

Конструкція і теорія сільськогосподарських машин
Construction and theory of agricultural machines

УДК 631.316.6

Конструкція ножа ротора розрихлювально-сепаруючого
пристрою ґрунтообробної машиниВ.Ф. Пащенко¹, О.В. Нанка², Ю.М. Сиромятников³

Харківський національний технічний університет
сільськогосподарства імені Петра Василенка (м. Харків, Україна)
¹ ovoch.iob@gmail.com, ² info@khntusg.com.ua, ³ gara176@meta.ua

Предметом дослідження є процес функціонування робочих органів ротора ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої машини яка змінює структуру і щільність оброблюваного шару ґрунту відповідно до вимог агрономічної науки. Розглянуто конструкцію ножа ротора розрихлювально-сепаруючого пристрою ґрунтообробної машини. Для визначення значення відносної швидкості елемента ґрунту по лезу ножа ротора склали диференціальне рівняння відносно руху елемента ґрунту по лезу ножа, скориставшись для цього методом викладеним у теорії руху частки ґрунту по шерехатим поверхням П.М. Василенка, але при цьому розглянуто рух елемента ґрунту не по поверхні, а по лезу ножа. Об'єктом дослідження є ніж ротора, форма робочої кромки якого забезпечує його обертання з мінімальними витратами енергії на роботу. При виконанні роботи застосовані теоретичні дослідження з використанням механіко-математичного моделювання взаємодії робочих органів з ґрунтом. Вихідна інформація для обґрунтування дослідження отримана шляхом аналізу літературних джерел. Дано обґрунтування конструкції ножа ротора розрихлювально-сепаруючого пристрою ґрунтообробної машини яка забезпечить його обертання з мінімальними витратами енергії на роботу за умови зменшення розкидання ґрунту, і запобігання сгужування його на сепаруючій решітці. Актуальність полягає в тому, що теоретично обґрунтована конструкція ножа ротора розрихлювально-сепаруючого пристрою ґрунтообробної машини дозволить удосконалити методи передпосівної обробки ґрунту для поліпшення її агротехнічних якостей, з мінімальними витратами енергії. Цільова група споживачів інформації в статті - конструктори, фахівці які займаються розробкою ґрунтообробних робочих органів.

Ключові слова: ґрунт, крутний момент, робота ножа, енергія, сепаруюча решітка, ротор.

Вступ. Технологічні операції обробки ґрунту при безвідвальній системі землеробства спрямовані на створення сприятливих умов для накопичення та збереження вологи, зростання і розвитку рослин, контролю бур'янів [1].

Завданням передпосівної обробки ґрунту є розпушування верхнього шару на глибину загорання насіння, що забезпечує дрібногрудкувату будову посівного шару, вирівнювання поверхні поля, ущільнення ложа на глибину посіву насіння, закладення внесених добрив, знищення пророслих бур'янів та збереження вологи в оброблюваному шарі ґрунту.

Передпосівна обробка ґрунту супроводжується перерозподілом дрібних та великих частинок по глибині оброблюваного шару. Робочі органи знарядь, переміщаючись у ґрунті, виштовхують великі грудки на поверхню, а дрібні просипаються донизу. Зі збільшенням кількості обробок

перерозподіл часток ґрунту, тобто її сепарація по глибині обробки, посилюється. Причому багаторазові обробки ґрунту перед посівом призводять до збільшення числа великих частинок ґрунту в зоні загорання насіння, що є небажаним.

Постановка задачі. Застосовувані в даний час способи підготовки ґрунту до посіву мають суттєві недоліки і не можуть повністю задовольнити агротехнічні вимоги. У зв'язку з цим виникла необхідність пошуку нового способу підготовки ґрунту. Спосіб включає в себе такі процеси, як підрізання ґрунту на глибину загорання насіння, підняття підрізаного шару у вертикальній площині, сепарацію ґрунту [2].

Сепарація ґрунту досить трудомістка, тому що при швидкості руху агрегату 2 м/с через неї треба пропускати в одну секунду близько 20 кг ґрунту. При цьому необхідно забезпечити добре його подрібнення.

Відома ґрунтообробна машина КПр-3,2 для оптимізації фізико-механічних властивостей ґрунту на глибину до 18 см, за допомогою перерозподілу агрономічне цінної фракції по глибині оброблюваного шару ґрунту. На рисунку 1 показано загальний вид машини.



Рис. 1. Машина для обробки орного шару ґрунту: 1 – рама; 2 – опорні колеса; 3 – ротор; 4 – сепаруюча решітка; 5 – леміш

ґрунтообробна машина складається з рами, двох опорних коліс, плоскоріжучих стрілочастих лап, до яких приварені прутки сепаруючої решітки, ротора та його приводу. Привід ротора здійснюється від валу відбору потужності трактора з частотою обертання $540 \pm 20 \text{ хв}^{-1}$. У приводі ротора є запобіжна муфта та двоступеневий редуктор, що дозволяє регулювати частоту його обертання в залежності від необхідної якості кришіння шару ґрунту [3]. Глибина обробки ґрунту регулюється за допомогою гвинтових механізмів опорних коліс.

Працює машина наступним чином. Плоскоріжуча лапа, що складається з бруса та наклепаних 11-ти сегментних лап (рис. 2), підрізає пласт ґрунту та подає його на сепаруючу решітку. Ножі ротора захоплюють ґрунт, переміщують її по сепаруючій решітці з одночасним його кришінням. Дрібні грудки ґрунту проходять через зазори сепаруючої решітки, великі – ножами ротора переміщуються у верхні шари ґрунту. При цьому на поверхню ґрунту викидаються великі грудки та кореневища рослин, у тому числі й коренепаросткових бур'янів. У результаті сепарації оброблюваного шару ґрунту відбувається диференціація його за структурним складом, а на поверхні з поживних залишків утворюється мульчований шар [4]. Ножі ротора, переміщуючись у проміжках сепаруючої решітки, очищають її та самі очищаються від налиплого ґрунту й рослинних залишків.

Застосування на комбінованій машині активного робочого органу (ротора) дозволяє за один прохід агрегату забезпечити високу якість обробки ґрунту. А взаємодія активно-пасивних робочих органів дозволяє поліпшити якість кришіння шару ґрунту з одночасним зниженням енергетичних витрат [5, 6]. Активні робочі органи кришають пласт ґрунту, що підрізаний та піднятий сегментним брусом, переміщуючи ґрунт по сепаруючій решітці, перерозподіляючи його за структурою, тим самим забезпечують у зоні загортання насіння дрібногрудкувату структуру.

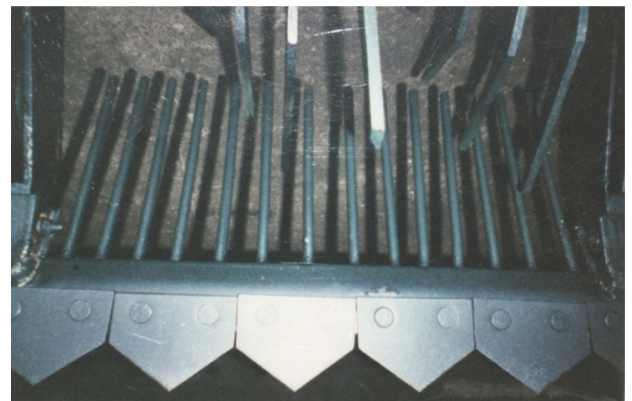


Рис. 2. Робочі органи машини КПр-3,2: 1 – ротор; 2 – сепаруюча решітка; 3 – підрізаючий пристрій

Однак ножі активного робочого органу (ротора) не виключають можливості заклинювання ґрунту між ножем та прутками у момент входу його у сепаруючу решітку.

Аналіз досліджень та публікацій. З літературних джерел відомо, що витрати енергії на привід ротора будуть мінімальними при найменших значеннях його радіуса та кутової швидкості обертання, які допускаються поступальною швидкістю руху машини та агротехнічними вимогами [7-9].

У нашій комбінованій машині дрібногрудкувата будова ґрунту у зоні загортання насіння забезпечується шляхом перерозподілу його часток по глибині посівного шару, що виключає необхідність інтенсивно кришити ґрунт [10, 17]. Ніж ротора у момент входу у ґрунт не повинен перешкоджати руху його по сепаруючій решітці [11].

У процесі роботи ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої машини близько 30% від загальних витрат енергії витрачається на привід ротора. Одним з основних факторів, що визначають енергоємність роботи ножа ротора є профіль його робочої кромки. При взаємодії ножа ротора з ґрунтом крутильний момент не є величиною постійною та змінюється за часом залежно від

положення щодо сепаруючої решітки. Аналіз роботи показав, що крутильний момент досягає найбільшої величини при максимальному зануренні його у ґрунт, тобто у момент входу його у проміжки сепаруючої решітки [12]. За допомогою методу прямого варіаційного обчислення була отримана форма робочої кромки ножа, яка забезпечує мінімальні витрати енергії на роботу як окремого ножа, так й ротора у цілому. Найбільш повним показником роботи ножа ротора є витрата енергії на виконання одного повного циклу, тобто одного обороту ножа [13]. Розглянуто роботу ножа ротора розрихлювально-сепаруючої машини у положеннях щодо ґрунту та сепаруючої решітки. Три фази роботи ножа ротора: від моменту входження ножа у ґрунт до сепаруючої решітки, моменту руху ножа над сепаруючою решіткою, від моменту руху ножа над сепаруючою решіткою до виходу ножа з ґрунту. Крива лінія, побудована за рівнянням

$$Z = 147,4458X^3 - 640,8217X^2 - 0,3575X \quad (1)$$

показує раціональний профіль робочої частини ножа ротора за мінімальними витратами енергії на його роботу, що забезпечує найкращі умови для транспортування ґрунту в початковий момент входження його у ґрунт та мінімальні витрати енергії на його привід. Однак не виключає можливості заклинювання ґрунту між ножем та прутками у момент входу його у сепаруючу решітку.

Формулювання цілей статті. Обґрунтувати конструкцію ножа ротора розрихлювально-сепаруючого пристрою ґрунтообробної машини, що забезпечить його обертання за мінімальними витратами енергії на роботу за умови зменшення розкидання ґрунту, та запобігання сгужування його на сепаруючій решітці.

Основний матеріал. Кут між ножами, радіус ротора, кількість ножів, геометричні параметри ножа, відстані між ножами, є конструктивними параметрами ротора, які залежать один від одного.

Мінімальний радіус ротора R_{min} вибирається з таким розрахунком, аби його ножі проходили у проміжках сепаруючої решітки по всій його робочій довжині. При цьому вісь ротора повинна розташовуватися над поверхнею ґрунту, що знаходиться на сепаруючій решітці.

Із трикутника OAB (рис. 3) маємо:

$$OB = \sqrt{OA^2 + AB^2}, \quad (2)$$

де при $\psi_p = 0$

$$AO = a + a_3 + a_4 + r_B - \frac{h_1}{2}, \quad (3)$$

$$OB = R_{min}, \quad (4)$$

$$AB = \frac{l}{2}, \quad (5)$$

де a_3 – величина розпушеного ґрунту, м; a_4 – проміжок між поверхнею ґрунту та віссю вала ротора, м; r_B – радіус вала ротора, м; l – робоча довжина сепаруючої решітки, м; h_1 – товщина дрібногрудкуватого шару ґрунту, необхідного для покриття насіння, м.

Отже

$$R \geq \sqrt{\left(a + a_3 + a_4 + r_B - \frac{h_1}{2}\right)^2 + \frac{l^2}{4}} \quad (6)$$

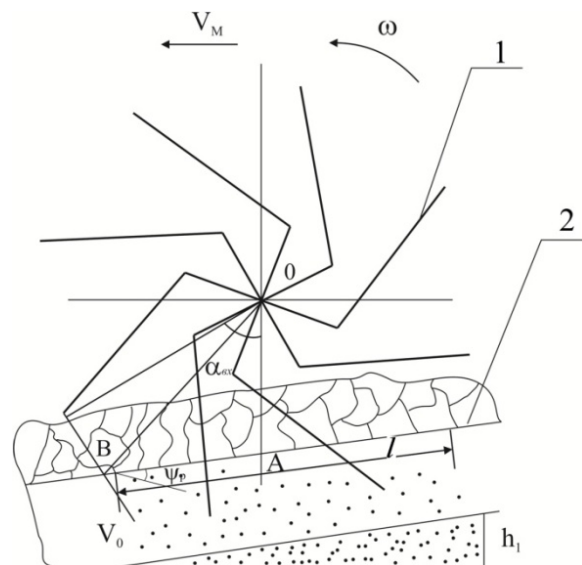


Рис. 3. Схема для визначення параметрів розрихлювально-сепаруючих робочих органів:
 1 – ротор, 2 – сепаруюча решітка

Геометричні параметри ножа ротора за відомим радіусом визначаються кутами ψ , γ та β (рис. 4).

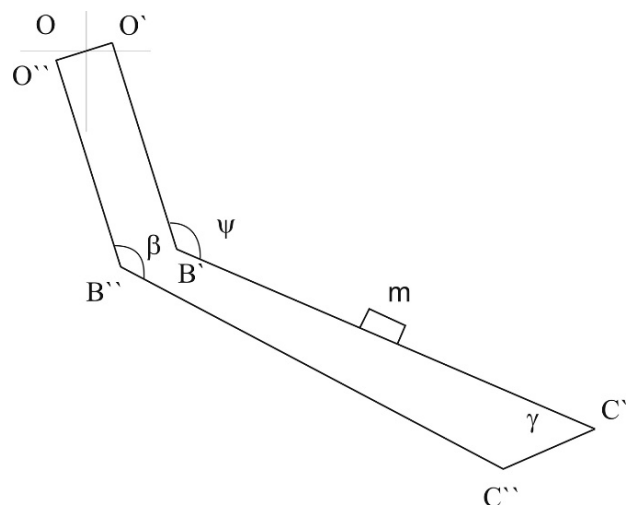


Рис. 4. Схема ножа ротора

До однієї з задач технологічного процесу ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої машини входить сепарація оброблюваного шару ґрунту, розшарування його за структурним складом. Внаслідок цього на поверхню ґрунту викидаються великі грудки ґрунту, післяжнивні залишки та рослини з коренем.

Для досягнення останнього геометричні параметри ножа ротора при даному радіусі визначаються кутом ψ нахилу пологої дотичної до про-

філю ножа у найбільш невідгідному його положенні (рис. 5). Найменший кут нахилу дотичної до профілю ножа матимуть після виходу його з ґрунту, який переміщується по сепаруючій решітці. Для обґрунтування кута ψ розглянемо рух елемента ґрунту по лезу ножа ротора за умови, що ротор обертається у площині щодо точки «0» з постійною кутовою швидкістю $\omega = \text{const}$. Елемент ґрунту «m» здійснює складний рух: переносний – навколо точки «0» та відносний – по лезу ножа ротора.

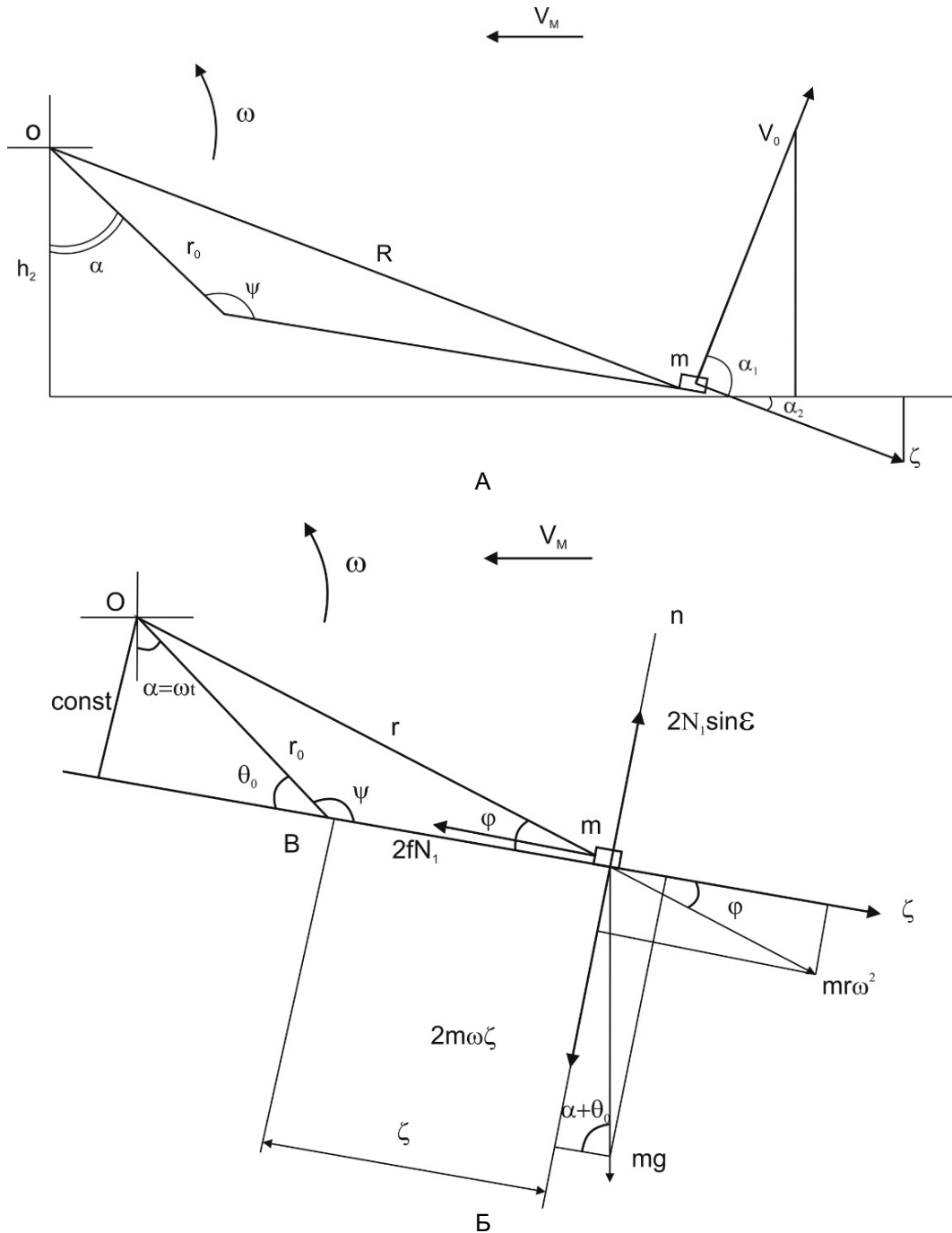


Рис. 5. Схема до визначення конструктивного кута ножа ротора ψ

Задача ножа ротора полягає в тому, щоб переміщати ґрунт по сепаруючій решітці, запобігати його залипанню та виштовхувати великі частки ґрунту на поверхню. При цьому розкидання ґрунту повинно бути зведено до мінімуму. Как видно з рис. 5, зі зменшенням величини кута ψ виштовхуюча здатність ножа ротора підвищується. Однак при цьому зменшується відносна швидкість руху елемента ґрунту «т» по лезу ножа ротора, що може призвести до зміщення ґрунту по ходу руху машини та його сгужуванню на сепаруючій решітці.

Отже, результуюча швидкість зсуву частки ґрунту з леза ножа не повинна перевищувати поступальної швидкості руху розрихлювально-сепаруючої машини та повинна бути спрямована горизонтально в бік, протилежно цій швидкості, тобто (див. рис. 5 а)

$$V = V_M = \sqrt{V_0^2 + \zeta^2} \quad (7)$$

де V – результуюча швидкість зсуву елемента ґрунту «т» з ножа ротора, м/с; V_M – поступальна швидкість машини, м/с; V_0 – обвідна швидкість ножа ротора, м/с; ζ – відносна швидкість елемента ґрунту «т» по лезу ножа ротора, м/с.

Однак, при заданих частоті обертання ротора та його радіусі, виконання цієї умови не представляється можливим. Тому для зменшення розкидання ґрунту та запобігання сгужуванню його на сепаруючій решітці кут ψ вибираємо таким, щоб сума проєкцій складових рівнодійної швидкості зсуву частки ґрунту з ножа ротора на горизонтальну площину дорівнювала поступальній швидкості машини та була спрямована у протилежний бік.

Підставою для виконання цих вимог є такі передумови. Як показано на рис. 5 а, переміщення елемента ґрунту по лезу ножа буде обумовлюватися співвідношенням між геометричними параметрами ножа (розміром початкового радіуса r_0 та кутом ножа ψ) а також кінематичними елементами обертального руху ротора (значенням кута α та кутовою швидкістю ω).

Під час зсуву, для виконання зазначених умов, необхідно, щоб (див. рис. 5 а)

$$V_M = V_0 \cdot \cos \alpha_1 + \zeta \cos \alpha_2 \quad (8)$$

Звідси відносна швидкості руху частинки по лезу ножа ζ визначається за формулою

$$\zeta = \frac{V_M - V_0 \cdot \cos \alpha_1}{\cos \alpha_2} \quad (9)$$

Як видно з рис. 5а

$$\alpha_1 = \arccos \frac{h_2}{R}, \quad (10)$$

$$\alpha_2 = \frac{\pi}{2} - \arccos \frac{h_2}{R} - \arcsin \frac{r_1}{R} \sin(\pi - \psi). \quad (11)$$

Тоді

$$\zeta = \frac{V_M - V_0 \frac{h_2}{R}}{\sin \left\{ \begin{array}{l} \arccos \frac{h_2}{R} - \\ - \arcsin \left[\frac{r_1}{R} \sin(\pi - \psi) \right] \end{array} \right\}}, \quad (12)$$

де h_2 – відстань від осі обертання ротора до поверхні, що знаходиться на сепаруючій решітці, r_0 – початковий радіус ножа, ψ – кут ножа.

Для визначення значення ζ складаємо диференціальне рівняння щодо руху елемента ґрунту «т» по лезу ножа, скориставшись для цього методом, викладеним у теорії руху частки ґрунту по шерехатим поверхням П.М. Василенко [14]. Але при цьому розглянемо рух елемента ґрунту не по поверхні, а по лезу ножа.

Результуюча реакцій поверхонь крайки ножа визначиться з виразу

$$\bar{N} = \bar{N}_1 + \bar{N}_2 \quad (13)$$

де \bar{N}_1 та \bar{N}_2 – реакції поверхонь крайки ножа ротора, Н.

При цьому, вважаємо, що $N_1 = N_2$.

Результуюча цих сил дорівнює:

$$N = 2N_1 \cdot \sin \varepsilon, \quad (14)$$

де ε – кут утворений ножем по мірі занурення у ґрунт

Сили тертя елемента ґрунту «т» о метал леза ножа ротора спрямовані уздовж двох крайок ножа у сторону, протилежну напрямку відносної швидкості ζ . Результуюча цих сил дорівнює

$$F_{TP} = 2tg\varphi \cdot N_1 \quad (15)$$

де φ – кут нахилу рівнодійної сил опору

Будемо вважати, що прямолінійний ніж ротора обертається у площині щодо точки O з постійною кутовою швидкістю ω . Елемент ґрунту з масою m здійснює складний рух: переносний – навколо точки O та відносний – по лезу ножа ротора. Крім того, на елемент ґрунту «т» діє сила інерції $m\omega^2$, сила тяжіння mg (його вага), Кориолісова сила $2m\omega\zeta$, нормальна сила N та сила тертя Nf [14].

Рух частинки буде забезпечено при виконанні умови

$$m\omega^2 \cos \theta + mg \cos(\alpha + \theta_0) > Nf. \quad (16)$$

Проектуючи на нормаль до ножа всі діючі на частку сили, отримаємо значення нормальної сили

$$N = 2m\omega\zeta + mg \sin(\alpha + \theta_0) + m\omega^2 \sin \theta. \quad (17)$$

Зв'язок відстані ζ з кутами α та θ_0 знаходиться за допомогою відомих формул рішення косокутних та прямокутних трикутників (див. рис. 5):

$$h = \frac{r_0 \sin \theta_0}{\sin(\alpha + \theta_0)} + \left[\frac{r_0 \sin \theta_0}{\sin(\alpha + \theta_0)} + \zeta \right] \times \cos(\alpha + \theta_0), \quad (18)$$

де h – відстань від осі обертання ротора до поверхні ґрунту, що знаходиться на сепаруючій решітці.

Після перетворення рівняння одержимо

$$\zeta = \frac{h}{\cos(\alpha + \theta_0)} - \frac{r_0 \sin \theta_0}{\sin(\alpha + \theta_0) \cos(\alpha + \theta_0)} - \frac{r_0 \sin \alpha}{\sin(\alpha + \theta_0)}. \quad (19)$$

Рівняння руху у проекціях на прийняті осі координат ζ та n запишуться

$$m\ddot{\zeta} = mg \cdot \cos(\alpha + \theta_0) + mr\omega^2 \cdot \cos \theta - 2\text{tg}\varphi \cdot N_1, \quad (20)$$

$$0 = 2N_1 \cdot \sin \varepsilon - mg \cdot \sin(\alpha + \theta_0) - mr\omega^2 \cdot \sin \theta - 2m\omega\dot{\zeta}. \quad (21)$$

З рисунку 5 видно, що

$$h_2 = r_0 \cdot \sin \theta_0 = r \cdot \sin \theta = \text{const}, \quad (22)$$

$$r_0 \cdot \cos \theta_0 + \zeta = r \cdot \cos \theta, \quad (23)$$

де ζ – відстань елемента « m » ґрунту від точки В. m – маса елемента ґрунту; $\ddot{\zeta}$ – прискорення руху елемента ґрунту по лезу ножа ротора; ω – кутова швидкість обертання ножа ротора; $\dot{\zeta}$ – відносна швидкість руху елемента ґрунту по лезу ножа ротора; r – радіус обертання елемента ґрунту; φ – кут між радіусом обертання елемента ґрунту та лезом ножа ротора; f – коефіцієнт тертя; α – кут повороту ножа ротора; θ_0 – кут між прямою, що проходить по лезу ножа та його плечем; N_1 – сила нормальної дії ножа ротора на елемент ґрунту. r_0 – початковий радіус ножа.

Виключивши з рівнянь (20) нормальну реакцію N_1 та з урахуванням рівнянь (22), отримуємо

$$m\ddot{\zeta} = mg \cdot \cos(\alpha + \theta_0) + m\omega^2 r_0 \cdot \cos \theta + m\zeta\omega^2 - fm \frac{g}{\sin \varepsilon} \cdot \sin(\alpha + \theta_0) - fm \frac{r_0 \cdot \sin \theta_0}{\sin \varepsilon} \omega^2 - 2m \cdot \text{tg}\varphi \cdot \omega \frac{\dot{\zeta}}{\sin \varepsilon}, \quad (24)$$

або

$$\ddot{\zeta} + 2 \frac{\text{tg}\varphi}{\sin \varepsilon} \omega \dot{\zeta} - \omega^2 \zeta = A \cdot \sin \alpha + B \cdot \cos \alpha + r_0 \omega^2 D, \quad (25)$$

де

$$A = -g \left(\sin \theta_0 - \frac{\text{tg}\varphi}{\sin \varepsilon} \cdot \cos \theta_0 \right); \quad (26)$$

$$B = g \left(\cos \theta_0 - \frac{\text{tg}\varphi}{\sin \varepsilon} \cdot \sin \theta_0 \right); \quad (27)$$

$$D = \cos \theta_0 - \frac{\text{tg}\varphi}{\sin \varepsilon} \cdot \sin \theta_0; \quad (28)$$

$$\alpha = \omega t. \quad (29)$$

Розв'язавши рівняння (25) та визначивши довільні постійні за умови $\zeta = 0$ та $\dot{\zeta} = 0$ при $t = 0$, отримуємо [14]

$$\zeta = ae^{\lambda_1 t} + be^{\lambda_2 t} - c \sin \omega t - d \cos \omega t - e, \quad (30)$$

де

$$a = \frac{\left(\frac{\text{tg}\varphi}{\sin \varepsilon} \cdot A - B \right) \lambda_2 - \left(A - \frac{\text{tg}\varphi}{\sin \varepsilon} B \right) \omega}{2\omega^2 \left(1 + \frac{\text{tg}^2 \varphi}{\sin^2 \varepsilon} \right) (\lambda_2 - \lambda_1)} - \frac{r_0 \lambda_2 D}{\lambda_2 - \lambda_1}; \quad (31)$$

$$b = \frac{\left(A - \frac{\text{tg}\varphi}{\sin \varepsilon} B \right) \omega - \left(\frac{\text{tg}\varphi}{\sin \varepsilon} \cdot A - B \right) \lambda_1}{2\omega^2 \left(1 + \frac{\text{tg}^2 \varphi}{\sin^2 \varepsilon} \right) (\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{r_0 \lambda_1 D}{\lambda_2 - \lambda_1}; \quad (32)$$

$$c = \frac{A - \frac{\text{tg}\varphi}{\sin \varepsilon} B}{2\omega^2 \left(1 + \frac{\text{tg}^2 \varphi}{\sin^2 \varepsilon} \right)}; \quad (33)$$

$$d = \frac{\frac{\text{tg}\varphi}{\sin \varepsilon} \cdot A - B}{2\omega^2 \left(1 + \frac{\text{tg}^2 \varphi}{\sin^2 \varepsilon} \right)}; \quad (34)$$

$$e = r_0 D; \quad (35)$$

$$\lambda_1 = \omega \left(-\frac{\text{tg}\varphi}{\sin \varepsilon} + \sqrt{1 + \frac{\text{tg}^2 \varphi}{\sin^2 \varepsilon}} \right); \quad (36)$$

$$\lambda_2 = \omega \left(-\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\sin \varepsilon} - \sqrt{1 + \frac{\operatorname{tg}^2 \varphi}{\sin^2 \varepsilon}} \right). \quad (37)$$

Для визначення відносної швидкості руху елемента ґрунту «т» по лезу ножа, диференціюючи рівняння (30), отримаємо

$$\dot{\zeta} = a\lambda_1 e^{\lambda_1 t} + b\lambda_2 e^{\lambda_2 t} - c\omega \cdot \cos \omega t + d\omega \cdot \sin \omega t. \quad (38)$$

Для визначення $\dot{\zeta}$ на кінці ножа ротора необхідно побудувати епюри відносних швидкостей

руху ґрунту по лезу ножа ротора. Такі епюри (рис. 6) побудовані на підставі рівнянь (30) та (38) при значеннях $\varphi=26^\circ 30'$, $\varepsilon=30^\circ$ [15], $\omega=18,84 \text{ с}^{-1}$, $R=0,73 \text{ м}$. Величину t знаходимо з урахуванням конструктивних та кінематичних параметрів ротора. Значення r_0 приймали рівними 0,28; 0,41; 0,53 та 0,66 м. З рівняння (12) та з отриманих епюр швидкостей побудовані залежності відносної швидкості руху елемента ґрунту при сходженні з леза ножа ротора в залежності від значення кута ножа ротора ψ (рис. 7).

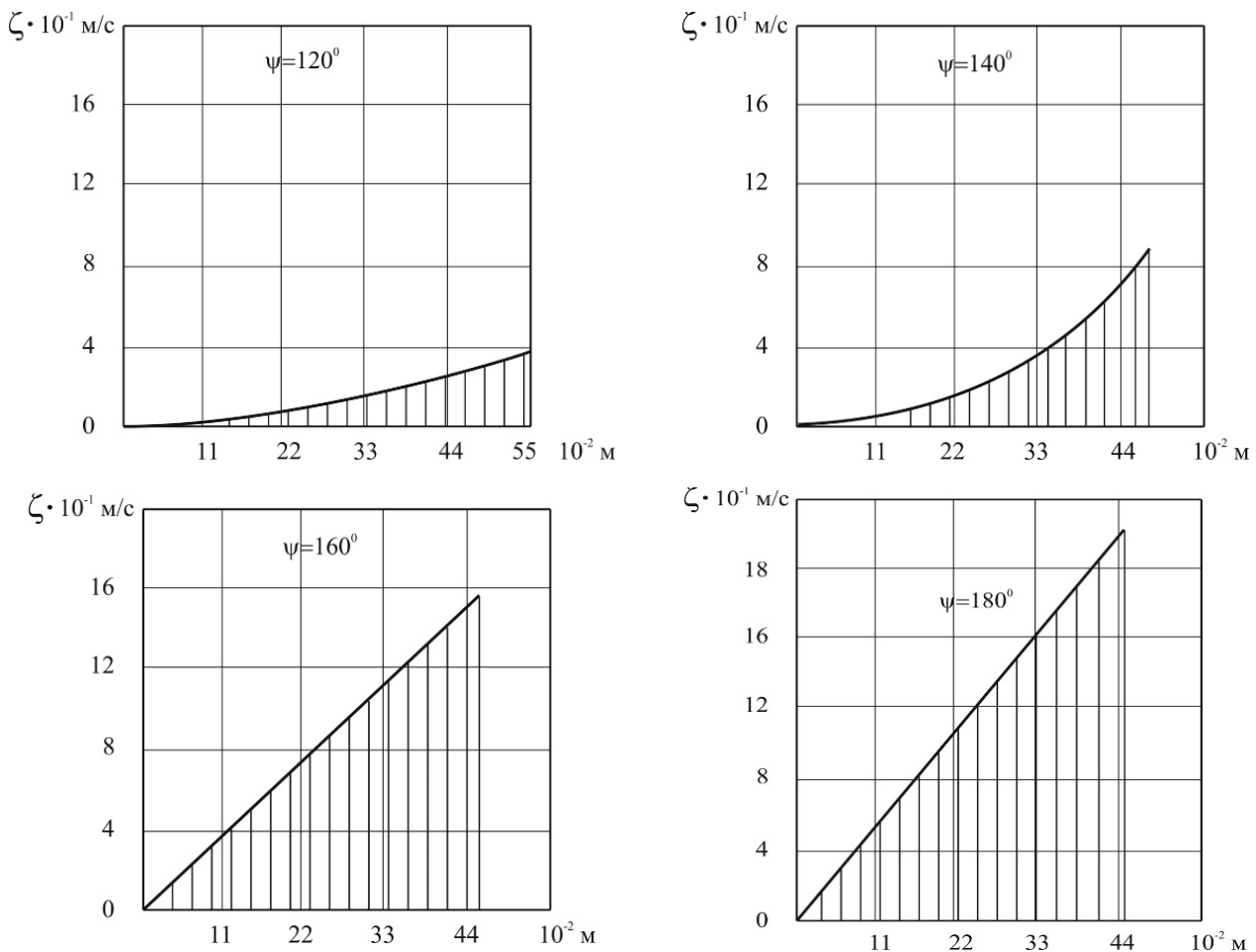


Рис. 6. Епюри відносних швидкостей руху ґрунту по лезу ножа ротора: $\psi=120^\circ$; $\psi=140^\circ$; $\psi=160^\circ$; $\psi=180^\circ$

Із рис. 7 видно, що при заданих параметрах ножа ротора та частоті його обертання при $\psi=142^\circ$ розкидання ґрунту та його сгужування на сепаруючій решітці відсутні. Отже, оптимальним кутом нахилу ножа ротора можна вважати кут ψ , близький до 142° , відповідно виходячи з рис. 5 значення кута θ_0 між прямою, що проходить по лезу ножа та його плечем дорівнюватиме 38° .

Тоді рівняння кривої профілю ножа ротора за умови зменшення розкидання ґрунту та запобі-

гання сгужування його на сепаруючій решітці описується наступним чином [16]:

$$z = \begin{cases} 147,5x^3 - 640,8x^2 - \\ -0,36x & \text{при } 0 \leq x \leq 0,01; \\ xt g 38^\circ + c & \text{при } x > 0,01. \end{cases} \quad (39)$$

Профіль ножа ротора, що забезпечує його обертання з мінімальними витратами енергії за умови зменшення розкидання ґрунту та запобі-

гання сгужування його на сепаруючій решітці показано на рис. 8.

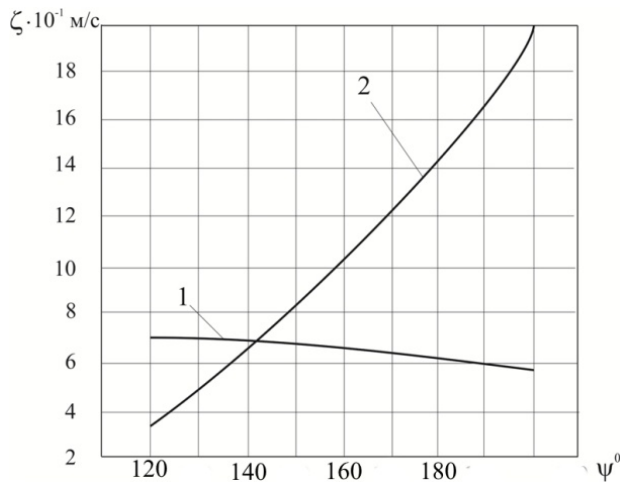


Рис. 7. Залежність відносної швидкості руху елемента ґрунту на кінці ножа ротора від величини кута ψ : 1 – необхідна відносна швидкість руху; 2 – відносна швидкість руху ґрунту, визначена з епюр швидкостей

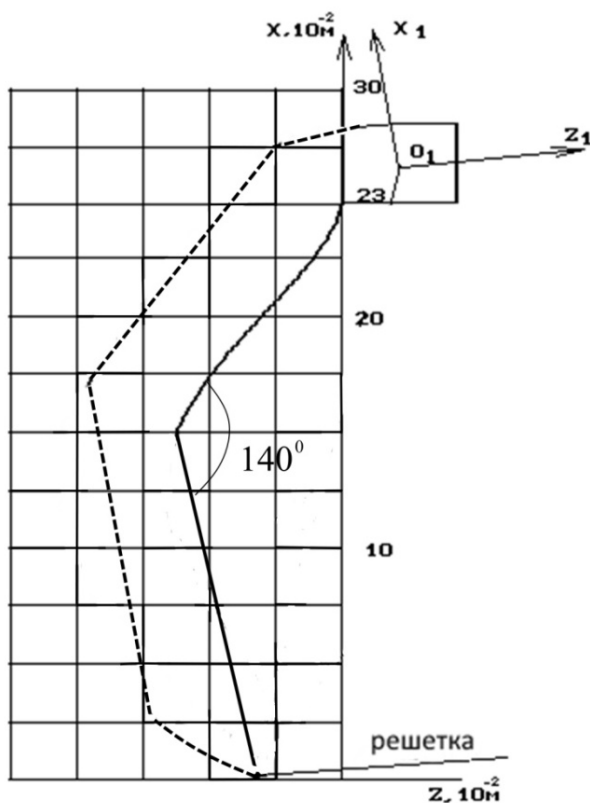


Рис. 8. Профіль ножа ротора розрихлювально-сепаруючого пристрою, що забезпечує його обертання з мінімальними витратами енергії за умови зменшення розкидання ґрунту та запобігання сгужування його на сепаруючій решітці

Кут γ вибирається з умови перешкоди заклинювання ґрунту під час опускання кромки ножа ротора (рис. 9) у зазори сепаруючої решітки. Тобто:

$$N_1 \cdot \sin \gamma' \geq F_1 + F_2, \quad (40)$$

$$F_1 = N_1 \cdot \cos \gamma' \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (41)$$

$$F_2 = N_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (42)$$

Тоді

$$\gamma \geq \operatorname{arctg} 2 \operatorname{tg} \varphi. \quad (43)$$

При обертанні ротора положення кромки $C'C''$ щодо сепаруючої решітки змінюється, а кут γ' має задовольняти нерівності (43).

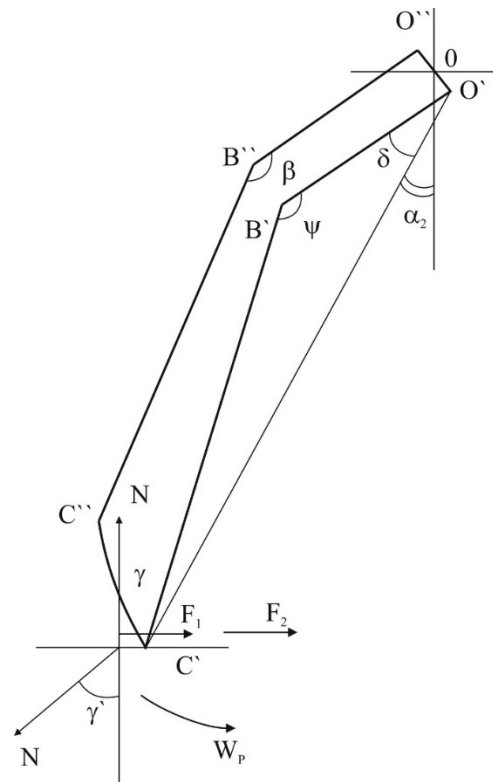


Рис. 9. Схема до визначення кута γ' конструктивних параметрів ножа ротора

Для отримання рівняння кривої кромки $C'C''$ через точку C' проводимо декартові вісі координат x та y (рис. 10), котрі переміщалися разом з ножом ротора. Точку перетину кромки $C'C''$ з сепаруючою решіткою K'' з'єднаємо прямою з носком ножа C' .

Тоді з $\Delta C'KK''$

$$y = x \operatorname{tg} \varphi. \quad (44)$$

З рис. 9 маємо

$$\gamma = \psi + \delta + \alpha_2 - \alpha - \gamma' - \frac{\pi}{2}, \quad (45)$$

$$y = x \operatorname{tg} \left(\psi + \delta + \alpha_2 - \alpha - \gamma' - \frac{\pi}{2} \right), \quad (46)$$

де α – кут повороту ножа ротора щодо початку його входження у зазори сепаруючої решітки, у град.

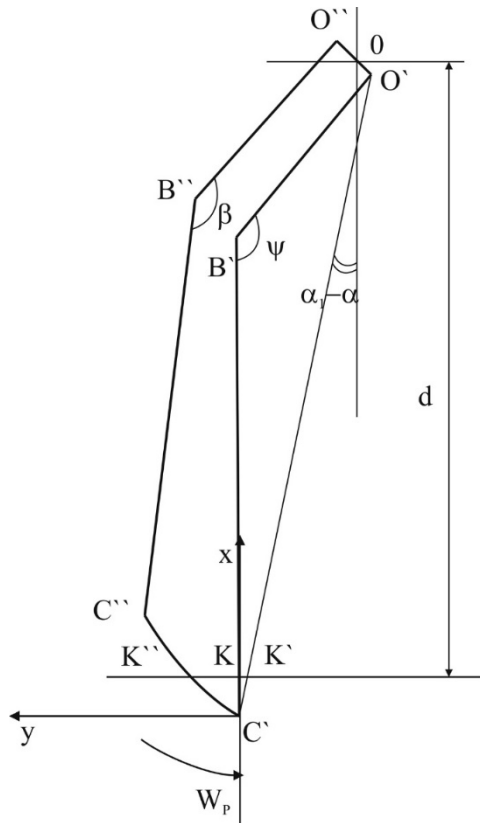


Рис. 10. Схема до визначення рівняння кривої кромки $C'C''$ через точку C'

Величину x знаходимо через кут повороту ножа ротора α з $\Delta C'KK''$ (рис. 10), використовуючи теорему синусів

$$x = - \frac{\left[R - \frac{d'}{\cos(\alpha_2 - \alpha_1)} \right] \cdot \cos(\alpha_2 - \alpha_1)}{\cos(\psi + \delta + \alpha_2 - \alpha)}. \quad (47)$$

Тоді

$$y = - \frac{\left[R - \frac{d'}{\cos(\alpha_2 - \alpha_1)} \right] \cdot \cos(\alpha_2 - \alpha_1)}{\cos(\psi + \delta + \alpha_2 - \alpha)} \times \quad (48)$$

$$\times \operatorname{tg} \left(\psi + \delta + \alpha_2 - \alpha - \gamma' - \frac{\pi}{2} \right),$$

де d' – відстань від осі ротора до сепаруючої решітки, м. Крива кромки $C'C''$ будується за рівнянням (47) та (48) (рис. 11).

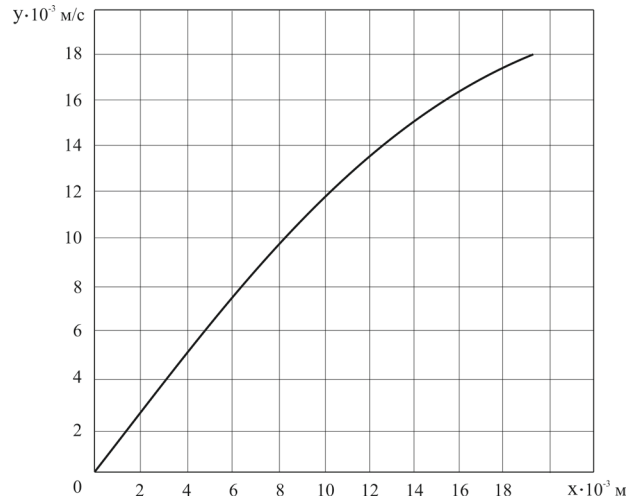


Рис. 11. Крива кромки ножа ротора з умови перешкоди заклинювання ґрунту під час опускання його у зазори сепаруючої решітки

Кут β обирається таким, щоб у самому нижньому положенні кромки $B''C''$ частинки ґрунту не заклинювалися між кромкою ножа та сепаруючою решіткою (рис. 12).

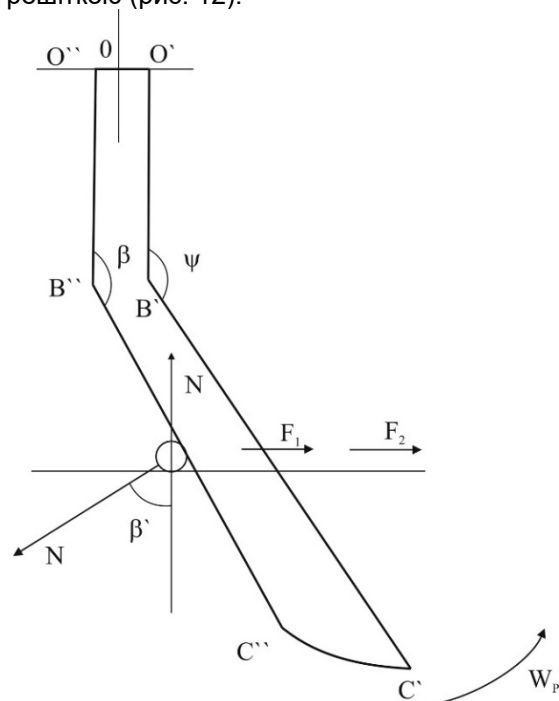


Рис. 12. Схема до визначення кута β конструктивних параметрів ножа ротора

Це відповідає нерівності

$$N_1 \cdot \sin \beta' \geq F_1 + F_2, \quad (49)$$

$$F_1 = N_1 \cdot \cos \beta' \operatorname{tg} \varphi, \quad (50)$$

$$F_2 = N_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (51)$$

Тоді $\beta' \geq \arctg 2\operatorname{tg}\varphi$. (52)

$$\beta \geq \frac{\pi}{2} + \arctg 2\operatorname{tg}\varphi . \quad (53)$$

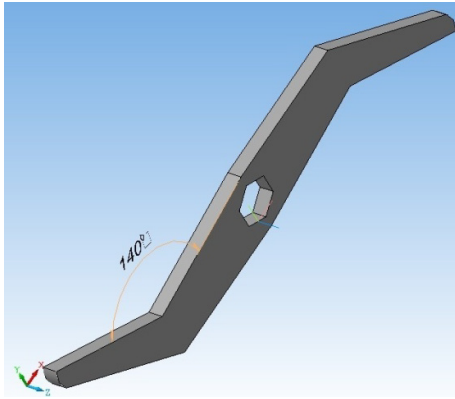


Рис. 13. Твердотільна модель ножа ротора с кут ом нахилу $\psi=140^\circ$ за якого розкидання ґрунту та його сгужування на сепаруючій решітці відсутні, та витрати енергії на роботу мінімальні

Конструкцію ножа ротора розрихлювально-сепаруючого пристрою ґрунообробної машини який забезпечує його обертання з мінімальними витратами енергії на роботу за умови зменшення розкидання ґрунту та запобігання сгужування його на сепаруючій решітці визначили за допомогою програми КОМПАС-3D V14 (рис. 13).

Висновки. Визначено, що при заданих параметрах ножа ротора та частоті його обертання оптимальним можна вважати кут ψ між найбільш пологою дотичною до профілю ножа та прямої, що проходить по неробочій його частини, близький до 142° , при якому розкидання ґрунту та його сгужування на сепаруючій решітці відсутні.

Визначена з допомогою програми КОМПАС-3D V14 конструкція ножа ротора розрихлювально-сепаруючого пристрою ґрунообробної машини забезпечить його обертання з мінімальними витратами енергії на роботу за умови зменшення розкидання ґрунту та запобігання сгужування його на сепаруючій решітці.

Література

1. Мельник В.И. Эволюция систем земледелия – взгляд в будущее // Земледелие. 2015. – №1. – С. 8-12.
2. 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.
3. Нанка А.В., Сыромятников Ю.Н. Влияние частоты вращения ротора почвообрабатывающей машины на качественные показатели её

работы // Агротехника и энергообеспечение. – 2018. – № 2 (19). – С.101-116.

4. 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.

5. Пащенко В.Ф., Сыромятников Ю.Н., Храмов Н.С. Качественные показатели работы почвообрабатывающей машины с применением гибкого рабочего органа в системах «органического земледелия» // збірник тез міжнародної науково-практичної конференції: «Теоретичні і практичні аспекти розвитку галузі овочівництва в сучасних умовах» – сел. Селекційне Харківської обл.: ІОБ НААН, 2018. – С.94-100.

6. Сыромятников Ю.Н., Храмов Н.С., Войнаш С.А. Гибкий элемент в составе рабочих органов роторной почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины // Тракторы и сельхозмашины. – 2018. – № 5. – С.32-40.

7. Лімонт А.С. Зусилля, що діють на робочі органи, та споживана потужність машин з активним приводом // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2006. – №. 2 (37). – С. 9-15.

8. Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1968. – 375 с.

9. Безруков А.В. и др. Повышение эффективности функционирования самоходной малогабаритной почвообрабатывающей фрезы // Труды ГОСНИТИ. – 2012. – Т. 110. – С. 100.

10. Сыромятников Ю.М. Вдосконалення робочих органів для підрізання та підйому ґрунту розрихлювально-сепаруючою машиною // Інженерія природокористування. – 2017. – №. 2 (8). – С. 74-77.

11. Сыромятников Ю.Н. Совершенствование рабочих органов ротора рыхлительно-сепарирующей почвообрабатывающей машины обеспечивающих минимальные затраты энергии на его работу // вісник Сумського національного аграрного університету серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів» – 2017. №10(32). – С.51-55.

12. 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.

13. Сыромятников Ю.Н. Совершенствование рабочих органов ротора почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 6 (164). – С. 171-177.

14. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко. – К.: Изд-во УАСХН, 1960. – 284 с.

15. Синееков Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синееков, И.М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977.

16. Пащенко В.Ф. Механико-технологические средства эколого-экономического совершенствования процессов обработки почвы: дис. ... д-ра техн. наук / Пащенко Владимир Филимонович. – Х., 2005. – 335 с.

17. Пащенко В.Ф., Сиромятников Ю.М., Храмов М. С. Ґрунтообробна установка з використанням гнучкого робочого органу для контролю росту бур'янів // Овочівництво і баштанництво. – 2018. – № 64. – С. 33-44. DOI: 10.32717/0131-0062-2018-64-33-43

Reference

1. Melnik, V. (2015). Evolyutsiya sistem zemledeliya – vzglyad v budushchee. *Zemledelie*, (1), pp.8-12.

2. Syromyatnikov, Yu. (2017). Povyshenie effektivnosti tekhnologicheskogo protsessa dvizheniya pochvy po lemekhu pochvoobrabatyvayushchey rykhlytelno-separiruyushchey mashiny. *Selskoe khozyaystvo*, (1), pp.48-55.

3. Syromyatnikov, Yu. and Nanka, A. (2018). Vliyaniye chastoty vrashcheniya rotora pochvoobrabatyvayushchey mashiny na kachestvennyye pokazateli ee raboty. *Agrotekhnika i energoobespechenie*, (2), pp.101-116.

4. Syromyatnikov, Yu. (2018). Qualitative Performance Indicators of a Ripping-and-Separating Machine for Soil Cultivation. *Agricultural Machinery and Technologies*, 12(3), pp.38-44.

5. Pashchenko, V., Syromyatnikov, Yu. and Khramov, N. (2018). Kachestvennyye pokazateli raboty pochvoobrabatyvayushchey mashiny s primeneniem gibkogo rabochego organa v sistemakh «organicheskogo zemledeliya». // *zbirnyk tez mizhnarodnoji naukovopraktychnoji konferenciji: «Teoretychni i praktychni aspekty rozvytku ghaluzi ovochivnytstva v suchasnykh umovakh» – sel. Selekcijne Kharkivs'koi obl.: YOB NAAN*, pp.94-100.

6. Syromyatnikov, Yu., Khramov, N. and Voinash, S. (2018). Gibkiy element v sostave rabochikh organov rotornoj pochvoobrabatyvayushchey rykhlytelno-separiruyushchey mashiny. *Traktory i selkhoz mashiny*, (5), pp.32-40.

7. Limont, A. (2006). Zusyllya, shho dijutj na robochi orghany, ta spozhyvana potuzhnistj mashyn z aktyvnym pryvodom. *Visnyk Zhytomyrs'kogo*

derzhavnogo tekhnologichnogo universytetu. Serija: Tekhnichni nauky, (2), pp.9-15.

8. Zelenin, A. (1968). *Osnovy razrusheniya gruntov mekhanicheskimi sposobami*. 2nd ed. Moscow: Mashinostroenie, p.375.

9. Bezrukov, A. (2012). Povyshenie effektivnosti funkcionirovaniya samokhodnoj malogabaritnoj pochvoobrabatyvayushchey frezy. *Trudy GOSNITI*, 110, p.100.

10. Syromyatnikov, Yu. (2017). Vdoskonalennja robochykh orghaniv dlja pidrizannja ta pidjomu gruntu rozrykhljuvaljno-separujuchoju mashynoju. *Inzhenerija pryrodokorystuvannja*, (2), pp.74-77.

11. Syromyatnikov, Yu. (2017). Sovershenstvovanie rabochikh organov rotora rykhlytelno-separiruyushchey pochvoobrabatyvayushchey mashiny obespechivayushchikh minimalnye zatraty energii na ego rabotu. *visnyk Sums'kogho nacional'nogho aghrarnogho universytetu serija «Mekhanizacija ta avtomatyzacija vyrobnychyx procesiv»*, (10), pp.51-55.

12. Syromyatnikov, Yu. (2018). Sovershenstvovanie rabochikh organov rotora rykhlytelno-separiruyushchey pochvoobrabatyvayushchey mashiny obespechivayushchikh minimalnye zatraty energii na ego rabotu. *Inzhenerija pryrodokorystuvannja*, (1), pp.91-95.

13. Syromyatnikov, Yu. (2018). Sovershenstvovanie rabochikh organov rotora rykhlytelno-separiruyushchey pochvoobrabatyvayushchey mashiny. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, (6), pp.171-177.

14. Vasilenko, P. (1960). *Teoriya dvizheniya chastitsy po sherokhovatykh poverkhnostyam selskoho-zhaystvennykh mashin*. Kiev: UASKhN, p.284.

15. Sineokov, G. and Panov, I. (1977). *Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchikh mashin*. Moscow: Mashinostroenie, p.328.

16. Pashchenko, V. (2005). *Mekhaniko-tekhnologicheskie sredstva ekologo-ekonomicheskogo usovershenstvovaniya protsessov obrabotki pochvy*. doctor tehnychnyh nauk. Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture.

17. Pashchenko, V., Syromyatnikov, Yu. and Khramov, N. (2018). Ґрунтообробна установка з використанням гнучкого робочого органу для контролю росту бур'янів // *Ovochivnytstvo i bashtannictvo*, 64, pp.33-44. DOI: 10.32717/0131-0062-2018-64-33-43.

Аннотация

Конструкция ножа ротора рыхлительно-сепарирующего устройства почвообрабатывающей машины

В.Ф. Пащенко, А.В. Нанка, Ю.Н. Сыромятников

Предметом исследования является процесс функционирования рабочих органов ротора почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины изменяющей структуру и плотность обрабатываемого слоя почвы в соответствии с требованиями агрономической науки. Рассмотрена конструкция ножа ротора рыхлительно-сепарирующего устройства почвообрабатывающей машины.

Для определения значения относительной скорости движения элемента почвы по лезвию ножа ротора составили дифференциальное уравнение относительно движения элемента почвы по лезвию ножа, воспользовавшись для этого методом изложенным в теории движения частицы почвы по шероховатым поверхностям П.М. Василенко, но при этом рассмотрено движение элемента почвы не по поверхности, а по лезвию ножа. Объектом исследования является нож ротора, форма рабочей кромки которого обеспечивает его вращение с минимальными затратами энергии на работу. При выполнении работы применены теоретические исследования с использованием механико-математического моделирования взаимодействия рабочих органов с почвой. Исходная информация для обоснования исследования получена путем анализа литературных источников. Дано обоснование конструкции ножа ротора рыхлительно-сепарирующего устройства почвообрабатывающей машины которая обеспечит его вращение с минимальными затратами энергии на работу при условии уменьшения разбрасывания почвы, и предотвращения сгуживания ее на сепарирующей решетке. Актуальность заключается в том, что теоретически обоснованная конструкция ножа ротора рыхлительно-сепарирующего устройства почвообрабатывающей машины позволит усовершенствовать методы предпосевной обработки почвы для улучшения ее агротехнических качеств, с минимальными затратами энергии. Целевая группа потребителей информации в статье – конструкторы, специалисты занимающиеся разработкой почвообрабатывающих рабочих органов.

Ключевые слова: почва, крутящий момент, работа ножа, энергия, сепарирующая решетка, ротор.

Abstract

Construction of a knife of a rotor of a rupture-separating device of a tillage machine

V.F. Pashchenko, A.V. Nanka, Yu.N. Syromyatnikov

The subject of the study is the process of functioning of the working rotor bodies of the soil tillage separating machine, which changes the structure and density of the cultivated layer of soil in accordance with the requirements of agronomic science. The design of the rotary knife of the separating and separating device of the soil-working machine is considered. To determine the value of the relative velocity of the soil element by the blade of the rotor knife, a differential equation with respect to the movement of the element of the soil along the knife blade was made using the method described in the theory of motion of the particle of the soil on the rough surfaces of P. Vasilenko, but in this case the motion of the soil element is not considered on the surface, but by the blade of a knife. The object of the study is more than a rotor, the shape of the working edge which provides its rotation with minimal energy consumption for work. In the course of the work, theoretical studies were carried out using the mechanic and mathematical modeling of the interaction of working bodies with the soil. Initial information to substantiate the study was obtained through the analysis of literary sources. The justification of the design of the rotary knife of the spray-separating device of the soil tillage machine is provided, which will ensure its rotation with minimal energy consumption for work, provided that the soil is spreading less, and prevent it from being slipped onto the separating grid. The urgency is that the theoretically grounded construction of the knife of the rotor of the spraying separating device of the soil tillage machine will improve the methods of pre-planting soil tillage to improve its agro technical qualities, with minimal energy consumption. The target group of information consumers in the article - designers, specialists who are engaged in the development of soil working bodies.

Keywords: *the soil, the torque, work of the knife, energy, separating grid, rotor.*

Представлено від редакції: О.І. Завгородній / Presented on editorial: O.I. Zavhorodnii

Рецензент: О.В. Козаченко / Reviewer: O.V. Kozachenko

Подано до редакції / Received: 28.11.2018