

## РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСКОВОГО ПЛУГА ДЛЯ РОБОТИ В УМОВАХ ЕРОДОВАНИХ ГРУНТІВ

Теслюк Г.В., доцент, Волик Б.А., доцент

*Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет*

Семенюта А.М., к.т.н.

*ДП «Гуляйпільський механічний завод» ПАТ «Мотор-Січ»*

*В роботі обґрунтована доцільність використання дискового плуга для обробітку ґрунтів, що схильні до вітрової та водної ерозії. Запропонована конструкція диска, наведені основні положення аналітичної моделі його взаємодії з ґрунтом. Представлені результати польових досліджень.*

Постановка проблеми. Обробіток ґрунту в умовах еродованих ґрунтів має певні особливості. Як правило, такі ґрунти утворюються при занадто інтенсивній механічній обробці, яка призводить до появи на денній поверхні ерозійно небезпечних агрегатів. Друга особливість полягає в тому, що найбільш інтенсивно процес відбувається на ділянках, що мають ухил місцевості. Тому, задача ґрунтообробної машини при роботі на еродованих ґрунтах полягає в тому, щоб:

- максимально зменшити утворення ерозійно небезпечних агрегатів;
- забезпечити їх перенесення в нижні шари обробляемого шару;
- в разі ухилу місцевості - попередження зносу верхнього розпушеного шару ґрунту вниз вздовж ділянки.

Традиційно ці задачі вирішують відмовою від полицевого обробітку на користь плоскорізного. Але як показує практика, повна відмова від обробітку з обертом шару не бажана.

Дисковий плуг має суттєві переваги перед полицевим. Це менший тяговий опір і профіль борозни з гребенями на дні, що зменшує імовірність зсуву ґрунту. Але, його параметри відпрацьовувались для умов звичайної експлуатації, тобто без врахування еродованості ґрунтів. Таким чином, існує проблема його застосування саме в таких умовах [1,3,7].

Аналіз досліджень і публікацій. Відомо [2,5,8], що диски з внутрішніми вирізами забезпечують кращу якість та меншу енергоємність розпушення за рахунок того, що значна частина ґрунту, підрізаного зовнішньою різальною кромкою диска, проходить через вирізні вікна на його робочій поверхні і частково заповнює утворену борозну. Найбільш повно роботи дискового плуга в умовах півдня і центру України досліджено А.М.Семенютою [6], яким була доведена можливість його застосування в широкому діапазоні ґрунтово-кліматичних умов, аж до екстремальних. Об'єднує всі роботи те, що за основу в дослідженнях взяті сферичні диски, які інтенсивно обертають шар. В нашому випадку це не є бажаним.

Останнім часом в ґрунтозахисній технології з'явився так званий гребеневокулісний обробіток. Він полягає в тому, що стерня і рослинні рештки формуються в щільні стерньові куліси, які розміщуються у вигляді безперервних стрічок впоперек схилу. Обробіток виконують плугом, на якому замість передплужників встановлені плоскі диски. Нас зацікавило таке рішення. Перспектива його бачиться в тому, що замість встановлення додаткового диска, можна розробити дисковий плуг з дисками спеціальної конструкції, які забезпечать виконання технологічного процесу.

Метою роботи є обґрунтування раціональних конструктивних параметрів та дослідження дискового плуга, який забезпечує задану якість розпушення та утворює профіль борозни, що запобігає ерозії ґрунту.

Виклад основного матеріалу. Дисковий робочий орган (рис.1) повинен підрізати шар ґрунту і спрямувати його на поверхню диска. Завдяки вирізам 3 дрібні агрегати 2 повинні просипатись на дно борозни, а не порушений завдяки кореневій системі шар 4 виноситься за межі борозни і займає положення 5. Обертання шару не бажане, тому диск повинен бути плоским.

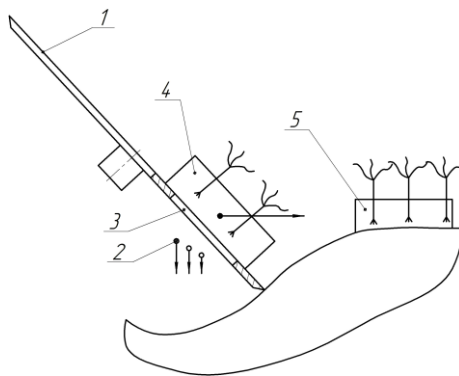


Рис. 1 – Схема гребеневокулісного обробітку ґрунту

Таким чином, для сталого виконання диском заявленого технологічного процесу необхідно обґрунтувати наступні його параметри :

- кути постановки диска до вертикалі і напрямку руху;
- розміри і кількість вирізів на його поверхні;
- ширину зовнішнього ободу диска.

За основу аналітичних досліджень нами взята теорія внутрішньої напруги А.М.Панченко [4]. Методика дозволяє оцінити прогнозований приведений діаметр агрегатів, що утворюються в ґрунті під дією робочого органу. Основні положення методики:

- робочий орган розглядається як сума нескінченно малих тригранних клинів;
- кожен клин виконує зминання шару ґрунту за напрямком руху і відколює так звану призму ґрунту, об'єм якої розпушується у відповідності до теорії внутрішньої напруги;
- визначається загальний об'єм елементарних призм ґрунту;
- методом чисельного інтегрування знаходиться загально площа поверхні призми ґрунту;

- визначається внутрішня напруга у сумарній призмі ґрунту і підраховується ступінь розпушення;
  - поділивши об'єм сумарної відколотої призми ґрунту на ступінь розпушення, отримуємо середньостатистичний об'єм утворюваних агрегатів.
- Для визначення площі поверхні та об'єму відколотої призми ґрунту розглянемо ряд розрахункових схем. Схема перша (рис.2.).

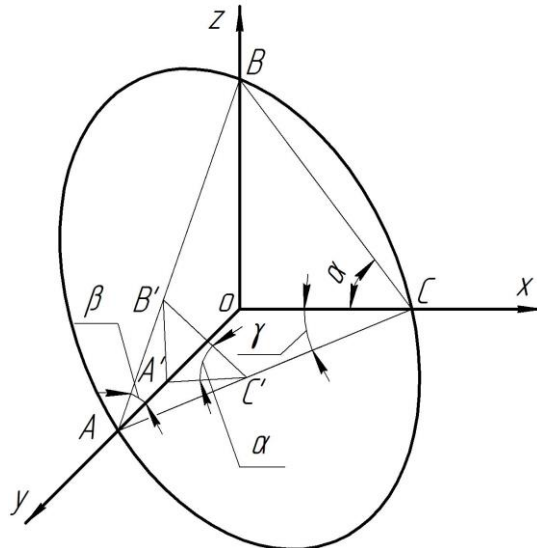


Рис. 2 – Розрахункова схема до визначення основних параметрів диска

Помістимо диск в систему координат таким чином, щоб напрямок його руху співпадав з віссю X. З'єднавши точки перетину диска з вісями координат отримуємо трикутник, який являє собою тригранний клин з кутами : розпушення  $\alpha$ , обертання  $\beta$  і зсуву  $\gamma$ . Поверхню диска можна розглядати як поверхню, що утворена переміщенням нескінченно тонких клинів A'B'C'. Від кожного елементарного клина розповсюджується лінія сколу (рис.3) [4].

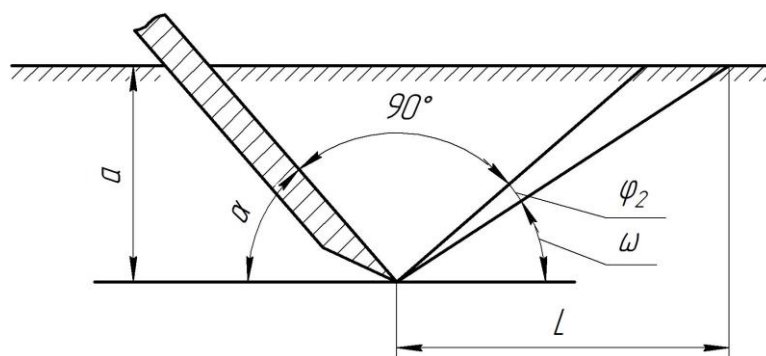


Рис. 3 – Схема розповсюдження ліній сколу від елементарного клина:

$a$  – миттєве значення глибини підкопування конкретним елементарним клином;  $\alpha$  – кут атаки клина (кут розпушення);  $\varphi_2$  – кут внутрішнього тертя ґрунту;  $\omega$  – напрямок розповсюдження лінії сколу

Підсумувавши дію всіх елементарних клинів отримуємо перевернуту призму відколотого ґрунту (рис.4). Прийнявши за основу дві попередні моделі

(рис.2 та 3) визначаємо площу поверхні, що утворюється при сколі призми. Вона може бути виражена аналітично, хоча кінцеве рівняння досить складне і громіздке.

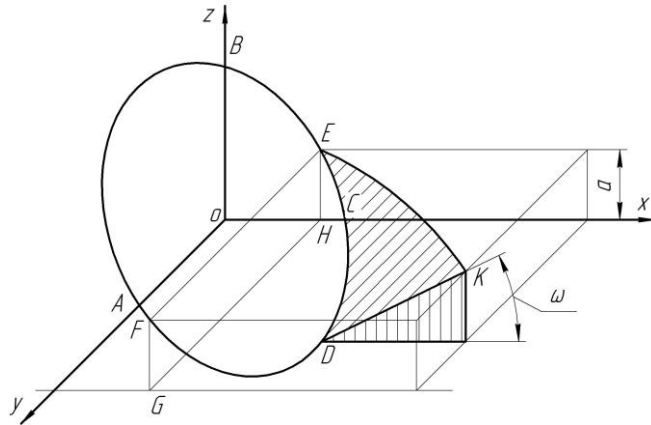


Рис. 4 – Схема формування відколотої призми ґрунту:

D – нижня точка борозни; а - глибина оранки.

Площа утвореної поверхні:

$$F_{СК} = \sqrt{\{(e-a) \cdot \operatorname{ctg} \alpha - a \cdot [\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_2)]\}^2 + (a \cdot \operatorname{ctg} \beta + 0,5 \cdot e \cdot \operatorname{ctg} \alpha)^2} \\ \sqrt{\{a \cdot [\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_2)] - a \cdot \operatorname{ctg} \alpha\}^2 + a^2}, \quad (1)$$

де

$$e = \frac{K \cdot R \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta}{\sqrt{\operatorname{ctg}^2 \alpha + \operatorname{ctg}^2 \beta}}, \quad (2)$$

де R – радіус диска;

$$K^2 = \left[ \frac{1}{\sin \beta} + \frac{1}{\sin \alpha} + \sqrt{\operatorname{ctg}^2 \alpha + \operatorname{ctg}^2 \beta} \right] \cdot \left[ -\frac{1}{\sin \beta} + \frac{1}{\sin \alpha} + \sqrt{\operatorname{ctg}^2 \alpha + \operatorname{ctg}^2 \beta} \right] \cdot \\ \left[ \frac{1}{\sin \beta} - \frac{1}{\sin \alpha} + \sqrt{\operatorname{ctg}^2 \alpha + \operatorname{ctg}^2 \beta} \right] \cdot \left[ \frac{1}{\sin \beta} + \frac{1}{\sin \alpha} - \sqrt{\operatorname{ctg}^2 \alpha + \operatorname{ctg}^2 \beta} \right]. \quad (3)$$

Опір різанню становить [4]:

$$P = C_{\text{вд}} \cdot F_{СК}, \quad (4)$$

де  $C_{\text{вд}}$  - питоме зчеплення часток ґрунту.

Графічний аналіз отриманих залежностей представлений на рисунку 5.

Значення питомого зчеплення часток ґрунту  $C_{\text{вд}} = 1,8 \text{ кН/м}^2$  і кута внутрішнього тертя ґрунту  $\varphi_2 = 30^0$  приймаємо за усередненими даними для Дніпропетровської області. Глибина робочого ходу  $a = 0,18 \text{ м}$ .

Кути постановки диска до напрямку руху і вертикалі прийняті за аналогією з серійними дисковими плугами.

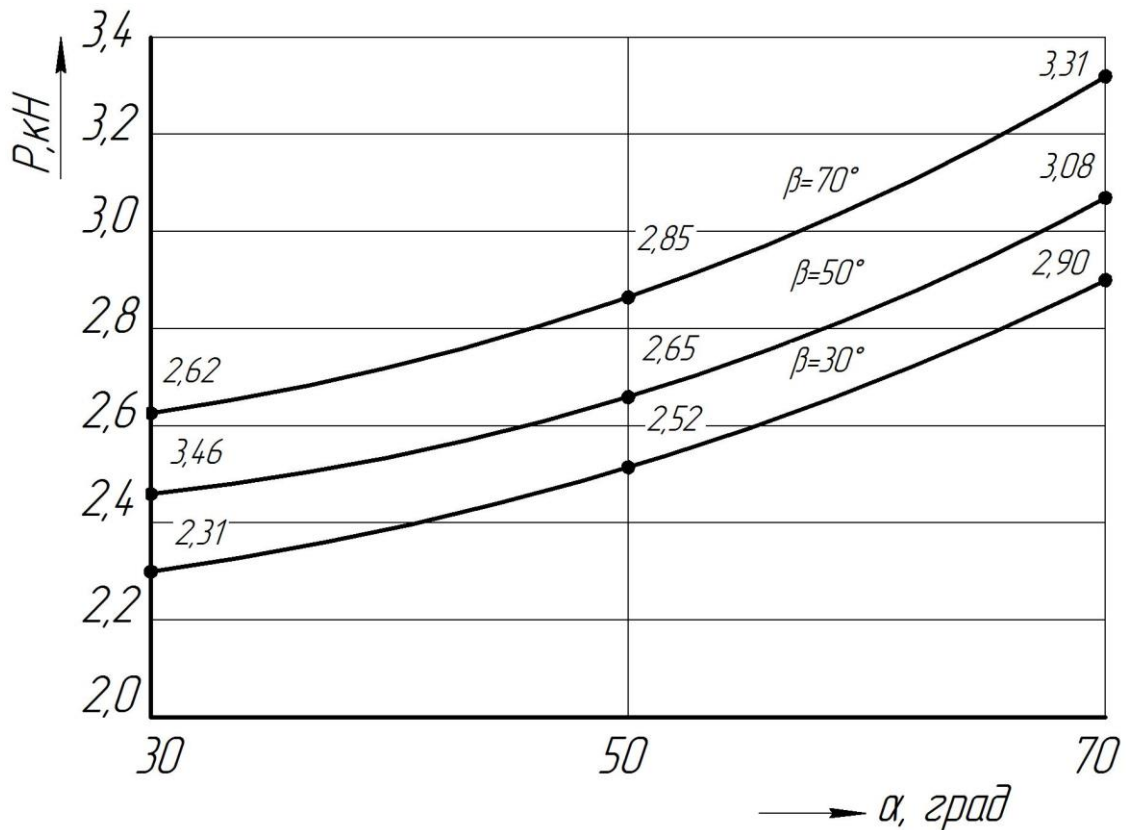


Рис. 5 – Залежність опору різання від кутів постановки диска до напрямку руху (α) і вертикалі (β)

Аналіз наведених залежностей показує зростання опору різання з зростанням кутів постановки і інтенсивність зростання збільшується. На наш погляд, це пов'язане з тим, що лінія сколу від дна борозни змінює свій напрямок розповсюдження і це призводить до непропорційного збільшення її довжини.

Слід також відмітити, що при кутах постановки до напрямку руху більше за  $50^\circ$  закон тріщиноутворення, який гласить, що лінія сколу розповсюджується вперед під кутом  $90^\circ + \varphi_2$  до леза, потребує внесення поправочних коефіцієнтів. Але у зв'язку з тим, що в літературних джерелах ці коефіцієнти рекомендовано знаходити експериментальним шляхом, нами введено невелике корегування в діапазоні  $k = 1,05 - 1,10$ .

За формулою (2.3) визначимо коефіцієнт подрібнення і приведений середній кінцевий діаметр агрегатів. В розрахунках прийнято [4] :

$$E = 37,5 \cdot 10^4 \text{ кН/м}^2$$

$$G = 638 \text{ кН/м}^2$$

Умовний початковий розмір структурованого агрегату

$$D_{k50H} = \sqrt[3]{a \cdot b_3 \cdot K_L} = \sqrt[3]{0,15 \cdot 0,3 \cdot 1} = 0,35 \text{ м}, \quad (5)$$

де  $a$  – глибина оранки;

$b_3$  – приведена ширина захвату (ширина захвату залежить від кутів постановки диска. Приймаємо максимальне значення  $b_3 = 0,3\text{ м}$ .);  
 $K_L = 1$  [4].

Приведений кінцевий діаметр агрегатів

$$D_{K50K} = \frac{D_{K50H}}{i} \quad (6)$$

Результати розрахунків показують, що коефіцієнт подрібнення знаходиться в діапазоні

$$5,25 < i < 7,09,$$

Що відповідає приведеному кінцевому діаметрі агрегатів

$$0,05 \text{ м} < D_{K50K} < 0,07 \text{ м}$$

Машина повинна забезпечувати сталу роботу у всьому діапазоні зміни кутів постановки дисків. Тому, вирізи в диску повинні забезпечувати проходження грудок діаметром до 70 мм. Для обґрунтування параметрів вирізу розглянемо розрахункову схему (рис.6.).

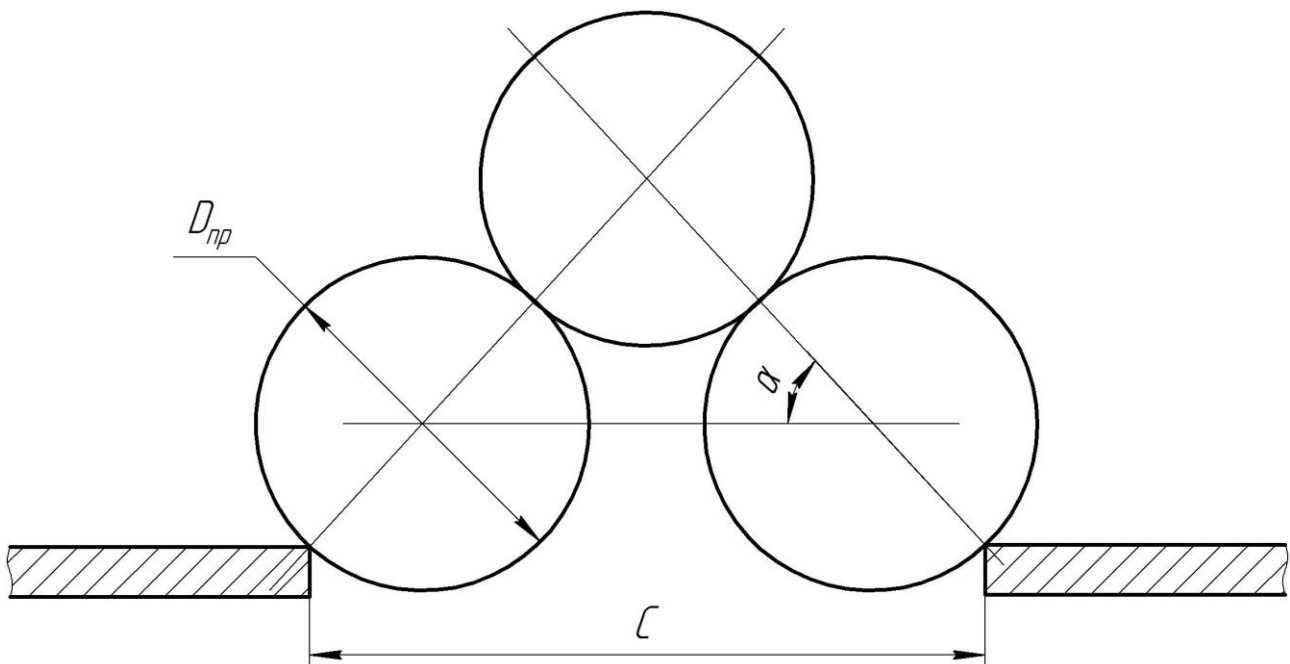


Рис. 6 – Розрахункова схема до визначення необхідної ширини вирізу

Для обґрунтування скористуємось основними положеннями теорії витікання через отвори (теорія бункера) А.М.Панченко. Уявимо, що ґрунтові агрегати близькі за розмірами до куль, діаметром  $D_{пр}$ . Положення таких агрегатів характеризується кутом укладання  $\alpha$ . Найбільш стійке положення утворюється тоді, коли цей кут становить  $60^\circ$ . Найменш стійке при  $\alpha = 90^\circ$ . Обидва ці положення малоймовірні кут укладання знаходиться в діапазоні:

$$60^\circ < \alpha < 90^\circ$$

В розрахунках приймаємо гірший варіант:

$$C > 3 \cdot D_{\text{ГР}} \cdot \cos \alpha = 3 \cdot 70 \cdot 0,866 = 182 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $C = 185 \text{ мм.}$

Довжина отвору за тією ж теорією повинна становити

$$L > \frac{4 \cdot r_0 \cdot (1 + 2 \cdot \sin \varphi_1)}{K_1 \cdot \gamma}, \quad (7)$$

де  $K_1 = 0,8$  – коефіцієнт форми (форма близька до прямокутної);  
 $r_0$  – зсувна характеристика (визначається за законом Кулона );  
 $\gamma = 1,4 \text{ т/м}^3$  – питома вага ґрунту;  
 $\varphi_1 = 35^\circ$  – кут зовнішнього тертя ґрунту по сталі.

Такі розміри дозволяють виконати 4 вирізи Таким чином, нами отримані параметри диска, які задовольняють вимогам технологічного процесу.

Для перевірки адекватності висунутої моделі було виконано ряд польових експериментів. На серійний трикорпусний дисковий плуг були встановлені диски запропонованої конструкції (рис.7) і плугом була оброблена ділянка з стернею багаторічних трав. Після проходження агрегату знімався шар ґрунту і просіювався на решетах класифікатора механічного стану.



Рис. 7 – Дослідний зразок дискового плуга

Аналіз отриманих даних показує наступне.

Коефіцієнт структурності в нижньому горизонті для обох дисків як суцільного, так і вирізного практично однаковий. Це є наслідком того, що нижня частина обробляється суцільною частиною вирізного диска і різниці практично не відчувається. Але верхній горизонт в вирізного диска відчуває меншу механічну дію і тому агрономічно цінних агрегатів утворюється значно менше і до того ж вони просипаються у нижні горизонти.

Кількість ерозійно небезпечних часток діаметром менше за 1,0 мм у верхньому шарі в разі вирізного диска до трьох разів менше. По-перше, їх менше утворюється, по-друге – вони просипаються в нижні шари.

В разі суцільного диска агрономічно цінні агрегат розподіляються однаково за всім оброблюваним шаром, що можна пояснити однаковою дією робочого органа. Але, ерозійно небезпечних часток в поверхневому шарі у двічі більше. Останнє можна пояснити додатковим розпушенням за рахунок ударної дії при відкиданні шару ґрунту.

Кількість агрегатів, які за приведеним діаметром більші за 75 мм, тобто які не пройшли крізь решето 75 мм в обох варіантах практично однакова. На наш погляд це пояснюється тим, що ці агрегати скріплює коренева система рослинних решток і для їх кришення треба більш інтенсивна дія робочого органа.

Вміст агрегатів з приведеним діаметром 50 – 70 мм за результати просіювання становить 60 – 70 відсотків, що в цілому відповідає визначеному аналітично.

Висновки. Проведеними польовими дослідженнями підтверджені основні положення робочої гіпотези про доцільність використання плоских вирізних дисків для роботи в умовах еродованих ґрунтів.

Аналіз отриманих експериментальних даних показує суттєву різницю в роботі суцільного і вирізного дисків. Вирізний диск практично не виносить з нижніх горизонтів мілкі агрегати, бо відсутній сам механізм такого винесення. Одночасно з цим, з поверхні видалені практично 90 – 95 % мілких агрегатів.

### Список використаних джерел

1. Ковбаса В. П. Напруження та вигляд напруженого стану у ґрунтовому напівпросторі перед дисковим робочим органом / В. П. Ковбаса, В. О. Дубровін // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. - Харків, 2003. - Вип. 20. – С. 150-157.
2. Мударисов С. Г. Дисковые орудия с адаптирующимися рабочими органами / С. Г. Мударисов // Картофель и овощи.– 2005. - №4. – С. 30 - 31.
3. Обґрунтування радіусу кривизни робочої тороїдальної поверхні дискового робочого органу ґрунтообробного знаряддя / Б. А. Шелудченко, М. П. Фомін, В. О. Губенко, О. В. Вітовський // Механізація



- сільськогосподарського виробництва: Збірник наукових праць Національного аграрного університету. – К., 1998. – Т. IV. - С. 97-100.
4. Панченко А. Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями / А. Н. Панченко.- Днепропетровск: ДГАУ, 1999. – 140 с.
  5. Результати польових досліджень дискового плуга в умовах півдня України / [Теслюк Г., Волик Б., Лісунов П., Лепеть Є.] // Техніка і технології в АПК: науково-виробничий журнал. – Дослідницьке, УкрЦВТ. – 2014. – Вип.6(57). – С.22-26.
  6. Семенюта А.М. Обґрунтування конструктивної схеми, параметрів та режимів роботи дискового плуга: автореф. дис..на здобуття ступеня канд.. техн. наук / А.М.Семенюта. – Мелітополь, 2014. – 23 с.
  7. Шевченко И. А. Математическая модель взаимодействия дискового рабочего органа с почвой / И.А. Шевченко // Праці ТДАТА. - Мелітополь, 1999. – Вип. 1, т.10.– С. 124 – 130.
  8. Шубенко В.О. Обґрунтування процесу роботи та параметрів кільцевого робочого органу дискової борони : дис. ...кандидата технічних наук : 05.05.11 / Шубенко Владислав Олексійович. – Житомир, 2001. – 155 с.

#### **Аннотация**

### **РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСКОВОГО ПЛУГА ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ ЭРОДИРОВАННЫХ ГРУНТОВ**

Теслюк Г.В., Волик Б.А., Семенюта А.Н.,

*В работе обоснована целесообразность использования дискового плуга для обработки почв, подверженных ветровой и водной эрозии. Предложена конструкция диска, приведены основные положения аналитической модели его взаимодействия с почвой. Представлены результаты полевых исследований.*

#### **Annotation**

### **DEVELOPMENT OF CONSTRUCTION AND RESEARCH OF DISK PLOUGH FOR WORK IN THE CONDITIONS OF THE WIND-ERODED SOILS**

G. Teslyuk, B. Volik, A. Semenuta

*We justify the appropriateness of the use of disk plow for soil exposed to wind and water erosion. Proposed konstruktsiya disk lists the general analytical model of its interaction with the soil. The results of field studies.*