



УДК 631. 313. 02

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКА ПОЧВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БОЛЕЕ СОВЕРШЕННЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

Брагинец Н. В. д. т. н.,

Демченко В.Н., к.т.н.,

Шовкопляс А. В., ст. преп.

Луганский национальный аграрный университет,

Тел.: 0642-96-74-06

Аннотация - в статье проанализированы конструктивные особенности конструкции рабочих органов дисковых борон. Проанализирована кинематика дисковых рабочих органов, определено значение действительной скорости точек рабочих поверхностей дисков, установлено соотношение между силами, действующими на проектируемый и традиционный дисковый рабочий орган.

Ключевые слова – обработка почвы, дисковый рабочий орган, плодородие почвы, экстенсивные технологии.

Постановка проблемы В последние 15...20 лет в сельском хозяйстве Украины серьезно встала проблема снижения почвенного плодородия, вызванная активным применением экстенсивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Вынос питательных веществ не компенсировался пожнивными и растительными остатками, которые зачастую сжигались, а не запахивались, и органическими удобрениями, не вносимыми по причине снижения поголовья животных или отказа от животноводства вообще. Это и привело к деградации почв. В качестве дополнительного источника органических удобрений, как доказано многочисленными исследованиями, весьма эффективны измельченная солома и стебли других сельскохозяйственных культур, которые необходимо заделывать при безотвальной обработке почвы на глубину 0,10...0,12 м, что возможно сделать машинами с ротационными почвообрабатывающими рабочими органами.

В регионе Донбасса подготовка почвы под посев, например, озимых

осуществляется в наиболее засушливый период года, когда средняя многолетняя температура составляет 25...28°C, а относительная влажность воздуха – 60...65%. Обработка почвы под посев зависит от погодных условий; в сухую погоду наилучшие результаты получают при безотвальной обработке почвы на глубину 0,12...0,15 м.

Кроме того, дисковые почвообрабатывающие орудия менее энергоемки и более производительны.

Анализ последних исследований и публикаций. В развитие теоретических исследований, касающиеся сферических дисковых рабочих органов почвообрабатывающих машин, внесли вклад такие ученые как В. П. Горячкин, Ф. М. Канарев, И. М. Панов, N. Nerli, Г. Н. Синеоков, Х. А. Хачатрян, В. Ф. Стрельбицкий, В. С. Василинин, П. С. Нартов, E. D. Gordon, P. A. Taylor, E. A. Кочкин и другие.

Сферические диски в качестве рабочих органов орудий, применяемых для обработки почвы, с давних пор привлекают к себе внимание. Первые дисковые бороны широко продавались в США еще в 1880 году, авторство на которые принадлежало немецкому инженеру Шварцу. Эта борона состояла из целого ряда дисков, насаженных на один общий вал [1, 2].

Диски как рабочие органы используются в таких орудиях как плуги, лушпильники, сеялки, бороны, картофелесажалки и свеклоуборочные комбайны.

Наиболее часто (в странах СНГ и Украине) диски изготавливаются из стали 65Г, в некоторых случаях из стали 70Г. Рабочая зона дисков подвергается термической обработке токами высокой частоты до твердости HRC 35...45. Диаметр дисков средних борон составляет 450...500 мм, тяжелых борон для обработки на глубину до 25 см – 650 мм [3]. Зарубежные производители дисков («Bellotta», «Industriehof» и др.) используют более сложнолегированные стали, например, с добавлением бора обработанных до твердости HRC 48...51.

Целью исследований является разработка математических моделей процесса обработки почвы дисковыми обрабатывающими орудиями.

Результаты исследований. Рабочие органы почвообрабатывающих машин, оказывая на почву механическое действие, изменяют ее физико-механические свойства почвы, повышая тем самым ее потенциальную энергию, которая в дальнейшем используется растениями. При этом они должны обеспечивать надлежащее качество обработки почвы, высокую проходимость агрегата и минимальную энергоемкость выполняемого процесса. При анализе конструкций рабочих органов дисковых борон их можно классифицировать по таким признакам: по типу дисков; по форме отверстия под оси и по форме вырезов дисков. Классификация рабочих органов дисковых борон приведена на рис. 1.

Не смотря на то, что параметры дисковых рабочих органов определены, работа по их усовершенствованию продолжают [4-6].

В процессе работы дисковые рабочие органы совершают сложное движение: вместе с орудием они перемещаются поступательно и одновременно, за счет действия реактивных моментов, вращаются вокруг оси.

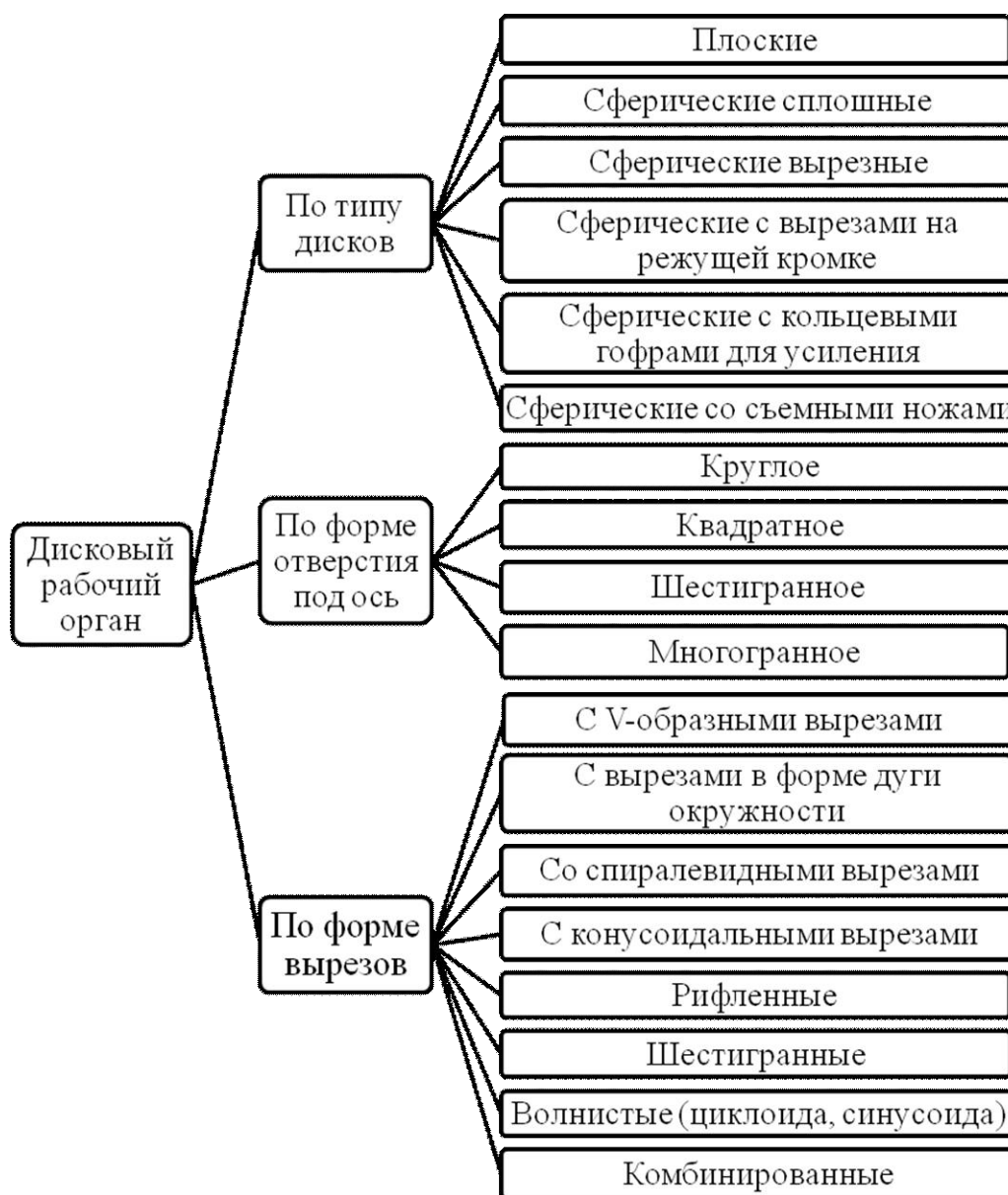


Рис. 1. Классификация рабочих органов дисковых борон.

Вращательное движение изменяет траекторию перемещения почвенной массы по рабочей поверхности диска и после схода с нее, а также влияет на характер резания почвы режущей кромкой дисковых рабочих органов.

Характер деформации и перемещений почвы под действием сферических дисков зависит от их диаметра и радиуса кривизны, угла

установки дисков в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также от размеров пласта, вырезаемого каждым диском. Существенное влияние оказывают также скорость поступательного движения машины и свойства почвы. Выбор значений перечисленных величин не может быть произвольным, так как для каждой группы дисковых рабочих органов установлены свои, выработанные практикой пределы. Отдельные геометрические элементы связаны между собой функциональными зависимостями [1-3, 7-10].

Диаметр диска является одним из основных его геометрических параметров.

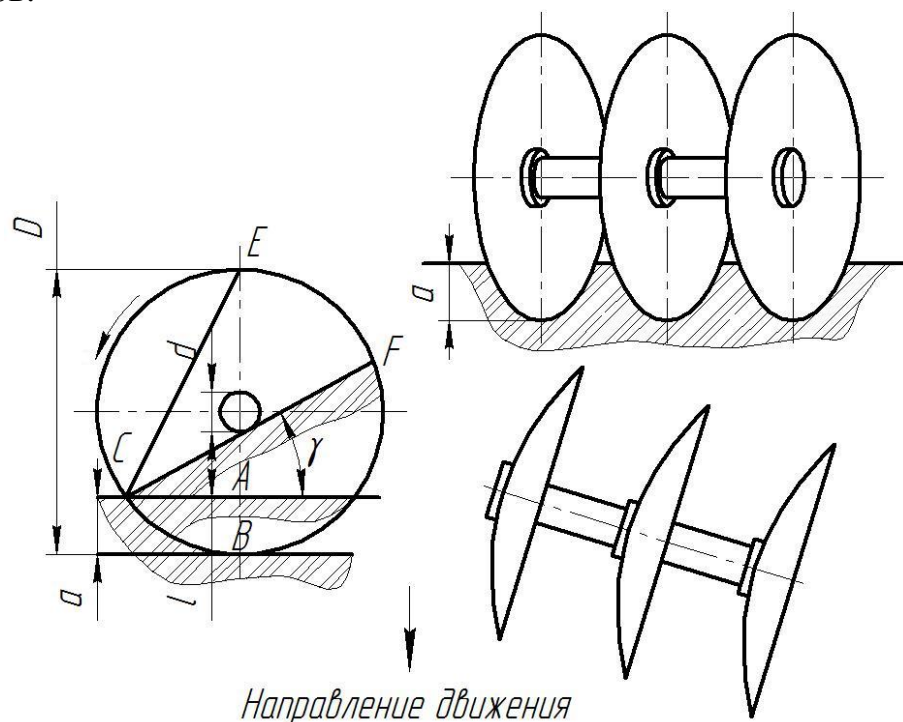


Рис. 2. К определению диаметра диска по условию заглубления при батарейном креплении рабочих органов.

Диаметр диска в зависимости от условий работы следует выбирать наименьшим, так как с увеличением диаметра диска резко возрастает сила, необходимая для заглубления диска в почву [7, 8, 9]. Диаметр диска зависит также от заданной глубины обработки почвы, которая, в свою очередь, ограничивается высотой вертикального просвета между поверхностью поля и распорными втулками, размещенными между смежными дисками (рис. 2).

Диаметр диска в этом случае рассчитывается по формуле:

$$D = 2a + d + 2l, \quad (1)$$

где a – глубина хода диска;
 d – диаметр распорной втулки;

l – высота наползания пласта на диск по линии его вертикального диаметра.

Зависимость диаметра диска от глубины обработки, диаметра распорной втулки и угла наползания пласта на диск после подстановки значений соответствующих величин [3]

$$D = 2a \left(1 + \frac{d}{2a} + \operatorname{tg}^2 \gamma + \operatorname{tg} \gamma \cdot \sqrt{1 + \frac{d}{2a} + \operatorname{tg}^2 \gamma} \right). \quad (2)$$

Для успешной работы дисковых борон диаметр их рабочих органов должен быть больше глубины обработки в 3...3,5 раза.

Радиус кривизны рабочей поверхности диска также является одним из важнейших параметров, определяющих качество обработки почвы. Чем меньше радиус кривизны, тем интенсивнее воздействует диск на почвенный пласт, лучше его оборачивает и сильнее разрушает.

При проектировании дисковых рабочих органов в основу расчета радиуса кривизны положен чисто геометрический принцип [2, 7, 10]. Радиус кривизны должен иметь такую величину, которая при заданном диаметре диска и угле атаки обеспечивает образование зазора между тыльной стороной режущей кромки диска и стенкой борозды.

Радиус кривизны рассчитываем по формуле:

$$R = \frac{D}{2 \sin \varphi}, \quad (3)$$

где φ – половина центрального угла дуги окружности, образуемой в результате сечения диска экваториальной плоскостью.

Угол φ находим из выражения

$$\varphi = \alpha - i - \varepsilon, \quad (4)$$

где i – угол заточки (принимается $i=15...20^\circ$;

ε – задний угол резания, т. е. угол между тыльной стороной режущей кромки диска и стенкой борозды.

Желательно, чтобы ε был близок к нулю [2, 7].

При определении расстояния между соседними дисками b вдоль оси батареи учитываются габаритные размеры распорных катушек и подшипников, длина батареи, позволяющая приспособливаться к неровностям поля, а также наличие на поверхности поля стерни и сорняков. Размер b должен быть больше глубины хода дисков, т. е.

$$b \geq 1,5 \cdot a. \quad (5)$$

При выборе значений D и b у борон и лушильников следует иметь в виду получение дна борозды определенного профиля с гребнями высотой c , зависящими от диаметра диска, угла установки α и расстояния между смежными дисками b (рис. 3).

$$b = 2 \cdot \sqrt{c \cdot (D - c)} \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (6)$$

Эта формула устанавливает зависимость между b , D , c и α .

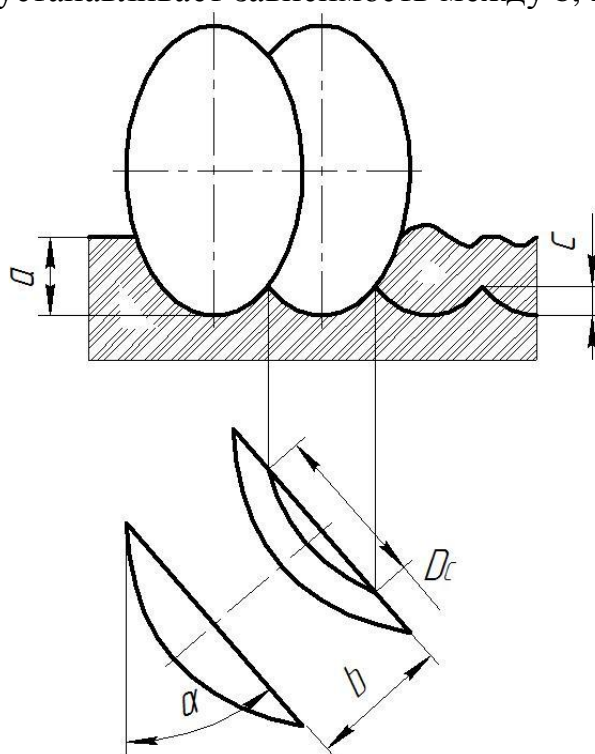


Рис. 3. Профиль дна борозды при обработке дисковой бороной.

При проектировании дисковых орудий зачастую определяют одну из этих величин по заранее выбранным значениям трех других.

Геометрия сферических дисков является решающим фактором обеспечения их работоспособности. При проектировании дисковых орудий, рекомендуемый угол установки дисков к направлению движения принимают равным $35...45^\circ$, угол заточки при условии обеспечения прочности и износостойчивости должен быть не менее $10...15^\circ$, а задний угол – $3...5^\circ$.

Среди недостатков хочется отметить неудовлетворительное качество обработки почвы, плохое копирование рельефа обрабатываемого участка особенно с увеличением длины батареи, несоблюдение агротехнических требований в частности по глубине обработки по причине выглубления дисков в силу ряда причин, малая универсальность.

Режущая кромка сферического диска совершает сложное движение: поступательное перемещение в горизонтальной плоскости вместе с машиной и вращение вокруг своей оси за счет действия реактивных сил со стороны почвы. Использование сферического диска с дополнительными элементами позволяет снизить тяговое сопротивление, улучшить качество крошения, перемешивания почвенного пласта и измельчения растительных и пожнивных остатков. [9, 10]

Перемещение диска из положения I в положение III (рис. 4) можно представить в виде двух составляющих: одна из них совпадает с плоскостью режущей кромки диска по линии I-II, а вторая – перпендикулярна ей по линии II-III. На участке I-II диск не только совершает поступательное перемещение, но и вращается вокруг своей оси, перекатываясь по полю. При этом возможны два варианта перекатывания диска: без скольжения и со скольжением.

При вращательном движении вокруг своей оси каждая точка режущей кромки диска описывает окружность. В системе координат Ox_1Y_1Z уравнения движения этой точки имеют следующий вид (см. рис. 5):

$$X_1 = -R_i \cdot \sin \theta, \tag{7}$$

$$Y_1 = -AC, \tag{8}$$

$$Z = -R_i \cdot \cos \theta, \tag{9}$$

где R_i – расстояние от оси вращения диска до i -той точки его режущей кромки; (рис. 5);

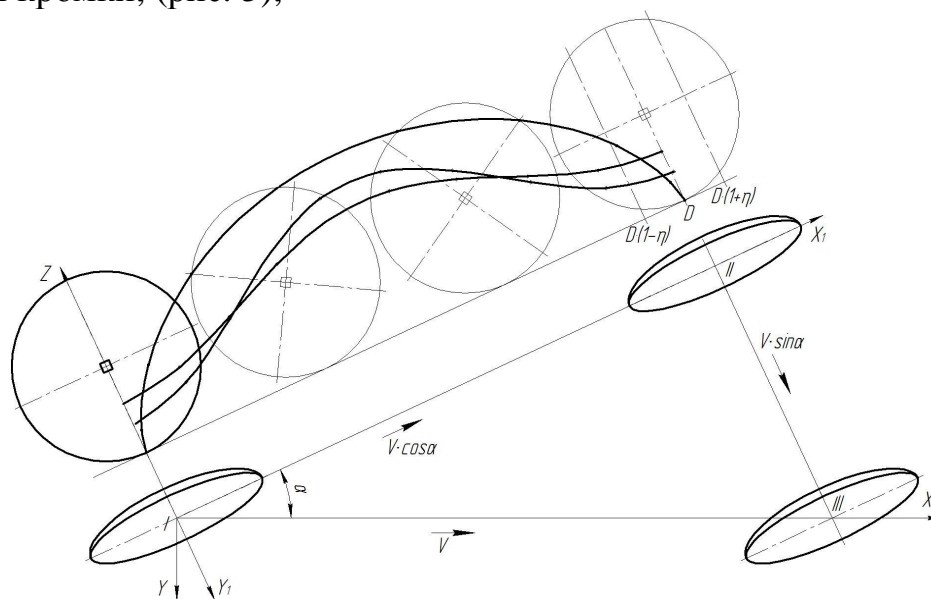


Рис. 4. Кинематика дискового рабочего органа:

Θ – угол поворота диска, измеряемый по часовой стрелке между радиусом диска, проходящим через самую нижнюю точку его режущей кромки, и радиусом, проходящим через данную точку диска.

При условии, когда глубина обработки a составляет $D/4$, угол Θ на котором происходит контакт диска с почвой, изменяется между точками В и Е, расположенными на его режущей кромке от 330° до 210° (рис. 5).

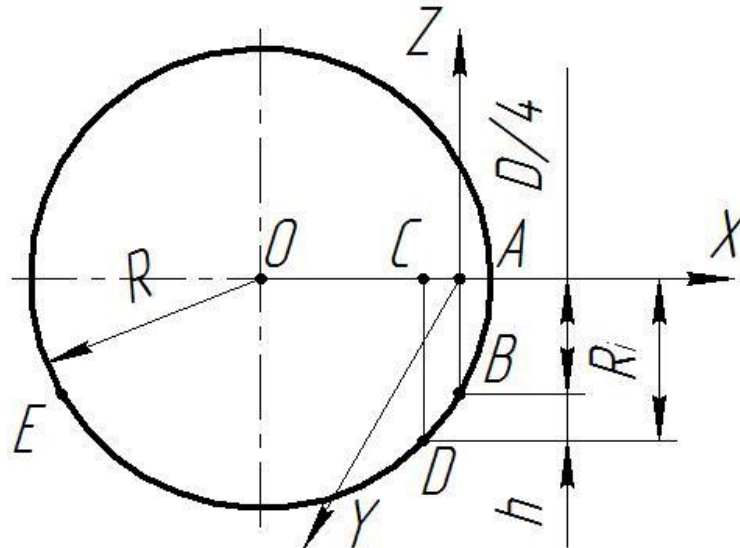


Рис. 5. К определению ординаты Y_1 .

Уравнения, описывающие вращательное движение рабочей поверхности диска в системе координат OXYZ:

$$X = \left(\sqrt{R^2 - R_i^2} - \sqrt{R^2 - \frac{D^2}{4}} \right) \cdot \sin \alpha - R_i \cdot \sin \theta \cdot \cos \alpha \quad (10)$$

$$Y = \left(\sqrt{R^2 - R_i^2} - \sqrt{R^2 - \frac{D^2}{4}} \right) \cdot \cos \alpha + R_i \cdot \sin \theta \cdot \sin \alpha \quad (11)$$

$$Z = -R_i \cdot \cos \theta. \quad (12)$$

При сложении вращательного движения с поступательным перемещением рабочего органа вдоль оси OX со скоростью V получаем уравнение абсолютного перемещения i -той точки рабочей поверхности диска в пространстве.

Формулы 10, 11 и 12 представляют собой уравнения циклоиды. После подстановки в эти формулы значение Θ , и продифференцировав их по t , получаем уравнения проекций абсолютной скорости перемещения любой из точек сферической поверхности диска на координатные оси:

$$V_X = V - R_i \cdot \dot{\theta} \cdot \cos \alpha \cdot \cos \theta \quad (13)$$

$$V_Y = R_i \cdot \dot{\theta} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \theta \quad (14)$$

$$V_z = R_i \cdot \dot{\theta} \cdot \sin \theta. \quad (15)$$

Абсолютную скорость движения i -той точки рабочей поверхности диска определяем по формуле:

$$V_D = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}. \quad (16)$$

При подстановке значений V_x , V_y и V_z получим

$$V_D = \pm V \cdot \sqrt{1 + \frac{2 \cdot R_i}{D \cdot (1 \pm \eta)} \cdot \cos \alpha \cdot \left(\frac{2 \cdot R_i}{D \cdot (1 \pm \eta)} \cdot \cos \alpha - \cos \alpha \cdot \cos \theta \right)}. \quad (17)$$

Абсолютная скорость точек диска не постоянна, а изменяется в некоторых пределах. Абсолютная скорость i -той точки рабочей поверхности диска в момент, когда он входит в контакт с почвой и $\Theta=330^\circ$, почти не отличается от скорости движения орудия в целом. В самом нижнем положении точки ($\Theta=270^\circ$) абсолютная скорость V_D максимальна. На момент, когда i -той точка диска выходит из почвы ($\Theta=210^\circ$), скорость V_D снова снижается и приближается к скорости движения орудия. В верхней зоне диска вне контакта с почвой при углах $\Theta=210 \dots 330^\circ$ абсолютная скорость i -той точки несколько больше скорости движения орудия.

Максимальное и минимальное значения абсолютной скорости могут отличаться в 1,35-раза. Увеличение угла атаки α и уменьшение расстояния R_i приводит к уменьшению амплитуды. Качение дисков со скольжением уменьшает отклонение абсолютной скорости от среднего значения, а буксование сопровождается ростом этого отклонения.

Силы, которые воздействуют на дисковые рабочие органы со стороны почвенного массива, и силы, с которыми воздействует на пласт почвы рабочая поверхность диска, расходятся на отрезание почвенного пласта, на его последующую деформацию, подъем вверх, перемещение и отбрасывание в сторону. Преодолевается также сопротивление трению движущейся почвенной массы по рабочей поверхности диска. Почва скользит по поверхности диска в различных направлениях. При движении сферического диска давление почвы действует на его вогнутую поверхность, на лезвие, на поверхность фаски и тыльную поверхность диска. [6]

Сила резания затрачивается на разрезание и отделение пласта от почвенного массива. Она определяется характером резания почвы дисковыми рабочими органами и величиной угла резания ω . [3, 8, 9]

Для сравнения нами были вычерчены эскизы предлагаемого сферического диска и сплошного сферического диска. Приведены силы, которые действуют на эти диски: проекцию силы тяги;

проекцию силы резания; силу трения $F_{\text{ТР}}$ и силу давления пласта на диск N .

После подстановки значений этих сил получаем формулу, позволяющую определить соотношение между силами резания, действующими соответственно на предлагаемый и на сплошной сферический диск.

$$\frac{F_{P231}}{F_{P232}} = \frac{\sin\left(\mu - \arccos\left(\frac{\sqrt{R_1^2 - \frac{D^2}{4} + D \cdot h - h^2}}{R_1}\right)\right) \cdot \sqrt{R_1^2 - \frac{D^2}{4} + D \cdot h} \cdot \sin \mu - \cos\left(\mu - \arccos\left(\frac{\sqrt{R_1^2 - \frac{D^2}{4} + D \cdot h - h^2}}{R_1}\right)\right) \cdot \sqrt{R_1^2}}{z - (Dh - h^2) - z \cdot h \cdot \left(\frac{\pi}{z} - h\right)} \cdot \sqrt{R_1^2} \quad (18)$$

Выполнив подстановку в данную формулу и произведя вычисления, устанавливаем величину соотношения между значениями сил резания, составляющую 0,53.

Минимально допустимую частоту вращения диска дискового почвообрабатывающего орудия определяют из условия скорости прохода почвы через его дополнительные элементы.

Скорость перемещения почвы к элементам зависит от размеров почвенных комочков h (согласно агротехническим требованиям размеры почвенных комочков не должны превышать 10 мм), числа таких элементов z , частоты вращения диска n . При скорости движения дисковой бороны составляющей 8...12 км/ч (133,3...200 м/мин) частота вращения диска диаметром 660 мм будет находиться в пределах от 64 до 96 мин⁻¹.

При меньшей частоте вращения диска почва будет опускаться на диск раньше, чем начнется ее разрезание элементами и потребуются дополнительная энергия на преодоление трения почвы по диску. При чрезмерной частоте вращения диска не будет достигаться требуемая крупность почвенных кусочков.

Для проверки теоретических положений и выводов, полученных математических моделей процесса обработки почвы дисковыми обрабатывающими орудиями и оптимизации параметров разрабатываемого рабочего органа дисковой бороны необходимо провести лабораторные и экспериментальные исследования.

Программа экспериментальных исследований включает решение следующих вопросов:

- исследование процесса рыхления почвы дисковыми рабочими органами с использованием лабораторной установки;
- проверка теоретической зависимости, устанавливающей влияние угла атаки α дискового рабочего органа;
- количество и характер дополнительных элементов;

- установление в лабораторных условиях зависимости степени крошения почвы от наиболее значимых параметров и определение их рациональных значений;

- проверка результатов теоретических и лабораторных исследований на реальном рабочем органе в полевых условиях;

- установление влияния основных конструкционных параметров дискового рабочего органа, режимов его работы и свойств почвы на тяговое сопротивление дискового орудия.

Для проведения лабораторных исследований разрабатывается и изготавливается установка, которая представляет собой платформу с закрытой емкостью для почвы. В емкости вращается крестовина, получающая вращение от приводной станции и электродвигателя. К крыльям крестовины поочередно крепятся с возможностью регулировки угла атаки α исследуемые рабочие органы и катки с регулируемым усилием, уплотняющие почву и обеспечивающие рабочим органам одинаковые условия.

В качестве рабочей среды в лабораторной установке предполагается использовать почвенные агрофоны, характерные для региона Донбасса и в частности Луганской области. Для сравнения полученных экспериментальных зависимостей с теоретическими, необходимо будет определить коэффициент сцепления и углы внутреннего и внешнего трения образцов почвы [11, 12].

Литература

1. *Заїка П. М.* Теорія сільськогосподарських машин / П. М. Заїка. – Харків: 2001. – 444 с.
2. *Канарёв Ф. М.* Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия / Ф. М. Канарёв. – М.: Машиностроение, 1983. – 142 с.
3. *Нартов П. С.* Дисковые почвообрабатывающие орудия / П. С. Нартов. – Воронеж: Издательство ВГУ, 1972. – 182 с.
4. Авторские свидетельства СССР за период 1960 по 1991 годы, МКИ А 01 В 5/14, 7/00, 13/00, 19/02, 21/00, 21/08, 23/04, 23/06.
5. Патенты на полезные модели и изобретения Российской Федерации за период 1994...2009 годы, МКИ А 01 В 5/00, 7/00, 19/00, 21/00, 21/08, 61/04.
6. Патенты на полезные модели и изобретения Украины за период 2001...2010 годы, МКИ А 01 В 5/00, 5/14, 7/00, 21/00, 21/08.
7. *Синеоков Г. Н.* Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков, И. М. Панов. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
8. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин / [ред. Босой Е. С.]. – М.: Машиностроение, 1978. – 568 с.
9. Сільськогосподарські та меліоративні машини/ [ред.. Войтюк Д. Г.]. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.

10. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку / [ред.. Войтюк Д. Г.]. – Суми: Університетська книга, 2008. – 464 с.
11. ДСТУ Б В. 2. 1-5-96. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи статичної обробки результатів випробувань; Введ. 01. 01. 1997. К: Держстандарт України, 1996. – 21 с.
12. ДСТУ Б В. 2. 1-4-96. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності та деформованості; Введ. 01. 01. 1997. К: Держстандарт України, 1996. – 42 с.

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ҐРУНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ДОСКОНАЛІШИХ РОБОЧИХ ОРґАНІВ

Брагінець М.В. , Демченко В.М. , Шовкопляс О.В.

Анотація

У статті проаналізовані конструктивні особливості різні конструкції робочих органів дискових борін. Приведені залежності, що зв'язують геометричні параметри дискових робочих органів. Проаналізована кінематика дискових робочих органів, визначено значення дійсної швидкості точок робочих поверхонь дисків, встановлено співвідношення між силами, що діють на проєктований і традиційний дисковий робочий орган.

THEORETICAL GROUND OF INCREASE OF EFFICIENCY OF PROCESS TREATMENT OF SOIL WITH THE USE OF MORE PERFECT WORKINGS ORGANS

N. Braginets, V. Demchenko, A. Shovkoplyas

Summary

In the article structural features are analyzed different constructions of workings organs of disk harrows. Dependences, linking the geometrical parameters of disk workings organs, are resulted. The kinematics of disk workings organs is analyzed, the value of actual speed of points of workings surfaces of disks is certain, correlation is set between forces, operating on the designed and traditional disk working organ.