

УДК 631.31

**Сиромятников Ю.М.<sup>1</sup>***канд. техн. наук, асистент кафедри технічних систем  
та технологій тваринництва ім. Б.П. Шабельника***E-mail:** gara176@meta.ua**Храмов М.С.<sup>2</sup>***асистент кафедри агроінженерії***E-mail:** khramov\_ns@mnaui.edu.ua<sup>1</sup>*Харківський національний технічний університет**сільського господарства ім. П.Василенка**Харків, Україна*<sup>2</sup>*Миколаївський національний аграрний університет**Миколаїв, Україна*

## ПРОЦЕС ПІДЙОМУ ҐРУНТУ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ҐРУНТООБРОБНОЇ РОЗРИХЛОВАЛЬНО-СЕПАРУЮЧОЇ УСТАНОВКИ

### *Анотація*

*Предметом дослідження є процес функціонування дискових робочих органів з лемішем ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої установки, що здійснює підйом та сепарацію. При переміщенні леміша на малих глибинах (0,03...0,1 м) рух ґрунту по ньому ускладнюється через утворення ґрунтового валка, перед лемішем. Ґрунт при цьому розпушується і розсипається на сторони, не забезпечуючи необхідного підпору, для переміщення його до розрихлювально-сепаруючого пристрою. Для того, щоб ґрунт не зріджувався і не розсипався на сторони, по обидва боки леміша встановлені пасивні обертові диски. Об'єктом дослідження є дискові елементи підйомно-підрізаючого пристрою, які дозволяють суттєво підвищити ефективність технологічного процесу руху ґрунту по лемішу при одночасному зниженні питомої енергоємності. Вихідна інформація для обґрунтування дослідження отримана шляхом аналізу літературних джерел. Визначено, що збільшення радіусу паралельно розташованих вільно обертових плоских дисків з 0,175 до 0,270 м призводить до підвищення товщини шару ґрунту на леміші не більше ніж на 17%. Зі збільшенням кінематичного параметру обертання дисків від 0 до 0,6 зріджування ґрунту на леміші знижується у 2,73 рази, з 0,6 до 1,0 – у 1,25 рази і з 1,0 до 1,2 – у 1,04 рази. Встановлено, що збільшення кута постановки леміша спочатку призводить до зниження рівня ґрунту на ньому і досягає мінімуму при куті, близькому до 25°. При подальшому збільшенні кута рівень ґрунту на леміші зростає.*

*Експериментально доведено, що найбільший вплив на граничну відстань між дисками при якому підйом пласта ґрунту лемішем здійснюється без заклинювання – це вологість ґрунту. Актуальність полягає в тому, що одночасне використання пасивних дискових робочих органів разом з лемішем дозволяє вдосконалити методи передпосівного обробітку ґрунту для покращення його агротехнічного стану.*

**Ключові слова:** *розрихлювально-сепаруюча установка; робочі органи; леміш; гранична відстань; вологість ґрунту; ефективність; напрямні диски; зріджування ґрунту; кінематичний параметр; радіус дисків.*

**Вступ.** Проблема зниження негативного впливу способів механізованого обробітку ґрунту та витрат енергії на його проведення виникли в першій половині минулого сторіччя та є актуальною в міру збільшення інтенсифікації виробництва і маси сільськогосподарської техніки. Сучасні світові тенденції на отримання екологічно чистої продукції вимагають хоча б часткової відмови від хімічних засобів боротьби з бур'янами.

Робочі органи ґрунтообробних машин не забезпечують раціонального впливу на ґрунт з точки зору агрономічної науки і еколого-економічних вимог. Тому для вдосконалення процесів обробки ґрунту необхідний комплексний підхід до питань зменшення руйнування робочими органами машин і знарядь структури ґрунту і розробки технологічних процесів, що забезпечують оптимізацію його агрофізичних властивостей і вдосконалення технологій вирощування сільськогосподарських культур з метою зниження витрат енергії на одиницю отриманої продукції.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Виходячи з аналізу досліджень можливо зробити висновок, що поверхневий обробіток ґрунту проводиться з метою кришіння його верхнього шару, подрібнення поживних залишків, знищення бур'янів і вирівнювання поверхні поля [1, 2, 3, 4].

В ґрунті при обробці традиційними ґрунтообробними знаряддями і машинами розвивається складний напружений стан від спільної дії деформацій стискання, розтягання і зсуву. При цьому превалюючими є деформація стискання і зсуву. Оскільки ґрунт відноситься до анізотропних матеріалів з міцністю при розтяганні значно меншим, ніж міцність при стисканні, доцільно використовувати робочі органи, що відривають ґрунт від масиву [5].

Секція ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої установки, оснащена плоскими вільно обертовими дисковими робочими органами [6, 7], була запропонована як альтернатива існуючим конструкціям з метою підвищення ефективності технологічного процесу руху ґрунту по лемішу при одночасному зниженні питомої енергоємності процесу.

Питанням дослідження процесів взаємодії робочих органів з ґрунтом займалися багато вчених: В.П. Горячкін, П.М. Василенко, Т.М. Синьококов, В.І. Ветохін, Ф.М. Конарєв, В.Ф. Пашенко та ін.

На підставі проведених досліджень [8,9,10,11,12,13,14,15] розроблено шляхи вдосконалення технологічних процесів обробки ґрунту, зниження енергоємності [16,17, 18] та збереження його родючості.

В дослідженнях В.Ф. Пашенка було обґрунтовано профілі ґрунтообробних робочих органів машини для створення раціональних агрофізичних властивостей ґрунту. Було отримано рівняння для визначення раціонального кута підйому ґрунту в залежності від його властивостей, які визначаються кутом тертя ґрунту по металу [10].

Проаналізувавши літературні джерела можна зазначити, що в силу відсутності загальної теорії взаємодії пасивних дискових робочих органів з ґрунтом, багато питань пов'язаних з їх функціонуванням не отримали належного розв'язку.

**Мета.** Метою публікації є проведення аналізу процесу взаємодії плоского диску з ґрунтом що переміщується перед лемішем, визначити відстань між паралельно розташованими пасивними дисками, за якої підйом лемішем шару ґрунту не призведе до його заклинювання.

**Методологія дослідження.** Теоретичні дослідження проводилися шляхом математичного моделювання та аналізу літературних джерел, експериментальні – на базі ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої установки з використанням пасивних дискових робочих органів.

**Результати досліджень.** При переміщенні установки [6, 19], плоскі вільно обертові диски сприяють відриву шару ґрунту від масиву, і переміщенню його по лемішу. Одночасно стрілочата лапа забезпечує заглиблення та підйом шару ґрунту, часткове кришіння та утворює ґрунтове ядро перед лемішем, яке рухаючись, потрапляє на сепаруючу решітку. Також диски обмежують згужування ґрунту з леміша на сторони.

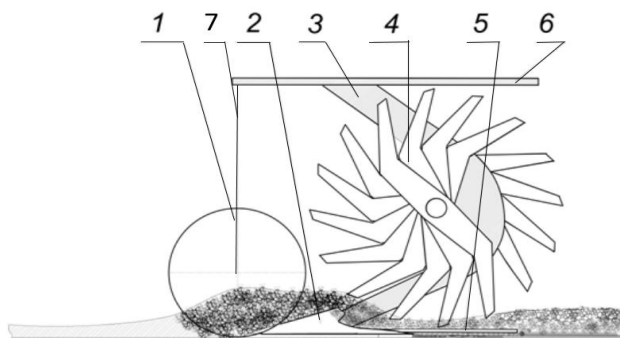


Рис. 1. Принципова схема установки:

1 – плоский диск; 2 – леміш; 3 – стійка; 4 – роторний робочий орган; 5 – сепаруюча решітка;  
6 – рама; 7 – кронштейн

Припустимо, що бокова поверхня дисків взаємодіє з частинками ґрунту, що переміщуються під дією леміша і не зміщує їх. В такому випадку рівняння руху частинки відносно диска мають вигляд:

$$x_i = (R_i \cos \alpha_i - v_n t) \cos \omega t + (R_i \sin \alpha_i + z_n) \sin \omega t;$$

$$z_i = (R_i \cos \alpha_i - v_n t) \sin \omega t - (R_i \sin \alpha_i + z_n) \cos \omega t,$$

де  $R_i$  – відстань від осі обертання диска до розглянутої точки;

$\alpha_i$  – кут, що характеризує розташування частинки за глибиною  $h$ ;

$v_n$  – проекція відносної швидкості руху ґрунту за лемішем на напрямок руху машини;

$t$  – час руху;

$\omega t$  – кут повороту дисків.

Напрямок сили тертя частинки ґрунту з диском збігається з вектором його відносної швидкості, що діє за дотичною до траєкторії руху. Останнє описується рівнянням [9]:

$$z_k = \frac{A_1}{B_1} x_k - \frac{C_1}{B_1},$$

де  $x_k, z_k$  – поточні координати дотичної лінії;

$$A_1 = \dot{z}; \quad B_1 = \dot{x}; \quad C_1 = \dot{z}x - z\dot{x}.$$

Тоді

$$A_1 = [\omega(R_i \cos \alpha_i - v_n t) - \dot{z}_n] \cos \omega t +$$

$$+ [\omega(R_i \sin \alpha_i + z_n) - v_n] \sin \omega t;$$

$$B_1 = [\omega(R_i \sin \alpha_i + z_n) - v_n] \cos \omega t -$$

$$- [\omega(R_i \cos \alpha_i - v_n t) - \dot{z}_n] \sin \omega t;$$

$$C_1 = \omega(R_i \cos \alpha_i - v_n t)^2 + \omega(R_i \sin \alpha_i + z_n)^2 -$$

$$- R_i(v_n \sin \alpha_i + \dot{z}_n \cos \alpha_i).$$

Полярна відстань моменту сил тертя частинки ґрунту відносно осі обертання диска знаходиться за формулою [9]:

$$I_n = \frac{|C_1|}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}}.$$

Після підстановок і перетворень отримаємо:

$$l_n = \left[ \omega(R_i \cos \alpha_i - v_n t)^2 + \omega(R_i \sin \alpha_i + z_n)^2 - R_i(v_n \sin \alpha_i + \dot{z}_n \cos \alpha_i) \right] / \left\{ \left[ \omega(R_i \cos \alpha_i - v_n t) - \dot{z}_n \right]^2 + \left[ \omega(R_i \sin \alpha_i + z_n) - v_n \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (1)$$

Для отримання рівняння граничної лінії, що розділяє зони тертя, прирівняємо  $l_{II}$  до нуля. Якщо відлік часу почнемо з моменту попадання частинки ґрунту на граничну лінію, тоді рівняння (1) перетвориться до виду

$$R_i = \frac{1}{\omega} (v_n \sin \alpha_i + \dot{z}_n \cos \alpha_i). \quad (2)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість плоского диска.

Схема розподілу зон тертя на бічній поверхні плоского диска, отримана на підставі рівняння (2), показана на рис. 2. Аналіз зміни напрямку дії сил тертя диска з рухомим по лемішу ґрунтом показує, що більш сприятливою є зона поза граничною лінією. У цій зоні кут між вектором швидкості руху ґрунту і напрямком дії на нього сил тертя дисків найменша, що створює найбільш сприятливі умови для зниження згужування ґрунту на леміші. Тому параметри і режими роботи пристрою для підйому ґрунту повинні підбиратися з умов одержання найменшої площі зони, в якій сили тертя сприяють обертанню дисків. За таких умова на підставі рівняння (2) отримаємо:

$$\omega \geq \frac{v_n}{R - h};$$

де  $h$  – глибина ходу дисків.

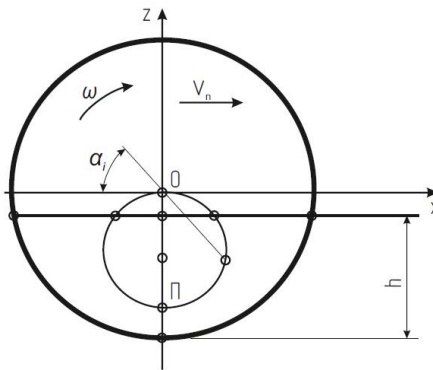


Рис. 2. Схема розподілу зон тертя на поверхні плоского диска

Вертикальний зсув ґрунту під впливом леміша залежить від його геометричної форми, яку розглянуто у вигляді полінома  $n$ -го порядку

$$z_n = k_0 + k_1 x + k_2 x^2 + \dots + k_n x^n,$$

де  $k_0, \dots, k_n$  – коефіцієнти, які визначають геометричний профіль леміша.

При усталеному русі ґрунту за лемішем будемо вважати, що  $x = v_n t$ , тоді

$$z_n = k_0 + k_1 v_n t + k_2 (v_n t)^2 + \dots + k_n (v_n t)^n.$$

Продиференціював рівняння за часом прийнятої раніше системи відліку ( $t = 0$ ), отримаємо  $\dot{z}_n = k_1 v_n$ , де  $k_1$  – тангенс кута нахилу дотичної до кривої, що описує профіль леміша.

У такому випадку рівняння (2) можна записати у вигляді:

$$R_i = \frac{R\tau}{\lambda} (\sin \alpha_i + k_1 \cos \alpha_i), \quad (3)$$

де  $\lambda = \frac{\omega R}{v_m}$  – кінематичний параметр обертання дисків;

$\tau = \frac{v_n}{v_m}$  – співвідношення між поступальною швидкістю ґрунту і робочих органів установки.

Аналіз рівняння (3) з точки зору впливу сил тертя дисків на ґрунт показує, що умови руху ґрунту покращуються зі зменшенням радіусу дисків і кута нахилу леміша, а також зі збільшенням кінематичного параметра обертання дисків і згужування ґрунту на леміші. На рис. 3-5 наведено залежності згужування ґрунту на леміші в залежності від радіуса дисків, кінематичного параметра їх обертання і кута постановки леміша. З рис. 3 видно, що збільшення радіусу дисків з 0,175 до 0,270 м призводить до підвищення товщини шару ґрунту на леміші не більше ніж на 17%.

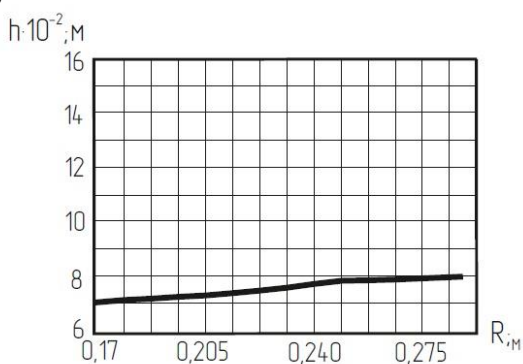


Рис. 3. Вплив радіусу дисків на величину згужування ґрунту

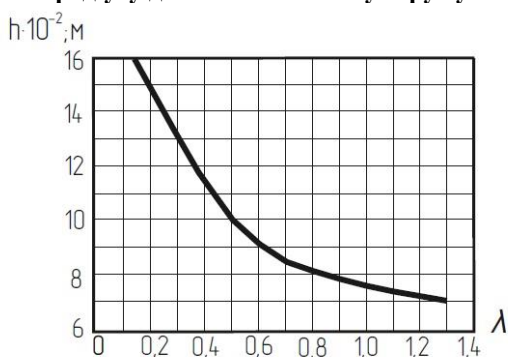
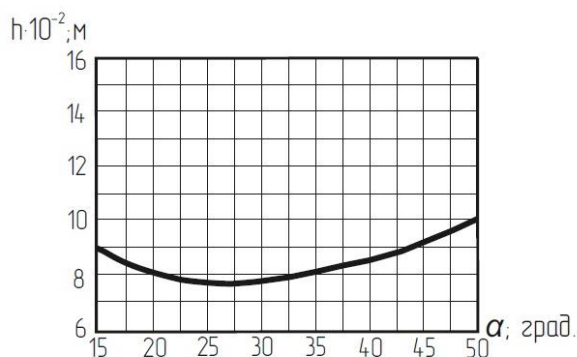


Рис. 4. Вплив кінематичного параметра обертання дисків на величину згужування ґрунту

З рис. 4 видно, що зі збільшенням кінематичного параметра обертання дисків від 0 до 0,6 згужування ґрунту на леміші знижується у 2,73 рази, з 0,6 до 1,0 – у 1,25 рази і з 1,0 до 1,2 – у 1,04 рази.



**Рис. 5.** Вплив кута постановки леміша на величину згружування ґрунту

З рис. 5 видно, що збільшення кута постановки леміша спочатку призводять до зниження рівня ґрунту на ньому і досягає мінімуму при куті, близькому до 25°. При подальшому збільшенні кута рівень ґрунту на леміші зростає.

Для проведення експериментів з визначення відстані між пасивними направляючими дисками було використано ґрунтообробну розрихлювально-сепаруючу установку, яка виконує процес обробки посівного шару ґрунту рис. 6.



**Рис. 6.** Ґрунтообробна розрихлювально-сепаруюча установка з використанням пасивних дискових робочих органів

Відстань, при якій починається процес підйому ґрунту дисками, назовемо граничною.

Дослідження з визначення вологості ґрунту і глибини ходу дисків на величину граничної відстані між ними проводились в польових умовах за допомогою однієї секції установки (рис. 7), що має можливість зміни відстані між дисками.



Рис. 7. Секція установки, що має можливість зміни відстані між дисками

Вологість ґрунту визначалась методом термічної сушки у п'ятикратній повторності. Зразки ґрунту масою 0,03–0,04 кг уклалися у алюмінієві склянки, зважувались та висушувались у шафі за температури 105°C протягом восьми годин. Після сушки зразки ґрунту знов зважувались і вологість ґрунту визначалась за формулою:

$$W_a = \frac{m_g - m_c}{m_c} \cdot 100\% ,$$

де  $m_g, m_c$  – відповідно маса вологого і сухого ґрунту, кг.

За результатами експериментальних досліджень побудовано графік залежності пройденної відстані між дисками від вологості ґрунту і глибини їх ходу (рис. 8). Видно, що зі збільшенням вологості ґрунту і глибини ходу дисків гранична відстань між ними збільшується за кривою другого порядку.

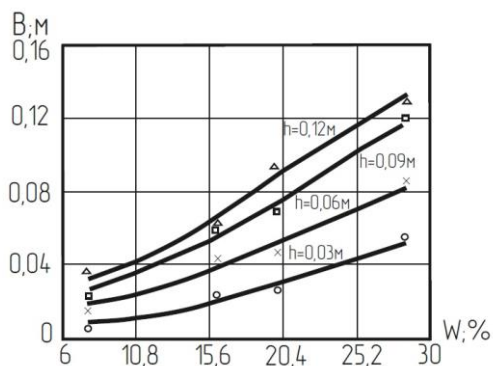


Рис. 8. Залежність пройденного шляху між дисками від вологості ґрунту і глибини їх ходу

Дисперсійний аналіз отриманих даних показав, що найбільший вплив на граничну відстань між дисками має вологість ґрунту – 72,1%, вплив глибини їх ходу складає 19,9% і парна їх взаємодія – 7,7%. При цьому середньоквадратична помилка досліджу

дорівнювала 0,0014 м, достовірність досліду – 99%.

**Висновки і перспективи.** Відстань між направляючими пасивними дисками, при яких підйом шару ґрунту лемішем здійснюється без заклинювання між ними в основному визначається вологістю ґрунту і глибиною їх ходу. Аналіз процесу взаємодії плоского диска з ґрунтом, що переміщається по лемішу, показує, що зі збільшенням кінематичного параметра обертання дисків і зі зменшенням їх радіусу умови для переміщення ґрунту по лемішу покращуються.

#### Список використаних джерел

1. Пашенко В. Ф., Сыромятников Ю.Н., Храмов Н.С. Физическая сущность процесса взаимодействия с почвой рабочего органа с гибким элементом. *Сельское хозяйство*. 2017. № 3. – С. 33-42. DOI: 10.7256/2453-8809.2017.3.24563. Retrived from: [http://e-notabene.ru/sh/article\\_24563.html](http://e-notabene.ru/sh/article_24563.html)
2. Пашенко В. Ф., Сыромятников Ю.Н. Почвообрабатывающая приставка к зерновой сеялке в технологиях «No-till». *Аэкономика: экономика и сельское хозяйство*. 2018. № 3 (27). С. 6.
3. Пашенко В. Ф. Сыромятников Ю.М., Храмов М.С. Ґрунтообробна установка з використанням гнучкого робочого органу для контролю росту бур'янів. *Овочівництво і багаторічність*. 2018. № 64.С.33–44. DOI: 10.32717/0131-0062-2018-64-33-43.
4. Сыромятников Ю.Н. Исследование процесса работы экспериментального культиватора для сплошной обработки почвы. *Аэкономика: экономика и сельское хозяйство*. 2018. № 4 (28). С. 4.
5. Сыромятников Ю. М. Вдосконалення робочих органів для підрізання та підйому ґрунту розрихлювально-сепаруючою машиною. *Інженерія природокористування*. 2017. №. 2 (8). С. 74-77.
6. Сыромятников Ю. Н. Повышение эффективности технологического процесса движения почвы по лемеху почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины. *Сельское хозяйство*. 2017. № 1. С. 48-55. DOI: 10.7256/2453-8809.2017.1.22037.
7. Сыромятников Ю. Н. Обоснование профиля лемеха с направляющими дисками почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины. *Сельское хозяйство*. 2017. № 2. С. 18-29. DOI: 10.7256/2453-8809.2017.2.23150. Retrived from: [http://e-notabene.ru/sh/article\\_23150.html](http://e-notabene.ru/sh/article_23150.html)
8. Горячкин В. П. Собрание сочинений. Т. 1. 2-е изд. Москва : Колос, 1968. 719 с.
9. Василенко П. М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. Киев : УАСХН, 1960.284с.
10. Синееков Г. Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. Москва : Машиностроение, 1977. 328 с.
11. Ветохін В. Аналіз співвідношення тягового опору та заглиблюючої сили ґрунтообробного клину стосовно робочих органів різного типу. *Техніка і технології АПК*. 2012. № 8. С. 26-30.
12. Канарев Ф.М. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия. Москва : Машиностроение, 1983.139 с.
13. Пашенко В.Ф., Корниенко С.И., Гусаренко Н.П. Теория воздействия рабочих органов орудий на почву: монография. Харьков: ХНАУ, 2013. 89 с.
14. Сыромятников Ю.Н. Показатели качества работы почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №3. С. 38-44. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-3-38-44
15. Нанка О.В. Сыромятников Ю.М. Вплив частоти обертання ротора ґрунтообробної експериментальної установки на показники якості. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2019. №. 15. С. 96-110.
16. Сыромятников Ю. Н. Обоснование формы наральника минимального тягового сопротивления. *Сільськогосподарські машини*. 2018. № 39. С.117-132.
17. Сыромятников Ю. Н. Совершенствование рабочих органов ротора рыхлительно-сепарирующей почвообрабатывающей машины обеспечивающих минимальные затраты энергии на его работу. *Інженерія природокористування*. 2018. № 1 (9). С. 91-95.
18. Храмов М.С., Сыромятников Ю.М. Визначення тягового опору установки для підйому ґрунту в залежності від кута постановки направляючих дисків. *Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 113-ї річниці від дня народження Крамарова В.С.* Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2020. С. 223-225.



19. Пашченко В.Ф., Сиромятников Ю.М., Храмов М.С. Патент на корисну модель №138435 «Ґрунтообробний агрегат» заявник та патентовласник Миколаївський національний аграрний університет. № u201905684; заявл. 24.05.19.

*Дата надходження статті до редакції: 02.08.2020  
1 рецензування 09.09.2020 Прийняття в друк: 22.12.2020*

**Syromyatnikov Yu. N.<sup>1</sup>**

*Ph.D. (Engineering), assistant of the department of technical systems  
and technologies of animal husbandry nd. a. B.P. Shabelnik*

**E-mail:** gara176@meta.ua

**Khramov N. S.<sup>2</sup>**

*assistant of the department of agroengineering*

**E-mail:** khramov\_ns@mnaeu.edu.ua

<sup>1</sup>*Kharkiv national technical University of Agriculture nd. a. Petro Vasylenko  
Kharkiv, Ukraine*

<sup>2</sup>*Mykolayiv national agrarian University  
Mykolayiv, Ukraine*

## **THE PROCESS OF TRIMMING AND RAISING THE SOIL BY THE WORKING BODIES OF THE SOIL TREATMENT AND SEPARATION INSTALLATION**

### **Abstract**

*The subject of the research is the process of functioning of disk working bodies and a ploughshare of the soil-cultivating loosening-separating installation, which carries out lifting and separation of the soil. When moving the ploughshare at shallow depths (0.03 ... 0.12 m), the movement of the soil along it is complicated by the formation of a soil roll, which is formed in front of the ploughshare. The soil is loosened and scattered to the sides, not providing the necessary support required to move it to the loosening-separating device. Passive rotating disks are installed on both sides of the ploughshare so that the soil does not clump and scatter to the sides. The object of the study are the disk elements of the lifting and trimming device, which can significantly increase the efficiency of the technological process of soil movement on the ploughshare while reducing the specific energy consumption of the process. The initial information to substantiate the study was obtained by analyzing the literature. It is determined that increasing the radius of parallel freely rotating flat disks from 0.175 to 0.270 m leads to an increase in the thickness of the soil layer on the ploughshare by no more than 17%. With increasing kinematic parameter of rotation of the disks from 0 to 0.6 soil compaction on the ploughshare decreases by 2.73 times, from 0.6 to 1.0 - by 1.25 times and from 1.0 to 1.2 - by 1, 04 times. It is established that increasing the angle of the ploughshare initially leads to a decrease in the soil level on it and reaches a minimum at an angle close to 25 °. With a further increase in the angle, the soil level on the ploughshare increases.*

*It has been experimentally proved that the greatest influence on the limiting distance between the disks at which the lifting of the soil layer by the ploughshare is carried out without jamming is the soil moisture. The relevance lies in the fact that the simultaneous use of passive disk working bodies together with a ploughshare allows to improve the methods of pre-sowing tillage to improve its agronomic qualities.*

**Keywords:** *loosening-separating installation; working bodies; ploughshare; maximum distance; soil moisture; efficiency; guide disks; soil compaction; kinematic parameter; disk radius.*

### **References**

1. Pashchenko, V.F., Syromyatnikov, Yu.N., & Hramov, N.S. (2017). Fizicheskayasushchnost' processavzaimodejstviya s pochvojrabochegoorgana s gibkimehlementom[The physical essence of the process of interaction with the soil of the working element with a flexible element], *Sel'skoehozyajstvo*, 3.33-42. DOI: 10.7256/2453-8809.2017.3.24563. [in Russian]
2. Pashchenko, V.F. & Syromyatnikov, Yu.N. (2018). Pochvoobratyvyayushchaya pristavka k

zernovojseyalke v tekhnologiyah «No till» [The tillage attachment for grain seeders in technology «No till»]. *Aehkonomika: ehkonomikaiselskoe hozyajstvo*, 3(27), 6. [in Russian]

3. Pashhenko, V. F., Siromjatnikov, Yu.M., & Hramov, M.S. (2018). Gruntoobrobna ustanovka z vikoristannjam gnuchkogo robochogo organu dlja kontrolju rostu bur'janiv [Tillage system using a flexible working body to control weed growth]. *Ovochivnictvo i bashstannictvo*, 64, 33-44. DOI: 10.32717/0131-0062-2018-64-33-43 [in Ukrainian]

4. Syromyatnikov, Yu. N. (2018). Issledovanie processa raboty eksperimental'nogo kul'tivatora dlya sploshnoj obrabotki pochvy [Investigation of the operation process of an experimental cultivator for continuous tillage]. *Aehkonomika: ehkonomikaisel'skoe hozyajstvo*, 4 (28), 4. [in Russian]

5. Siromyatnikov, Yu. M. (2017). Vdoskonalennya robochih organiv dly apidriznnyatapidjomugruntoorozrihlyuval'no-separuyuchoyumashinoyu [Improvement of working bodies for pruning and lifting of soil by loosening-separating machine]. *Inzheneriya prirodokoristuvannya*, 2 (8), 74-77. [in Ukrainian]

6. Syromyatnikov, Yu.N. (2017). Povyshenie ehffektivnosti tekhnologicheskogo processa dvizheniya pochvy polemekhupochvo obrabatyvayushchej ryhlitel' no-separiruyushchejmashiny [Increase of efficiency of technological process of movement of soil on a share of a soil-cultivating ripping-separating machine]. *Sel'skoe hozyajstvo*, 1, 48-55. DOI: 10.7256/2453-8809.2017.1.22037 [in Russian]

7. Syromyatnikov, Yu.N.(2017). Obosnovanie profilya lemexha s napravlyayushchimi diskami pochvoobrabatyvayushchej ryhlitel'no-separiruyushchej mashiny [Justification of the profile of the share with the guide discs of the tiller ripper-separating machine]. *Selskoe hozyajstvo*, 2, 18-29. DOI: 10.7256/2453-8809.2017.2.23150. Retrived from: [http://e-notabene.ru/sh/article\\_23150.html](http://e-notabene.ru/sh/article_23150.html) [in Russian]

8. Goryachkin, V.P. (1968). *Sobranie sochinenij T.1, 2-e izd* [Collected Works, part 2, 2-nd edition]. Moscow: Kolos. [in Russian]

9. Vasilenko, P.M. (1960). *Teoriyadvizheniyachasticyposherohovatympoverhnostyamsel'skoe hozyajstvennyhmashin* [The theory of particle motion on rough surfaces of agricultural machinery]. Kyiv : UASKHN. [in Russian]

10. Sineokov, G.N., Panov, I.M. (1977). *Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchih mashin* [Theory and calculation of tillage machines]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian]

11. Vetohin, V. (2012). Analiz spivvidnoshennya tyagovogooporu ta zagliblyuyuchoisiligruntoobrobnohogoklinustosovnorobochih organiv riznogotipu [Analysis of the ratio of traction resistance and the depth of force of the soil working wedge relative to the working bodies of various types]. *Tekhnika i tekhnologii APK*, 8, 26-30. [in Ukrainian]

12. Kanarev F.M. (1983). *Rotacionnyepochvoobrabatyvayushchiamashinyorudiya* [Rotary tillage machines and implements]. Moscow: Mashinostroenie. [in Russian]

13. Pashchenko, V.F., Kornienko, S.I., Gusarenko, N.P. (2013). *Teoriyavozdejstviyarobochihorganovorudijnapochvu* [The theory of the impact of the working bodies of tools on the soil]. Har'kov: HNAU, 89. [in Russian]

14. Syromyatnikov, Yu. N. (2018). Pokazateli kachestva raboty pochvoobrabatyvayushchej ryhlitel'no-separiruyushchej mashiny [Performance indicators of the soil cultivating loosening and separating machine]. *Sel'skoe hozyajstvennye mashiny i tekhnologii*, 12, 38-44. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-3-38-44. [in Russian]

15. Nanka, O.V. & Siromjatnikov, Yu.M. (2019). Vpliv chastoti obertannja rotora gruntoobrobnoï eksperimental'noï ustanovki na pokazniki yakosti [Influence of rotor speed of tillage experimental installation on quality indicators]. *Tekhnichnij servis agropromislovogo, lisovogo ta transportnogo kompleksiv*, 15, 96-110. [in Ukrainian]

16. Siromyatnikov, Yu. N. (2018). Obosnovanie formy naral'nika minimal'nogo tyagovogo soprotivleniya [Justification of the shape of the minimum traction resistance]. *Sil's'kogospodars'ki mashini*, 39, 117-132. [in Russian]

17. Syromyatnikov, Yu. N. (2018). Sovershenstvovanie robochih organov rotoraryhlitel'no-separiruyushchej pochvoobrabatyvayushchej mashiny obespechivayushchih minimal'nye zatraty ehnergii na egorobotu [Improvement of the working bodies of the rotor of the loosening-separating tillage machine, ensuring the minimum energy consumption for its operation]. *Inzheneriya prirodokoristuvannya*, 1 (9), 91-95. [in Russian]

18. Hramov, M.S. & Siromjatnikov, Yu.M. (2020). Vznachennja t'jagovogo oporu ustanov kidljapidjomu rruntuv zalezhnosti vid kuta postanovki na pravljajuchih diskiv [Determination of traction

resistance of the installation for lifting the soil depending on the angle of the guide disks]. *Zbirnik tez dopovidej VII Mizhnarodnoi naukovo-tehnichnoi konferencii «Kramarivs'ki chitannja» z nagodi 113-i richnici vid dnja narodzhennja Kramarova V.S.* Kiïv : Vidavnicij centr NUBiPUkraïni, 223-225. [in Ukrainian]

19. Pashhenko, V.F., Siromjatnikov, Yu.M., & Hramov, M.S. (2019). Patent nakorisnu model' №138435 *Gruntoobrobni jagregat* [Tillage unit]. Zajavnik ta patentovlasnik Mikolaïvs'kij nacional'nij agrarnij universitet, № u 2019 05684, zajavl. 24.05.19. [in Ukrainian]

*Received: 08/02/2020*

*Revision: 09/04/2020 Accepted: 12/22/2020*