

УДК. 631. 31. 624

АНАЛІЗ ЗОН ДЕФОРМАЦІЇ ҐРУНТУ ПРИ РОБОТІ ДИСКОВИХ ЗНАРЯДЬ

І. М. Бендера, докт. пед. наук
Подільський ДАТУ;

Б.П. Польовий, зав. лабораторії
ННЦ «ІМЕСГ»;

В.Ф. Понеділок, доцент,

М.А. Василич, студент
Подільський ДАТУ

Викладені теоретичні підходи до визначення зон деформації ґрунту при роботі дискових знарядь. Наведені математичні залежності з визначення площ зон деформації дисковими робочими органами, як підстави для енергетичного аналізу процесу обробітку ґрунту.

Ключові слова: ґрунт, обробіток, диск, знаряддя, зона, деформація, площа, опір.

Проблема. В аграрному секторі України широкого застосування набуває обробіток ґрунту знаряддями дискового типу.

Дисковий спосіб обробітку ґрунту, або дискування – це суцільне розпушування дисковими робочими органами на глибину до 25 см [1], що здійснюється дисковими знаряддями. Він характеризується підрізанням, розпушенням з частковим обертанням та укладанням у борозну обробленої скиби зі зміщенням її у поперечному і поздовжньому напрямках порівняно з вихідним положенням.

Цей спосіб є проміжним між полицевим та чизельним. Він значно поширений в Україні завдяки високій продуктивності агрегатів та технологічній надійності роботи на перезволожених та пересушених ґрунтах з великою кількістю (до 120 ц/г) рослинних решток.

Використання цих знарядь забезпечує скорочення термінів підготовки ґрунту до сівби, зниження енергозатрат на 20...25% у порівнянні з іншими типами ґрунтообробних машин [2]. Однак дискові ґрунтообробні знаряддя мають ряд технологічних недоліків, основними з яких є утворення гребенистої поверхні дна борозни та поздовжня не-

стійкість агрегату від діагонального розміщення секцій.

Обґрунтування робочих процесів дискового обробітку, спрямованих на покращення показника обертання скиби та розробка конструкцій відповідних робочих органів, що є основною задачею наукового супроводу створення машини вказаного типу, а сама проблема актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням вивчення роботи дискових знарядь присвячені наукові дослідження провідних вчених країни.

Зокрема, В.В. Погорілий, С.А. Чуб, О.П. Гуцол провели кінематичний аналіз дискових робочих органів [3]. С.А. Кушнар'єв розробив поліноміальні моделі взаємодії сферичних дисків з ґрунтом [4]. В.М. Булгаков, М.О. Шубенко розробили методологію технолого-конструктивного розрахунку дискових знарядь [5].

Значний внесок в удосконалення конструкції робочих органів дискових знарядь зробили Б.А. Шелудченко, В.О. Шубенко [2]. Проблеми оптимізації параметрів сферичних дисків присвячені праці І.А. Шевченка [6].

Взаємодію сферичних дисків з ґрунтом, силовий аналіз робочих органів і конструкції в цілому вивчали Н.А. Лучинський [7], П.С. Нартов, Г.Н. Синеоков [8-10], Я.С. Гуков [11]. Питанню підвищення стабільності ходу дискових знарядь розглядають у своїх працях Б.П. Польовий, О.П. Гриценко [12, 13].

Виділення невирішених раніше проблем. В основному наукові дослідження дискових робочих органів проводилися в напрямі обґрунтування раціональних технологічних параметрів, визначення впливу дискових знарядь на якість обробітку ґрунту, урожайність сільськогосподарських культур.

Вивченню енергетичних затрат при деформації ґрунту, в основному, присвячені праці Н.А. Лучинського, П.С. Нартова, Г.Н. Синеокова [7, 8, 10].

Основою аналітики з визначення опору деформації є класична залежність:

$$R = K_{num} F_d, \quad (1)$$

де R_{num} – питомий опір деформації ґрунту; F_d – площа деформації.

Значення питомих коефіцієнтів визначені експериментально, зведені на рис. 1, в яких враховано тип ґрунту, вологість, швидкість, форма робочого органу. Площа деформації ґрунту характерна для кожного

типу робочих органів.

Назва робочого органу	Технічна схема	Формула з визначення площі зони деформації
Корпус лемішно - полицевого плуга		$F_d = av$
Лапа культиватора підрізна		$F_d = av$
Лапа культиватора розпушувальна		$F_d = a(b + atg\mu)$ <p>μ- кут сколювання ґрунту</p>

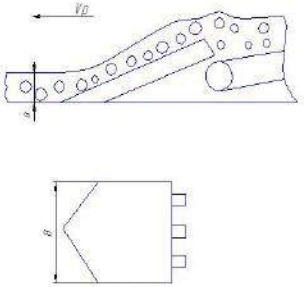
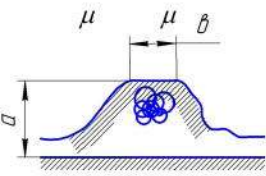
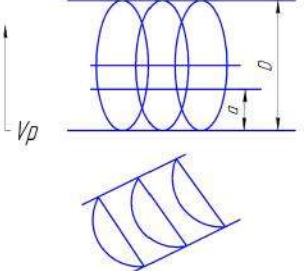
<p>Леміш картоплекопача</p>		 $F = \frac{B + b}{2} a$
<p>Дисковий робочий орган</p>		$F_d = f(D, \theta, a)$ <p>θ - кут атаки</p>

Рис. 1. Зони деформації ґрунту робочими органами сільськогосподарських знарядь

Викладення основного матеріалу. Аналіз літературних джерел з питань визначення площ зон деформації показує, що існує певний наковий вакуум з детального аналізу роботи дискових знарядь.

Це зв'язано із наявністю багатьох факторів (статичних і регульованих), які впливають на величину площі зон деформації від кута атаки θ [1].

Кут атаки дисків впливає на процес їх роботи. Чим більший кут атаки, тим більше кришиться та розпушується ґрунт, краще підрізуються бур'яни та присипається їх насіння. Проте надмірне збільшення кутів атаки ускладнює сповзання часток ґрунту з поверхні диска, а також призводить до скупчення ґрунту перед диском [1]. За невеликих кутів атаки ($10 \dots 20^\circ$) диски розрізують верхній шар ґрунту і лише частково кришать і розпушують його. Так відбувається під час роботи дискових борін. У дискових плугах диски розміщують під кутом атаки $\beta = 40 \dots 45^\circ$, у луцильниках $\beta = 10 \dots 35^\circ$ і боронах $\beta = 10 \dots 22^\circ$. Якщо кут атаки становить $10 \dots 20^\circ$, то дискові луцильники використовують як дискові борони [1].

Діаметр диска D є основним із геометричних параметрів. Роз-

міри його безпосередньо пов'язані з глибиною обробітку, причому зі збільшенням діаметра диска погіршується його заглиблення в ґрунт внаслідок зростання вертикальної складової реакції ґрунту. Залежно від умов роботи діаметр диска слід вибирати найменшим із допустимих значень.

Між діаметром диска D і глибиною обробітку a рекомендується таке співвідношення:

$$D=ka, \quad (2)$$

де k - коефіцієнт глибини обробітку (для плугів $k=3,0...3,5$; для борін $k=4,0...6,0$ і для луцильників $k=5,0...6,0$).

Діаметри стандартизовані. На причіпних дискових плугах установлюють диски діаметром 610...810 мм, на начіпних 580...710 мм, на боронах – 450...660 мм, а на луцильниках – 450...610 мм. Голчасті диски виготовляють діаметром 350, 450 і 520 мм.

Відстань між дисками на батареї, висота гребенів, що утворюються при проході дисків, їх ширина, відстань між дисками в сукупності утворюють зону недеформованого ґрунту, (що до 50 % зменшує фіксовану глибину обробітку) [1]. Відповідно теоретичне обґрунтування величини площ зон деформованого та недеформованого дисками ґрунту має наукове значення, тож є підставою для визначення тягового опору робочого органу (машини в

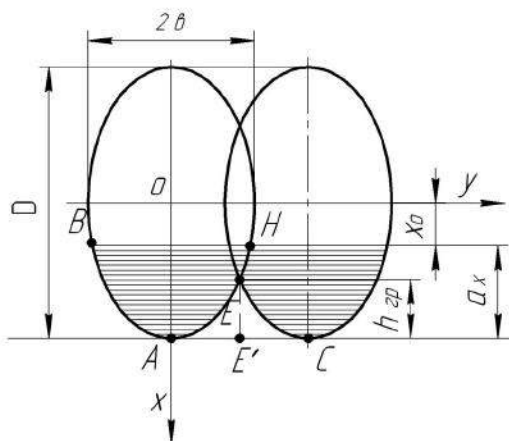


Рис. 2, а. Вертикальна проекція дисків із зонами перекриття

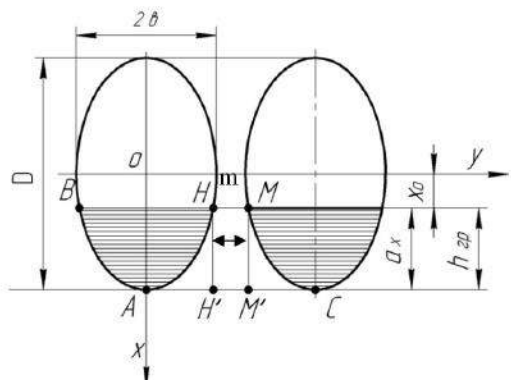


Рис. 2, б. Схема вертикальна: проекція дисків без зони перекриття

цілому та його складових).

Введемо наступні позначення: D – діаметр диска; θ – кут атаки; a_x – глибина ходу; h_{zp} – висота гребеня; v – відстань між дисками

$$\text{Знайдемо: 1) } F_{\text{ВНА}} = f(D, a_x, \theta)$$

$$2) F_{\text{АЕС}} = f(D, B, \theta),$$

де $F_{\text{ВНА}}$ і $F_{\text{АЕС}}$ – площа нормальної проекції диска, зануреного в ґрунт, і площа поперечного перерізу гребеня ґрунту, нерозпушеного суміжною парою дисків відповідно.

Візьмемо до уваги проекцію двох суміжних, занурених у ґрунт дисків знаряддя, на площину, яка нормальна до ходу агрегату, відносно прямокутної системи координат xOy (рис.2, а).

Обчислимо площу фігури ВНА, яка виражає проекцію частини диска, зануреного в ґрунт, і площу фігури АЕС, яка виражає поперечний переріз гребеня ґрунту, нерозпушеного суміжними дисками.

Нехай $D/2$ і $2v$ – осі еліпса, який є проекцією диска на нормальну площину до ходу агрегату. Тоді його рівняння має вигляд:

$$\frac{4x}{D^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (3)$$

Розв'язавши рівняння (1) відносно змінної y , матимемо:

$$y = \frac{b}{D} \cdot \sqrt{D^2 - 4x^2}, \quad (4)$$

де $0 < x \leq \frac{D}{2}$

Тоді площа фігури ВНА буде:

$$F_{\text{ВНА}} = 2 \int_{x_0}^{D/2} \frac{b}{D} \cdot \sqrt{D^2 - 4x^2} dx \quad (5)$$

Обчисливши інтеграл, що записаний у правій частині рівності (5), одержимо:

$$F_{\text{ВНА}} = \frac{b \cdot D}{2} \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{2x_0}{D} \right) - \frac{bx_0}{D} \cdot \sqrt{D^2 - 4x_0^2} \quad (6)$$

Враховуючи те, що (рис.2, а) $x_0 = \frac{D}{2} - a_x$ і

$2b = D \cdot \cos(90^\circ - \theta) = D \cdot \sin \theta$, тобто і $b = \frac{D}{2} \sin \theta$ з залежності (6),

після тотожних перетворень і спрощень одержимо:

$$F_{BHA} = \left[\frac{D^2}{4} \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{D - 2a_x}{D} \right) - \frac{D - 2a_x}{2} \cdot \sqrt{a_x \cdot (D - a_x)} \right] \cdot \sin \theta \quad (7)$$

Оскільки фігура AEC (рис 2, а) симетрична відносно вертикальної осі, то:

$$F_{AEE} = 2F_{AEE'} = 2 \left(AE' \cdot h_{zp} - \int_{-x_0}^{D/2} \frac{b}{d} \sqrt{D^2 - 4x^2} dx \right), \quad (8)$$

де $x_0 = \frac{D}{2} - h_{zp}$

Із рис. 2,а витікає, що

$$AE' = y \left(\frac{D}{2} - h_{zp} \right), \quad (9)$$

тому за допомогою рівняння (3) визначасмо:

$$AE' = \frac{2b}{D} \sqrt{h_{zp} (D^2 - h_{zp}^2)} \quad (10)$$

Крім цього,

$$\begin{aligned} I &= \int_{x_1}^{D/2} \frac{b}{D} \sqrt{D^2 - 4x^2} dx = \frac{b}{D} \cdot \int_{x_0}^{D/2} \sqrt{D^2 - 4x^2} dx = \\ &= \frac{bD}{4} \left(\frac{\pi}{2} \arcsin \frac{2x_1}{2D} \right) - \frac{bx_1}{2D} \sqrt{D^2 - 4x_1^2} \end{aligned} \quad (11)$$

Враховуючи одержані вище залежності для b_{\max_1} , рівності (10) і (11) представимо у вигляді:

$$AE' = \sqrt{h_{zp} (D - h_{zp})} \cdot \sin \theta \quad (12)$$

$$I = \frac{1}{2} \left[\frac{D^2}{4} \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{D - 2h_{zp}}{D} \right) - \frac{D - 2h_{zp}}{2} \cdot \sqrt{h_{zp} (D - h_{zp})} \right] \sin \theta \quad (13)$$

Залежність (8) з урахуванням (12) і (13) після спрощень набере вигляду:

$$F_{AEC} = \left[\frac{2h_{zp} + D}{2} \cdot \sqrt{h_{zp} (D - h_{zp})} - \frac{D^2}{4} \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{D - 2h_{zp}}{D} \right) \right] \sin \theta \quad (14)$$

З рис. 1 витікає залежність:

$$B = (D - 2h_{zp}) \cdot \operatorname{tg} \theta \quad (15)$$

Розв'язавши рівняння (14) відносно h_{zp} , матимемо:

$$h_{zp} = \frac{D \cdot \operatorname{tg} \theta - B}{2 \operatorname{tg} \theta} \quad (16)$$

Після підстановки замість h_{zp} виразу (14) у залежність (12) остання матиме вигляд:

$$F_{AEC} = \left[\frac{2D \cdot \operatorname{tg} \theta - B}{4 \operatorname{tg}^2 \theta} \sqrt{D^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \theta - B^2} - \frac{D^2}{4} \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{B}{D \cdot \operatorname{tg} \theta} \right) \right] \sin \theta \quad (17)$$

Залежність від (15) справедлива при умові:

$$D^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \theta - B^2 \geq 0 \quad (18)$$

Розв'язавши нерівність (15) відносно B , одержимо залежність:

$$B \leq D \cdot \operatorname{tg} \theta, \text{ де } 0 < \theta < 90^0 \quad (19)$$

Якщо кут θ вибраний, то відстань B між суміжними дисками потрібно розраховувати із умови (17).

У випадку, зображеному на рис. 2, б, площа фігури BHA також обчислюється за формулою (7).

Площа фігури $AHMC$ виразиться так:

$$F_{AHMC} = 2F_{ANH'} + F_{H'HMM'} \quad (20)$$

Площу фігури AHH' одержимо згідно з формулою (17)

$$F_{ANH'} = \frac{1}{2} \left[\frac{2D \cdot \operatorname{tg} \theta - B}{4 \operatorname{tg}^2 \theta} \cdot \sqrt{D^2 \operatorname{tg}^2 \theta - B^2} - \frac{D^2}{4} \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{B}{D \cdot \operatorname{tg} \theta} \right) \right] \sin \theta \quad (21)$$

Із рис. 2, б витікає, що:

$$F_{H'HMM'} = m \cdot h_{zp} = m \cdot \frac{D \cdot \operatorname{tg} \theta - B}{2 \operatorname{tg} \theta} \quad (22)$$

З урахуванням (21) і (22) рівність (20) представлено так:

$$F_{AHMC} = \left(\frac{2D \operatorname{tg} \theta - B}{4 \cdot \operatorname{tg}^2 \theta} \cdot \sqrt{D^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \theta - B^2} - \frac{D^2}{4} \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{B}{D \operatorname{tg} \theta} \right) \right) \sin \theta + \frac{m(D \cdot \operatorname{tg} \theta - B)}{2 \operatorname{tg} \theta} \quad (23)$$

За допомогою рис. 1 визначимо відстань між дисками:

$$B = \left(D + \frac{m}{\sin \theta} \right) \cdot \operatorname{tg} \theta \quad (24)$$

Висновки. Одержані значення площ зон деформації ґрунту дисками ґрунтообробних машин дають можливість визначити тяговий опір агрегату, проаналізувати енергозатрати на додаткове розпушування недеформованих зон. У подальших дослідженнях доцільно визначити тяговий опір та його складові у функції від технологічних параметрів до робочих органів та вирішення питання стабілізації руху агрегату в горизонтальній площині, наприклад, використовуючи додаткові робочі органи для обробітку недеформованих зон (гребенів), які одночасно будуть викликати поперечну реакцію ґрунту, але направлену в протилежну сторону від існуючої на дисках подібних зон характером дії.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка.* – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.: іл.
2. *Шелудченко Б.А., Фомін М.П., Шубенко В.О., Сітовський О.В.* Обґрунтування радіуса кривизни робочої тороїдальної поверхні дискового робочого органу // Збірник наукових праць Національного аграрного університету // «Механізація сільськогосподарського виробництва». К.: вид-во НАУ. - 1998. – Т 4. – С. 97-100.
3. *Кушнарєв С.А., Погорельий В.В., Чуб С.А.* Кинематика точок сферических дисков почвообрабатывающих орудий при взаимодействии с почвой // Вісник ХНТУСГ – Вып. 75. Т. 1. – Харків, 2008.- С.121-127.
4. *Кушнарєв С., Кравчук В., Чуб В.* Использование априорной информации для построения номинальных моделей взаимодействия сферических дисков дискаторов с почвой. - Техніка і технології АПК - № 2. - С. 20-25.
5. *Булгаков В.М., Шубенко В.О.,* Обґрунтування міцності конструкцій ротаційного кільцевого робочого органу // Збірник наукових праць Національного аграрного університету «Механізація сільськогосподарського виробництва». Т. 5. «Сучасні проблеми механізації сільського господарства». – К.: НАУ, 1999. – С.356-359
6. *Шевченко І.А.* Математическая модель взаимодействия дискового рабочего органа с почвой // Праці Таврійської державної аграрно-технологічної академії. – Мелітополь. ТДАТА, 1999. – Вип. 1. – С. 124-130.
7. *Лучинский Н.Д.* О расчете воздействия почвы на плоский и сферической диски// доклады ВАСХНИЛ. 1983. - № 5. – С. 38-39.

8. *Нартов П.С.* Дисковые почвообрабатывающие орудия /– Воронеж: Изд-во ВГУ, 1972. – 184 с.
9. *Карпов П.С.* Силовые характеристики вращающихся заторможенных сферических дисков. Тракторы и сельхозмашины - 1967 - № 5 - С. 25-26.
10. *Синеоков Г.Н.* Дисковые рабочие органы почвообрабатывающих машин /– М. –Л.: Машгиз, 1949.-86 с.
11. *Гуков Я.С.* Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для обробітку ґрунту в умовах України / Гуков Я.С. – К.:Нора-Принт, 1999. – 275 с.
12. *Польовий Б.П.* Шляхи вирішення технічних розрахунків дискових ґрунтообробних знарядь // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха. – 2009. – Вип.86. – С. 186-190
13. *Гриценко О.П.* Теоретичні дослідження стійкості руху асиметричної дискової борони // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха. – 2009.- Вип.86. – С. 89-100

АНАЛИЗ ЗОН ДЕФОРМАЦИИ ПОЧВЫ ПРИ РАБОТЕ ДИСКОВЫХ ОРУДИЙ

Приведены математические зависимости по определению площади зон деформации почвы дисковыми рабочими органами. Как основание для энергетического анализа процесса обработки почвы.

Ключевые слова: почва, обработка, диск, орудие, зона, деформация, площадь, сопротивление.

DEFINITION OF ZONES OF DEFORMATION OF THE SOIL WHEN USING DISK TOOLS

Shows the mathematical relationships to analysis the area of deformation zones of the soil working members disk. As a basis for energy analysis processing of the soil.

Key words: soil, processing, disk, tool, zone, the deformation, the area resistance.