

CALCULATION AND SELECTION OF STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF ROTARY RIPPERS. Zamoysky¹, V. Oleksandrenko¹, M. Dovzhik², A. Martyniuk^{1*}, V. Kurskoy¹¹*Khmelnytsky National University, Khmelnytsky, Ukraine*²*Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine*

AGRICULTURAL MACHINES

AM
СМ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

ABSTRACT

Tillage equipment with active working bodies are widely used for surface tillage. Rotary ripper is the most common equipment for soil surface tillage. When designing tillage equipment and working bodies, it is necessary to take into account that equipment must ensure high quality tillage, the ability to change the regime of cutting the soil in a wide range. Comparison of tillage equipment for soil surface tillage shows that the best quality of soil preparation for sowing cereals is provided by active working bodies. But active working bodies also have disadvantages: insufficient earning of stubble and crop residues in the soil, high energy consumption, complex design. Therefore, the study of design parameters of the rotary ripper and parameter dependence on the physical and mechanical properties of the soil is an urgent task today. The aim of the research is to establish the dependence of the quality of the technological process on the design parameters of the rotary ripper and the physical and mechanical properties of the soil. The main design and technological parameters of the rotary ripper are rotor radius, length and width of the knife, angle of shear of the knife, cutting angle, drum diameter, kinematic regime, speed of rotor rotation, pitch of knives, distance between knives, power consumption, the degree of grinding of the soil. The structure and degree of soil grinding depend on the speed of the tillage equipment and the indicator of the kinematic regime. The result of the proposed method of calculating the kinematic regime and optimization of related parameters is to improve agronomic performance and quality of soil tillage. The use of this technique in the design of rotary tillage equipment and substantiation of technological regimes of the rotary ripper will reduce energy consumption for technological operations of tillage and significantly improve the quality of prepared soil for sowing.

Key words:

soil,
soil surface tillage,
rotary ripper,
design and technological
parameters of the ripper,
depth of tillage

Article history:

Received 10.10.2021

Accepted 08.12.2021

***Corresponding author:**

avmart@khnmu.edu.ua

DOI: 10.36910/acm.vi47.650**To cite this article:**

Zamoysky, S., Oleksandrenko, V., Dovzhik, M., Martyniuk, A., & Kurskoy, V. (2021). Calculation and selection of structural and technological parameters of rotary ripper. *Agricultural Machines*, 47, 73-78. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.650>

УДК 658.285:631.3

РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОТАЦІЙНОГО РОЗПУШУВАЧА**С.М. Замойський¹, В.П. Олександренко¹, М.Я. Довжик²,
А.В. Мартинюк^{1*}, В.С. Курской¹**¹Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна²Сумський національний аграрний університет, Суми, Україна**АНОТАЦІЯ**

Для поверхневого обробітку ґрунту широко застосовуються ґрунтообробні знаряддя з активними робочими органами. Найбільш поширені ротаційні розпушувачі ґрунту. Під час проектування цих знарядь і їх робочих органів необхідно враховувати, що вони повинні, в першу чергу, забезпечувати високу якість обробітку ґрунту, можливість зміни режиму різання ґрунту в широкому діапазоні. Якщо порівняти ґрунтообробні знаряддя для поверхневого обробітку ґрунту, то кращу якість підготовки ґрунту під посів зернових культур забезпечують активні робочі органи, але й вони мають певні недоліки: недостатнє зароблення стерні і пожнивних решток у ґрунт, велика енергоємність, складна конструкція. Тому дослідження конструкційних параметрів розпушувача та їх залежності від фізико-механічних властивостей ґрунту є на сьогодні актуальним завданням. Основними конструкційними і технологічними параметрами ротаційного розпушувача є: радіус ротора, довжина та ширина ножа, кут зсуву ножа в плані, кут різання, діаметр барабана, показник кінематичного режиму, частота обертання ротора, крок витка ножів, віддаль між ножами, споживана потужність на обробітку ґрунту, ступінь подрібнення ґрунту. Від швидкості ґрунтообробного знаряддя та показника кінематичного режиму залежить структура і ступінь подрібнення ґрунту. Результатом запропонованої методики розрахунку показника кінематичного режиму і оптимізації пов'язаних із ним параметрів є підвищення агротехнічних показників та якості обробітку ґрунту. Використання цієї методики під час проектування ротаційних ґрунтообробних знарядь дозволить забезпечити зменшення енерговитрат на обробітку ґрунту і значно покращити якість підготовки ґрунту до сівби.

Ключові слова:

ґрунт,
поверхневий обробіток ґрунту,
ротаційний розпушувач,
конструкційно-технологічні
параметри розпушувача,
глибина обробітку ґрунту

Історія публікації:

Отримано 10.10.2021

Затверджено 08.12.2021

***Автор для листування:**

avmart@khmnu.edu.ua

DOI: 10.36910/acm.vi47.650

Цитувати цю статтю:

Замойський, С. М., Олександренко, В. П., Довжик, М. Я., Мартинюк, А. В., & Курской, В. С. (2021). Розрахунок та вибір конструкційних і технологічних параметрів ротаційного розпушувача. *Сільськогосподарські машини*, 47, 73-78. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.650>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Однією з найбільш трудомістких операцій в технологічному процесі вирощування різних сільськогосподарських культур є обробіток ґрунту. Подрібнення ґрунту ґрунтообробними знаряддями відбувається механічним способом, тобто ґрунтовий моноліт руйнується під дією на нього робочого органу. Існує декілька різновидів механічного способу подрібнення ґрунту: різання, сепарування, стискування, роздавлювання, «гравітаційне падіння», розколювання, перетирання, злом, удар. Найбільш поширений спосіб руйнування ґрунтової скиби – це різання під час якого ріжучий орган у формі клину знімає стружку за рахунок деформації сколу за визначеними траєкторіями, які залежать від параметрів ріжучого органу і властивостей ґрунту.

На сьогодні поряд із ґрунтообробними знаряддями для суцільного обробітку ґрунту (лемішні плуги; стрілчасті, розпушуючі та голчасті культиваторні лапи; дискові робочі органи борін, лушпильників та плугів; зубові борони; долота плоскорізів-глибокорозпушувачів), які оснащені пасивними робочими органами, широко використовуються ротаційні ґрунтообробні знаряддя, які забезпечують кращу якість підготовки ґрунту, але під час розроблення цих машин і їх робочих органів необхідно враховувати, що машини мають відповідати вимогам (Замойська, 2008; Панченко, 1998):

- забезпечувати необхідну якість обробітку ґрунту;
- мати високу прохідність, що забезпечувала б роботу на вологих ґрунтах;
- забезпечувати можливість зміни робочих режимів різання ґрунту так, щоб не відбувалося намотування рослинних решток і залипання робочих органів вологим ґрунтом;
- залишати поверхню ґрунту після обробітку без борозен і гребнів;

Аналіз публікацій показав, що питаннями поверхневого обробітку ґрунту під посів різних зернових культур займалися вчені: Зеленін А.М., Панов І.М., Синеоков Г.І., Герук С.М., Босой Є.С., Сакун В.А., Яцук Є.П., Панченко А.М., Коновал А.І. та ін. (Замойська, 2008). Вони сформуливали основи теорії різання ґрунту пасивними і активними робочими органами різних типів. Актуальними є праці професора Панченка А.М. (Панченко, 1998;

Панченко, 1999; Панченко, 2002), які присвячені різанню ґрунту активними робочими органами. У цих працях зазначено, що існуючі ґрунтообробні ротаційні знаряддя мають деякі недоліки: висока енергомісткість обробітку ґрунту, показник кінематичного режиму $\lambda = 4-16$, невелика швидкість руху. У працях (Замойська, 2008; Замойський & Замойська, 2015) оптимізовані конструкційно-технологічні, а також енергетичні параметри ротаційних ґрунтообробних знарядь, що впливають на поверхневий обробіток ґрунту.

Мета дослідження – розроблення методики розрахунку конструкційних та технологічних параметрів і режимів роботи ротаційного розпушувача ґрунту, а також визначення їх впливу на якісні показники поверхневого обробітку ґрунту під посів різних сільськогосподарських культур шляхом розкриття сукупності явищ дії ножів розпушувача на ґрунт.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Під час дослідження проведено ґрунтовий аналіз джерел науково-технічної інформації із досліджуваного питання. Проведені теоретичні дослідження базувалися на положеннях теоретичної механіки, опору матеріалів та теорії різання ґрунту активними робочими органами.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Ураховуючи результати дослідження ротаційного розпушувача, що висвітлені у працях (Замойська, 2008; Замойський & Замойська, 2015; Замойський & Замойська, 2016; Замойський & Замойська, 2017), розроблена методика розрахунку його конструктивних та технологічних параметрів і режимів роботи.

Ротаційний розпушувач ґрунту, який представлено на **рис.**, містить раму, на якій розташовано барабан із основними та додатковими ножами. З одного боку від осьової лінії машини основні ножі розташовані під кутом до осі барабана і закріплені на барабані за гвинтовою лінією з правою навівкою до основної лінії машини. З другого боку від осьової лінії машини розпушувач містить основні ножі, які розташовані під кутом до барабана за гвинтовою лінією з лівою

навивкою (Замойський & Замойська, 2015; Замойський & Замойська, 2016; Замойський & Замойська, 2017). Привод робочих органів розпушувача відбувається через ланцюгову передачу, конічний редуктор та вал відбору потужності трактора.

Ротаційний розпушувач ґрунту працює таким чином. Під час переміщення машини вздовж поля основні ножі розпушують нижні шари ґрунту, а додаткові ножі – верхні шари ґрунту з одночасним подрібненням рослинних решток, перемішуючи верхні і нижні шари ґрунту вздовж осі барабана назустріч один одному, що полегшує деформацію ґрунту і покращує якість розпушування.

У конструкції ротаційного розпушувача передбачена можливість зміни режимів його роботи, зокрема швидкості ґрунтообробного знаряддя та показника кінематичного режиму. Від цих параметрів залежить структура подрібненого і ступінь подрібнення ґрунту.

Початковими даними для визначення параметрів ротаційного розпушувача є: фізико-механічні властивості ґрунту і технологічні умови роботи. До фізико-механічних властивостей ґрунту можна віднести: об'ємну масу ґрунту γ ; кути зовнішнього φ_1 і внутрішнього φ_2 тертя; питоме зчеплення частинок ґрунту C_{num} ; коефіцієнт допустимої несучої властивості ґрунту K' ; вологість ґрунту ω ; склад частинок τ розміром $d_{0,01} \leq 0,01$ мм. До технологічних умов проведення обробітку ґрунту відносяться: глибина обробітку ґрунту a ; швидкість руху

знаряддя V_M ; якість обробітку ґрунту (розмір структурних агрегатів D_{50} , коефіцієнт різнозернистості структурних агрегатів η); ширина захвату знаряддя B_0 .

Для ротаційного розпушувача основними параметрами є: радіус ротора R ; довжина ножа l ; ширина ножа l_H ; кут зсуву ножа в плані ε ; кут різання α_p ; діаметр барабана D_b ; показник кінематичного режиму λ ; частота обертання ротора n ; крок витка ножів T ; відстань між ножами ΔS ; споживана потужність на обробітку ґрунту N_2 ; ступінь подрібнення ґрунту i .

Проведемо розрахунок параметрів і режимів роботи ротаційного розпушувача. Радіус ротора розраховується за формулою:

$$R = a + 0,5D_b + 0,05; \quad (1)$$

де a – глибина обробітку ґрунту, м; D_b – діаметр барабана ($D_b = (0,6 - 0,8)a$), м; 0,05 – висота закріплення ножів, м.

Кут зсуву ножа в плані ε визначається із умови ковзання ґрунту поверхнею ножа:

$$\varepsilon \leq 90^\circ - \xi; \quad (2)$$

де ξ – кут між напрямком руху ножа та нормаллю, яка проведена до поверхні ножа, град.

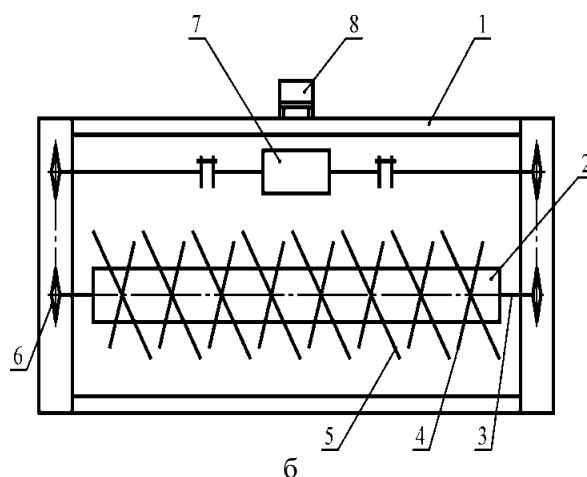
Для кута ξ має виконуватися умова:

$$\xi > \varphi_1; \quad (3)$$

де φ_1 – кут зовнішнього тертя ґрунту, град.



а



б

Рис. – Ротаційний розпушувач ґрунту (а) та його схема (б):

1 – рама; 2 – барабан; 3 – вісь барабана; 4 – основні ножі; 5 – додаткові ножі; 6 – ланцюгова передача; 7 – конічний редуктор; 8 – вал відбору потужності

Кут різання ножа із умови кришення ґрунту складе:

$$\alpha_p \geq 45^\circ - \varphi_1. \quad (4)$$

Показник кінематичного режиму агрегата:

$$\lambda = \frac{2\pi R}{TV_M} \sqrt{\frac{1}{l_H \delta \gamma \sin(\varepsilon)} \times \left[\frac{P_{0i}(1 - \cos \alpha_0)}{\sin \alpha_0} + P_{0i} \operatorname{tg} \varphi_2 \right] \times (1 + \sin(\varepsilon) \cos(\varepsilon) \operatorname{tg}(\varphi_1))}; \quad (5)$$

де T – крок витка ножів, м; V_M – швидкість руху знаряддя, м/с; l_H – ширина ножа, м; δ – товщина стружки, м; γ – об'ємна маса ґрунту, т/м³; P_{0i} – осьове зусилля тиску структурних агрегатів на дно борозни, кН; α_0 – кут вкладання структурних агрегатів ($\alpha_0 = 48-50^\circ$ – для пухких ґрунтів; $\alpha_0 = 80-84^\circ$ – для щільних ґрунтів), град.

Крок витка розраховується за формулою:

$$T = (Z - 1) \times \left[\left[\frac{2,64 \cos(45^\circ + \varphi_2) \operatorname{tg} \varphi_2 + \lambda Z \varepsilon}{2\pi R \cos\left(\arcsin\left(1 - \frac{a}{R}\right)\right)} \right] + a + \varepsilon \right]; \quad (6)$$

де Z – кількість ножів, що розташовані за периметром кола ротора, шт; ε – ширина захвату ножа ($\varepsilon = l_H \cdot \sin(\varepsilon)$), м.

Товщина стружки (ґрунту):

$$\delta = \frac{2\pi R}{\lambda Z} \cos\left(\arcsin\left(1 - \frac{a}{R}\right)\right). \quad (7)$$

Осьове зусилля тиску структурних агрегатів ґрунту на дно борозни:

$$P_{0i} = 0,028e^{-4,08\bar{D}_{50i} - 0,0344\tau_i} \times (96,3 \cdot 10^{-5} \omega_i^2 - 0,058\omega_i + 1) \times (-142,0 \cdot 10^{-5} \eta + 0,236); \quad (8)$$

де \bar{D}_{50i} – розмір структурних агрегатів після розпушування ґрунту ножами, м; τ_i – склад частинок $d_{0,01} \leq 0,01$ мм, %; ω_i – вологість ґрунту, %; η – коефіцієнт різнозернистості структурних агрегатів.

Відстань між ножами розраховується за формулою:

$$\Delta S = \frac{[2,64\delta \cos(45^\circ + \varphi_2) \operatorname{tg}(\varphi_2) + \varepsilon]a}{\delta}. \quad (9)$$

Потужність, яка витрачається на обробіток ґрунту, розраховується згідно формули:

$$N_2 = \frac{B_0 \lambda V_M}{T} \left(P_{p1} + \left[\frac{\pi \sigma^2 \varepsilon \delta K_L}{12 E T i^3} \left(i^3 - 1 \right) + P_{p1} \operatorname{ctg}(\varepsilon + \varphi_1) \right] + \operatorname{tg}(\varphi_1) \cos^2(\varepsilon) \right); \quad (10)$$

де B_0 – ширина захвату розпушувача, м; σ – границя міцності структурних агрегатів, кН/м²; E – модуль пружності ґрунту ($E = 28 \cdot 10^3 - 35 \cdot 10^3$ кН/м²), кН/м²; K_L – приведена довжина пласта ґрунту ($K_L = 1,0$ м), м; i – ступінь подрібнення ґрунту розпушувачем; i_p – ступінь подрібнення ґрунту ножем; P_{p1} – дотична складова опору різанню ґрунту ножем, кН.

Границя міцності структурних агрегатів ґрунту знаходиться із виразу:

$$\sigma = 135e^{0,049\tau_i} (-0,00152\omega_i^2 + 0,064\omega_i + 0,33). \quad (11)$$

Дотична складова опору різанню ґрунту ножем розраховується за формулою:

$$P_{p1} = C_{num} \delta \left[2\varepsilon + 2,64 \cos(45^\circ + \varphi_2) \right] \times \left[\operatorname{tg}(\varphi_2) + \cos(45^\circ + \varphi_2) + \left(2C_{num} \delta^2 \cos(45^\circ + \varphi_2) \times \left[\sin \left[\operatorname{arctg} \left[\frac{0,66 \operatorname{tg}(\varphi_2)}{\cos(45^\circ + \varphi_2)} \right] \right] \times \sin(45^\circ + \varphi_2) + 4,9 l_H \delta^2 \gamma \cos(\varepsilon) \times \operatorname{tg}^2(45^\circ - 0,5\varphi_2) \sin(\varphi_2) \right] \right) \times \operatorname{tg}(\varphi_1) + K'(X + Z \operatorname{tg}(\varphi_1)) \varepsilon + \varepsilon \delta \gamma \frac{\sin(\varepsilon) \cos(\Theta')}{\sin(\varepsilon \Theta')} V_p^2 \right]; \quad (12)$$

де C_{nim} – питоме зчеплення частинок ґрунту, кН/м^2 ; K' – коефіцієнт допустимої несучої властивості ґрунту, кН/м^2 ; X, Z – параметри площі затушення ножа, м; Θ' – задній кут ножа ($\Theta' \geq 10^\circ$), град; V_p – швидкість обертання ротора ($V_p = \lambda \cdot V_M$), м/с.

Ступінь подрібнення ґрунту ротаційним розпушувачем визначається за емпіричною формулою:

$$i = 0,264e^{0,41\lambda + 0,173Z - 1,334T - 0,873V_M + 0,00463 \cdot \sigma} \times (0,0013\sigma + 0,714) \cdot (0,75a + 0,887). \quad (13)$$

Ступінь подрібнення ґрунту ножом:

$$i_p = 0,1e^{0,324\lambda + 0,173Z + 0,75V_M} \times (0,0013\sigma + 0,714). \quad (14)$$

Частота обертання ротора розраховується за формулою:

$$n = \frac{15V_M \lambda}{\pi R^2}. \quad (15)$$

ВИСНОВКИ

Використання запропонованої методики розрахунку конструкційних та технологічних параметрів ротаційних ґрунтообробних знарядь під час їх проектування та визначення режимів їх роботи дозволить забезпечити зменшення енерговитрат на обробіток ґрунту і значно покращити якість підготовки ґрунту до сівби сільськогосподарських культур.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

Замойська, К. В. (2008). *Обґрунтування параметрів ротаційного розпушувача ґрунту (Substantiation*

of parameters of soil rotary ripper) [Автореф. дисертації канд. техн. наук]. Львівський національний аграрний університет, Львів, 2008.

Замойський, С. М., & Замойська, К. В. (2015). Аналіз досліджень ротаційних ґрунтообробних знарядь для поверхневого обробітку ґрунту (*Analysis of research of rotary tillage equipment for soil surface tillage*). *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету*, 23, 33-43.

Замойський, С. М., & Замойська, К. В. (2016). Оптимізація конструктивно-технологічних параметрів ротаційного розпушувача ґрунту (*Optimization of structural and technological parameters of soil rotary ripper*). *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету*, 24, 114-123.

Замойський, С., & Замойська, К. (2017). Покращення якості поверхневого обробітку ґрунту ротаційним розпушувачем (*Improving the quality of surface tillage with a rotary ripper*). В *Сучасні проблеми землеробської механіки. Збірник наукових праць 18 міжн. наук. конф. Кам'янець-Подільський, Україна (С. 103-105)*.

Панченко, А. Н. (1998). *Аналитический метод определения тяговых сопротивлений почвообрабатывающих и землеройных машин и оценка их эффективности для энерго-сберегающих технологий (An analytical method for determining the traction resistance of tillage and earth-moving machines and assessing their effectiveness for energy-saving technologies)*. Киев: Урожай.

Панченко, А. Н. (1999). *Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями (Theory of soil crushing with tillage equipment)*. Днепропетровск: Полиграфист.

Панченко, А. Н. (2002). *Теория и расчет сельскохозяйственных машин (Theory and calculation of agricultural machinery)*. Днепропетровск: ДГУ.