

Влияние формы дискового ножа на защемление материала Influence of the shape of disk knife on the pinching of material

И. Д. КОБЯКОВ¹, д-р техн. наук
А. В. ЕВЧЕНКО¹, канд. техн. наук
Е. В. ДЕМЧУК², канд. техн. наук

¹ Тарский филиал Омского государственного аграрного университета имени П. А. Столыпина, Тара, Россия, doc-kid@yandex.ru

² Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, Омск, Россия, demchykev@mail.ru

I. D. Kobyakov¹, DSc in Engineering
A. V. Evchenko¹, PhD in Engineering
E. V. Demchuk², PhD in Engineering

¹ P. A. Stolypin Omsk State Agrarian University, Tara branch, Tara, Russia, doc-kid@yandex.ru

² P. A. Stolypin Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia, demchykev@mail.ru

При основной обработке почвы плугами общего назначения круглые дисковые ножи не обеспечивают надежное резание, при этом увеличивается тяговое сопротивление плуга, снижаются производительность и качество его работы. Цель исследования — повышение эффективности работы, качества обработки почвы и снижение энергоемкости плугов общего назначения, оснащенных дисковыми ножами. Изучены различные конструкции ножей с целью изыскания оптимальной формы, обеспечивающей надежное защемление растительной и соломистой массы. Приведена формула для определения угла защемления многоугольного диска в зависимости от глубины обработки и количества углов в многоугольнике. Исследования показали, что минимальный угол защемления имеют шестиугольные дисковые ножи, поэтому именно такая форма рациональна. Определены условия работы, при которых стебли соломистой массы не выскальзывают из-под лезвия ножа при резании. Графически исследованы траектории движения лезвий шестиугольного и круглого ножей при различных расположениях мгновенного центра вращения. Получена эмпирическая формула, и построены зависимости коэффициента защемления от расположения мгновенного центра вращения диска. Установлено, что с уменьшением фиктивного диаметра ножа коэффициент защемления увеличивается, повышается качество защемления сельскохозяйственных материалов. В результате исследования получены зависимости, показывающие, что зоны надежного защемления и резания линейно зависят от кинематического параметра. При глубине обработки почвы 0,08—0,12 м эффективность защемления шестиугольного ножа по сравнению с круглым повышается в 1,8—2 раза.

Ключевые слова: основная обработка; плуг; угол защемления; коэффициент защемления; шестиугольный нож.

During the primary cultivation by means of general-purpose ploughs, the circular disk knives do not provide a reliable cutting; with that, the traction resistance of plough is increased, productivity and quality of its work are reduced. The purpose of the research is to increase the operational efficiency, the quality of soil cultivation and to reduce the energy intensity of general-purpose ploughs equipped with disc knives. Different designs of knives are studied in order to find the optimal shape providing a reliable pinching of plant and straw mass. A formula for determining the angle of pinching of a polygonal disc depending on the cultivation depth and number of angles in the polygon is given. The studies show that the hexagonal disk knives have the minimum angle of pinching, thus this shape is rational. The operating conditions are defined, in which the stalks of straw mass do not slip out of the knife blade when cutting. Motion paths of blades of hexagonal and circular knives at different positions of the instantaneous center of disk rotation are studied graphically. An empirical formula is obtained; dependences of pinching coefficient on the position of instantaneous center of disk rotation are constructed. It is found that with decreasing of nominal diameter of a knife the pinching coefficient is increased, and the quality of pinching of crop materials is improved. As a result of the research, the dependences are obtained showing that the areas of reliable pinching and cutting linearly depend on the kinematic parameter. With the cultivation depth of 0.08–0.12 m, the efficiency of pinching of hexagonal knife is increased by 1.8–2 times compared to the circular one.

Keywords: primary cultivation; plough; angle of pinching; pinching coefficient; hexagonal knife.

Введение

Обработка почвы — важнейший и наиболее энергоёмкий элемент практически всех технологий возделывания с.-х. культур. На нее расходуется от 30 до 40 % всей энергии, потребляемой в сельском хозяйстве. Для основной обработки почвы широко применяются многочисленные конструкции плугов общего назначения. Подавляющее их большинство оснащено круглыми дисковыми ножами, от работы которых зависят качественные и энергетические показатели плуга.

Как показывает практика, унифицированная круглая форма дискового ножа не обеспечивает качественное резание, при этом почвенно-растительная масса сгущается перед диском. В результате нарушаются агротехнические требования, увеличивается тяговое сопротивление плуга, снижаются производительность и качество его работы, нередко возникают отказы в работе, в т.ч. и полная неработоспособность.

Цель исследования

Цель исследования — повышение эффективности работы, качества обработки почвы и снижение энергоёмкости плугов общего назначения, оснащенных дисковыми ножами.

Материалы и методы

В ходе исследования проанализированы углы защемления с.-х. материалов круглым и многоугольными дисковыми ножами. Определены условия защемления почвенно-соломистой массы при различных кинематических параметрах и зависимости коэффициента защемления от фиктивного диаметра ножа.

Результаты и их обсуждение

При обработке почвы плугом круглые дисковые ножи не обеспечивают качественное разрезание растительных и солоmistых скоплений, ворох полностью не защемляется (не режется), а перекачивается перед ножом или смещается в сторону от лезвия. Для устранения этих недостатков предложен ряд конструкций ножей, которые изучены с целью изыскания оптимальной формы, обеспечивающей надежное защемление почвенно-растительной и солоmistой массы.

Угол защемления многоугольного диска зависит от глубины обработки и количества углов в многоугольнике [1]:

$$\alpha_{\min} = 90^\circ - \arctg \left[\left(\frac{h-R}{\sqrt{2Rh-h^2}} - \operatorname{tg} \left(\frac{180^\circ}{n} \right) \right) / \left(1 + \frac{h-R}{\sqrt{2Rh-h^2}} \operatorname{tg} \left(\frac{180^\circ}{n} \right) \right) \right],$$

где α_{\min} — минимальный угол защемления, град.; h — глубина обработки, м; R — радиус диска, м; n — количество углов в многоугольнике.

В результате расчетов получены зависимости угла защемления от формы ножа и угла его поворота при заглублении ножей в почву на 0,12 м (рис. 1, б). Анализ полученных данных показал, что 8-ми и 10-угольные ножи имеют углы α , равные соответственно 45 и 50°. Стандартный круглый нож диаметром 400 мм имеет угол $\alpha = 67^\circ$. Минимальный угол защемления $\alpha = 33..42^\circ$ имеют 6-угольные ножи, следовательно, именно эта форма наиболее рациональна [2].

Рассмотрим значения угла защемления в процессе резания стебля, когда он зажат между лезвием ножа и почвенным подпором (рис. 2). При этом следует учитывать угол поворота лезвия к горизонту, так как в зависимости от величины угла между лезвием и почвенным подпором может возникнуть опасность выталкивания стебля из раствора.

Угол защемления — предельный угол раствора между лезвием и почвенным подпором, при котором не происходит выскальзывание стебля. Он зависит от коэффициентов трения стебля о лезвие и почвенный подпор. Обозначим: φ_1, φ_2 — углы трения; N_1, N_2 — нормальные реакции на стебель m со стороны лезвия 1 и подпора 2.

В рассматриваемом случае силы трения, возникающие между почвенным подпором и стеблем (F_1), стеблем и лезвием (F_2), равны:

$$F_1 = N_1 \operatorname{tg} \varphi_1; \quad F_2 = N_2 \operatorname{tg} \varphi_2.$$

Условия работы, при которых стебель не выскальзывает из раствора при резании, определяются системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \sum X &= N_2 \sin \alpha - F_1 - F_2 \cos \alpha = 0; \\ \sum Y &= N_1 - F_2 \sin \alpha - N_2 \cos \alpha = 0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

При условии отсутствия выскальзывания стебля из раствора сила F_1 должна быть больше или равна сумме

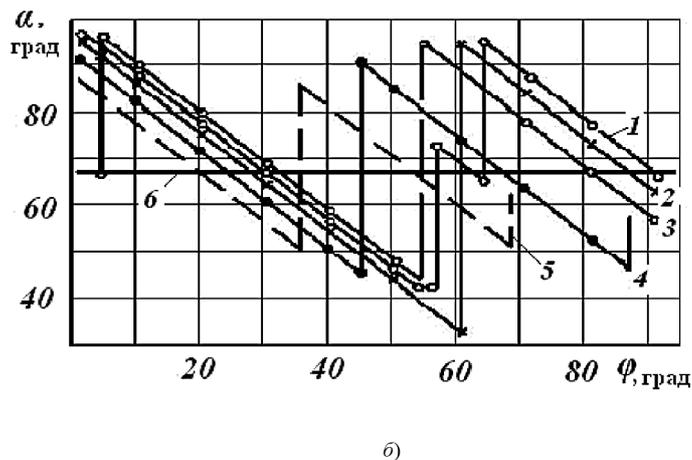
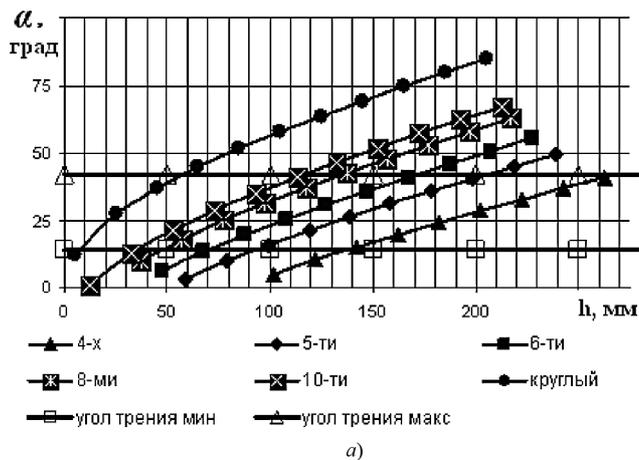


Рис. 1. Зависимости угла защемления α от:

a — глубины обработки почвы и количества углов в многоугольнике; b — формы ножа и угла его поворота; 1 — 6-угольный нож с чередующейся двусторонней заточкой; 2 — 6-угольный нож с двусторонней симметричной заточкой; 3 — 6-угольный нож с односторонней заточкой; 4, 5 — 8-ми и 10-угольные ножи с двусторонней заточкой; 6 — круглый нож с двусторонней заточкой

проекций всех сил, действующих на стебель по оси Ox , следовательно:

$$N_1 \geq N_2 \frac{\sin(\alpha - \varphi_2) \cos \varphi_1}{\cos \varphi_2 \sin \varphi_1}. \quad (2)$$

Из второго уравнения системы (1) получим:

$$N_1 = F_2 \sin \alpha + N_2 \cos \alpha = N_2 \frac{\cos(\alpha - \varphi_2)}{\cos \varphi_2}. \quad (3)$$

Решив совместно уравнения (2) и (3), получим:

$$N_2 \frac{\sin(\alpha - \varphi_2) \cos \varphi_1}{\cos \varphi_2 \sin \varphi_1} \leq N_2 \frac{\cos(\alpha - \varphi_2)}{\cos \varphi_2},$$

откуда

$$(\sin \alpha \cos \varphi_2 - \cos \alpha \sin \varphi_2) \operatorname{ctg} \varphi_1 \leq \cos \alpha \cos \varphi_2 + \sin \alpha \sin \varphi_2.$$

После преобразования это неравенство примет вид:

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \frac{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)}{\cos(\varphi_1 + \varphi_2)},$$

где

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \operatorname{tg}(\varphi_1 + \varphi_2);$$

$$\alpha \leq \varphi_1 + \varphi_2. \quad (4)$$

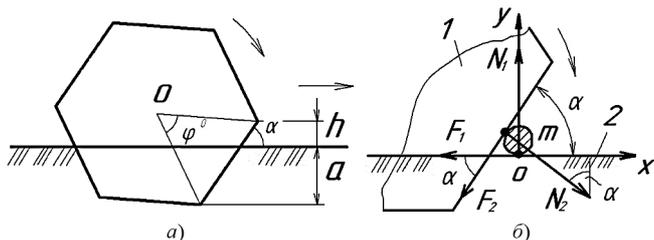


Рис. 2. Защемление лезвием разрезаемого материала:

a — схема определения параметров; b — схема сил; m — стебель; α — угол защемления; a — глубина резания; h — высота от поверхности почвы до угла лезвия; 1 — нож; 2 — почвенный подпор

Условие (4) описывает защемление стеблей в растворе между лезвием и почвенным подпором. Величина правой части неравенства (4) изменяется с изменением толщины и шероховатости кромки лезвия. Значительное влияние на углы трения φ_1 и φ_2 оказывают вид культуры, ее влажность и расположение разрезаемых стеблей относительно плоскости резания [3, 4]. На защемление единичных стеблей положительно влияет наличие перед разрезаемым материалом почвенных выступов, ограничивающих выскальзывание стеблей из-под лезвия.

Определенное воздействие на защемление оказывает кинематический параметр ножа [3, 5]:

$$\lambda = \frac{V_o}{V_{\text{п}}} = \frac{D_{\text{ф}}}{D},$$

где V_o , $V_{\text{п}}$ — окружная и поступательная скорости ножа, м/с; $D_{\text{ф}}$, D — фиктивный и действительный диаметры ножа, м.

Можно выделить несколько рабочих моментов, отличающихся по характеру движения дискового ножа и технологическому процессу защемления почвенно-соломистой массы (рис. 3).

Если нож движется по дну вырезаемой им борозды без скольжения, то в точке его соприкосновения с дном образуется мгновенный центр вращения O , вокруг которого передвигаются отдельные точки ножа (см. рис. 3, a). Скорость движения середины диска $V_{\text{д}}$ равна скорости поступательного движения почвообрабатывающего агрегата, на котором укреплен нож. Скорости отдельных точек ножа распределяются по треугольнику с вершиной в точке его соприкосновения с дном борозды. В этом случае вектор абсолютной скорости точки K кромки ножа в зоне воздействия на стебель m расположен перпендикулярно радиусу, проведенному из мгновенного центра вращения O .

Вектор скорости точки K лезвия проходит через центр или близко к центру стебля. Стебель под действием давления лезвия деформируется. Важное условие защемления — исключение возможности его перекатывания перед диском. Перекатывание стебля перед лезвием

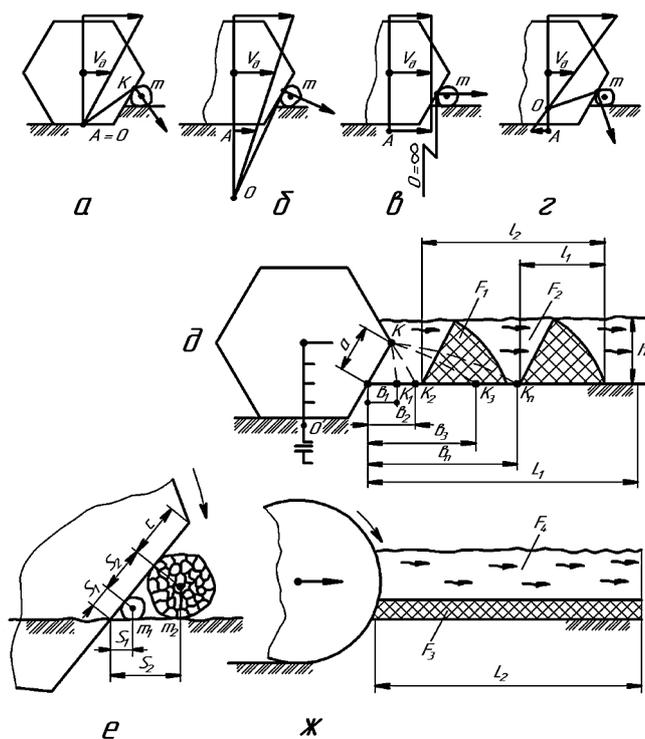


Рис. 3. Защемление лезвием:

$a, в - \lambda = 1$; $б - \lambda < 1$; $с - \lambda > 1$; $e, д - 6$ -угольный нож; $ж -$ круглый нож; $F_1, F_3 -$ защемленная часть растительной массы; $F_2, F_4 -$ незащемленная часть

по ходу движения ножа возможно лишь при условии значительной разницы углов трения φ_1 и φ_2 .

Если же сопротивление вращению ножа настолько значительно, что вращение происходит медленнее, чем обусловлено скоростью поступательного движения центра диска, то на режущей кромке наблюдается скольжение по отношению к грунту (см. рис. 3, б).

В этом случае точка соприкосновения ножа с дном борозды также имеет некоторую скорость поступательного движения, как бы перемещаясь вместе со всем агрегатом, а мгновенный центр вращения отдельных точек ножа находится ниже уровня соприкосновения его кромки с дном борозды. Вектор скорости точки K кромки лезвия проходит выше центра стебля m и образует момент, поворачивающий стебель по часовой стрелке. При этом стебель стремится выскользнуть из раствора [5]. Такой режим работы ножа не обеспечивает качественное защемление растительной массы.

Скорость поступательного движения точки соприкосновения кромки ножа с дном борозды возрастает по мере увеличения сопротивления вращению диска вокруг своей оси. В случае полного блокирования диска на оси нож работает как черенковый с прямолинейной режущей кромкой, составляющей часть грани (см. рис. 3, в).

Если нож вращается быстрее, что обусловлено скоростью поступательного движения его оси (возможно лишь в случае принудительного вращающего диска), то мгновенный центр скоростей ножа находится выше уровня его соприкосновения с дном борозды. В точке соприкосновения наблюдается скорость, направленная противоположно поступательному движению оси дис-

ков (см. рис. 3, в). В этом случае вектор скорости проходит ниже центра разрезаемого стебля, и появляется момент сил, поворачивающий стебель против часовой стрелки. Стебель под действием момента перемещается под лезвие, таким образом возникает благоприятное условие для надежного защемления. На практике отмечено, что при резании ножом с принудительным вращением ($\lambda > 1$) кромка лезвия способствует вовлечению разрезаемого материала в зону резания.

В режиме работы ножа (см. рис. 3, а, б, в) отмечены случаи, когда защемление солоисто-растительной массы разных размеров m_1 и m_2 (см. рис. 3, е) осуществляется на разных расстояниях S_1 и S_2 . При значительной величине пучка соломы защемления массы m_2 может не произойти, так как для этого будет недостаточно длины лезвия C . Тогда растительная масса выйдет из-под лезвия неразрезанной [5, 6].

Графически исследованы траектории движения лезвий 6-угольного и круглого ножей при различных расположениях мгновенного центра вращения. В результате определены зоны надежного защемления и резания в плоскости хода ножа, представленные в виде площадей F_1 и F_3 (см. рис. 3, д, ж).

Анализ траекторий $KK_1, KK_2, KK_3, \dots, KK_n$ движения точки K лезвия позволил определить отношения $a/b_1, a/b_2, \dots, a/b_n$ в зависимости от расположения мгновенного центра вращения ножа. Величина отношения a/b представляет собой коэффициент защемления f_3 .

При графическом исследовании получена эмпирическая формула и построены зависимости f_3 от расположения мгновенного центра вращения диска или, что одно и то же, от фиктивного диаметра дискового ножа D_ϕ (рис. 4):

$$f_3 = 0,2468 + 32,1981/D_\phi. \quad (5)$$

Как видно из графиков, представленных на рис. 4, коэффициент защемления изменяется по закону параболы.

Из формулы (5) следует, что с уменьшением фиктивного диаметра ножа D_ϕ коэффициент защемления f_3 увеличивается, т.е. повышается качество защемления с.-х. материалов.

По результатам исследования получены зависимости (рис. 5), показывающие, что зоны надежного защемления и резания F_1 и отношение суммарной площади на-



Рис. 4. Зависимость коэффициента защемления f_3 от фиктивного диаметра ножа D_ϕ :

1 — $h = 0,08$ м; 2 — $h = 0,1$ м; 3 — $h = 0,12$ м

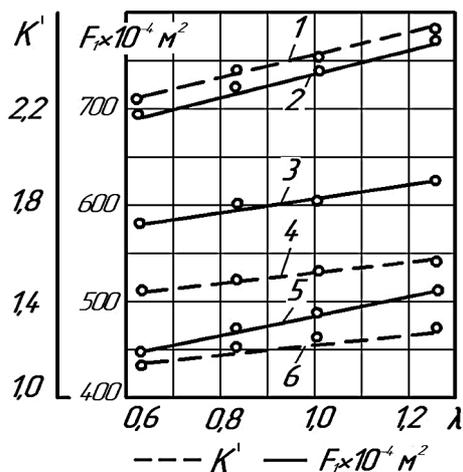


Рис. 5. Зависимости F_1 и K' от кинематического параметра ножа λ :

2, 6 — $h = 0,08$ м; 3, 4 — $h = 0,1$ м; 1, 5 — $h = 0,12$ м

дежного защемления 6-угольного ножа к аналогичной площади круглого K' линейно зависят от кинематического параметра λ [7]:

$$K' = 1,9785 + 0,4412\lambda;$$

$$F_1 = 394,1724 + 90,2941\lambda,$$

где

$$K' = \Sigma F_1 / \Sigma F_3.$$

Выводы

В результате исследования определены углы защемления круглого и многоугольных дисковых ножей. Выявлены условия работы, при которых стебель при резании 6-угольным ножом не выскальзывает из раствора. Определены зависимости коэффициента защемления от расположения мгновенного центра вращения диска. Установлено, что при глубине обработки почвы

0,08—0,12 м эффективность защемления 6-угольного ножа по сравнению с круглым повышается в 1,8—2 раза.

Литература и источники

1. Кобяков И. Д. Обоснование параметров и режимов работы дискового ножа (на примере плуга): Дис. ... канд. техн. наук. Омск, 1986. 270 с.
2. Кобяков И. Д. Шестиугольные диски // Земля сибирская дальневосточная. 1987, № 12. С. 21.
3. Кобяков И. Д. Влияние формы дисковых лезвий на защемление стеблей // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2007, № 12. С. 31—33.
4. Кобяков И. Д. Новые почвообрабатывающие машины // Земля сибирская дальневосточная. 1993, № 12. С. 30—32.
5. Сабликов М. В. О критической величине угла защемления // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1963, № 2. С. 44.
6. Кобяков И. Д., Союнов А. С. Оптимизация работы шестиугольного дискового ножа // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2008, № 7. С. 45—46.
7. Кобяков И. Д. Новая сельскохозяйственная техника: Монография. Омск: Изд-во Омского ГАУ, 2004. 180 с.

References

1. Kobayakov I. D. *Obosnovanie parametrov i rezhimov raboty diskovogo nozha (na primere pluga)* [Substantiation of parameters and operating modes of a disc cutter (on the example of a plough)]. PhD in Engineering thesis. Omsk, 1986, 270 p.
2. Kobayakov I. D. Hexagon discs. *Zemlya sibirskaya dal'nevostochnaya*, 1987, no. 12, p. 21 (in Russ.).
3. Kobayakov I. D. Influence of the form of disc blades on stems pinching. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny*, 2007, no. 12, pp. 31—33 (in Russ.).
4. Kobayakov I. D. New tillage machines. *Zemlya sibirskaya dal'nevostochnaya*, 1993, no. 12, pp. 30—32 (in Russ.).
5. Sablikov M. V. On the critical value of the angle of pinching. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*, 1963, no. 2, p. 44 (in Russ.).
6. Kobayakov I. D., Soyunov A. S. Optimizing the operation of hexagon disc knife. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*, 2008, no. 7, pp. 45—46 (in Russ.).
7. Kobayakov I. D. *Novaya sel'skokhozyaystvennaya tekhnika* [New agricultural machinery]. Omsk, Omsk State Agrarian University Publ., 2004, 180 p.