условиях систем минимальной обработки почвы. Для решения этой проблемы необходимо провести специальные комплексные агрономические исследования.

Для комбинированной почвообрабатывающей машины АГРО-3 количество чизельных рабочих органов в зависимости от условий работы может устанавливаться от одного до пяти. При такой расстановке лап расстояние между взрыхленными полосами может регулироваться в пределах от 0,3 до 3 м.

Экспериментальные исследования по обоснованию параметров чизельных рабочих органов комбинированной машины АГРО-3 проводились в лабораторно-полевых условиях на полигоне кафедры механизации и электрификации сельскохозяйственного производства Харьковского НАУ им. В.В. Докучаева. Критерием качественных показателей был структурный состав почвы после возделывания его серийными и экспериментальными долотами с широкими наральниками.

Структурный состав почвы после возделывания серийными и экспериментальными наральниками приведен в табл. 1.

Таблица 1. Структурный состав почвы после возделывания серийным и экспериментальным наральником

Тип наральника	Фракции, мм					Коеф. структурности
	>30	30-20	20-10	10-0,25	<0,25	
Серийный	13,3	11,85	11,9	62,55	0,35	1,64
Экспериментальный	11,5	11,1	14,85	62,1	0,29	1,71

Анализ данных таблицы показывает, что коэффициент структуры почвы после его возделывания чизельными серийными и экспериментальными наральниками имеет почти одинаковое значение. Энергетические показатели серийных и экспериментальных наральников оценивали величиной тягового сопротивления.

Установлено, что экспериментальное долото чизельного рабочего органа по сравнению с серийным имеет меньшее тяговое сопротивление приблизительно на 18 %. Усовершенствование профиля наральника обеспечивает снижение тягового сопротивления чизельного рабочего органа до 35 %.

Выводы. Полученные результаты показывают, что усовершенствованные по энергетиче-

ским показателям профили долота и наральника чизельных рабочих органов обеспечивают прежнее качество обработки почвы при одновременном снижении тягового сопротивления орудия на 18-35%.

Литература

1. Дринча В.М. Агротехнические аспекты развития почвозащитных технологий: Монография / В.М. Дринча, И.Б. Борисенко, Ю.Н. Плещачёв. – Под. ред. Кряжкова В.М. – Волгоград: Перемена, 2004. – 145 с.

2. Ревякин Е.Л. Чизелевание почвы: состояние, перспективы и проблемы / Е.Л. Ревякин, Т.П. Нино // Техника и оборудование для села. – 2005. – № 11. – С. 18-21

3. Ревякин Е.Л. Чизелевание почвы: состояние, перспективы и проблемы / Е.Л. Ревякин, Т.П. Нино // Техника и оборудование для села. – 2005. – № 12. – С. 26-29.

4. Пащенко В.Ф. Теория воздействия рабочих органов орудий на почву: Монография / В.Ф. Пащенко, С.И. Корниенко, Н.П. Гусаренко // – Харьков: ХНАУ, 2013. – 89 с.

5. Коршиков А.А. О глубоком рыхлении почвы / А.А. Коршиков, А.А. Михайлин // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2003. – № 4. – С. 28-30.

6. Труфанов В.В. Глубокое чизелевание почвы / В.В. Труфанов. – М: Агропромиздат, 1989. – 140 с.

7. Пащенко В.Ф. О параметрах рабочих органов комбинированной машины / В.Ф. Пащенко, И.Н. Дорожко // Совершенствование конструкций, улучшение ремонта и эксплуатации сельскохозяйственной техники: сб. науч. тр. Харьковского с.-х. института им. В.В. Докучаева. – Т 312. – Харьков, 1985. – С. 15-19.

8. Пащенко В.Ф. Механико-технологические и технические основы снижения энергоёмкости механизированных процессов подготовки почвы к посеву: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук / В.Ф. Пащенко. – Харків, 1982. – 20 с.

9. Пащенко В.Ф. Вплив локального розпушення ґрунту на його фізико-механічні властивості / В.Ф. Пащенко, М.П. Гусаренко, С.О. Дьяконов, Є.М. Огурцов // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільськогосподарства ім. П. Василенка. Вип. 107, Т. 1 / Харків: Друкарня ФОП Червяк В.Є., 2011. – С. 198-203

10. Мельник В.И. Предельное равновесие сплошных неупругих сред: Монография. – Харьков: Издательство КП «Типография № 13», 2006. – 367 с.

11. Мельник В.И. Предельное равновесие связанных и сыпучих сред: Монография. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012, – 357 с.

Анотація

Обґрунтування параметрів чизельних робочих органів

С.И.Корниенко, В.Ф.Пащенко, В.И.Мельник, Е.Н.Огурцов

З метою мінімізації тягового опору, шляхом застосування методів варіаційного обчислення, одержані раціональний профіль долота і лобова поверхня наральника чизельного робочого органу. Обґрунтовано схему розстановки таких робочих органів на знарядді. Експериментально показана енергетична ефективність удосконалених робочих поверхонь при збереженні якісних показників розпушування ґрунту.

Ключові слова: чизель, долото, стійка, профіль, ґрунт, деформація, розпушування, склепоутворення, тяговий опір.

Abstract

Justification settings chisel working bodies

S.I.Kornienko, V.F.Pashhenko, V.I.Melnik, E.N.Ogurcov

In order to minimize the traction resistance through the use of variational methods, grounded rational bit profile and frontal surface naralnika chizelnogo working body. Grounded circuit arrangement of working bodies to implement. Experimentally demonstrated improved energy efficiency work surfaces while maintaining quality indicators soil loosening.

Keywords: chisel, chisel, stand, profile, soil deformation, loosening, arching, draft resistance.

Представлено: В.И.Пастухов / Presented by: V.I.Pastuhov

Рецензент: И.В.Морозов / Reviewer: I.V.Morozov

Подано до редакції / Received: 06.12.2014