

УДК 631.372.004

S. Zamojskij, K. Zamojska, Cand. Tech. Sci, assistant professor, State Agrarian and Engineering University in Podilya

METHOD OF CALCULATION AND CHOICE OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF ROTARY TILLAGE TOOLS FOR SURFACE TILLAGE

Annotation. To date, at a sufficiently high level of mechanization of soil for planting different crops are large energy consumption for tillage, and ultimately the cost of agricultural products.

So promising is the question of the development of new tillage tools, machines and their working bodies to the surface of soil for planting different crops.

Question of finding new employment of rotary tillage tools, study their structural and technological parameters and modes of operation, many scientists were involved, but the analysis of their research shows that most of their work is devoted to one or two parameters cultivating tools, and comprehensive studies have been conducted, or research relating primarily of passive tillage. We have conducted research of all parameters and modes of operation of rotary tillage tools and their impact on agronomic performance and quality of soil.

As a result of our research developed a method for calculating the structural and technological parameters of rotary tillage tools for surface processing and selecting modes of operation. The technique provides a procedure for calculating the basic parameters and modes of operation rotary ripper: rotor radius R , the length of the knife l , width blade l , shear blade angle in terms of ε , the angle α cutting diameter drum D ; index kinematic regime λ , the number of revolutions of the rotor n , step spiral blade T , the distance between the knives in a row ΔS , power consumption for tillage N , degree of crushing of the soil and the number of revolutions of the rotor shaft.

Using this method of calculation of structural and technological parameters of rotary tillage tools in their design and choice of modes of operation will provide energy to reduce manufacturing operations processing and significantly improve the quality of the soil prepared for sowing.

Key words: rotary tillage tools, rotary cultivator, soil, structural and technological parameters, surface tillage, modes, active working body.

С.М. Замойський, К.В. Замойська, кандидати технічних наук, доценти ПДАТУ

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ І ВИБОРУ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОТАЦІЙНИХ ҐРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Запропонована методика розрахунку конструктивно-технологічних параметрів ротаційних ґрунтообробних знарядь для поверхневого обробітку ґрунту і вибору режимів їх роботи. Використання даної методики розрахунку конструктивно-технологічних параметрів ротаційних ґрунтообробних знарядь при їх проектуванні та виборі режимів роботи дасть змогу забезпечити зменшення енерговитрат на технологічні операції обробітку ґрунту і значно покращити якість підготовленого для сівби ґрунту.

Ключові слова: ротаційне ґрунтообробне знаряддя, ротаційний розпушувач, ґрунт, конструктивно-технологічні параметри, поверхневий обробіток ґрунту, режими роботи, активний робочий орган

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. На сьогоднішній день рівень механізації обробітку ґрунту під сівбу різних сільськогосподарських культур є достатньо високий [1, 2], але разом з тим великими залишаються енерговитрати на обробіток ґрунту, що в кінцевому результаті впливає на зростання собівартості сільськогосподарської продукції.

Тому важливим є питання розробки нових ґрунтообробних знарядь, машин та їх робочих органів для поверхневого обробітку ґрунту для сівби різних сільськогосподарських культур.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми. Питаннями пошуку нових робочих органів ротаційних ґрунтообробних знарядь, обґрунтування їх конструктивно-технологічних параметрів та режимів роботи займалися багато вчених, зокрема Верняєв О.В., Ветохін В.І., Ветров Ю.А., Гуков Я.С., Зеленін А.М., Панов І.М., Панченко А.М. [2-4, 6]. Аналіз їх досліджень показує, що в основному ці роботи присвячені дослідженню одного або двох параметрів ґрунтообробного знаряддя (2), а комплексних досліджень не проводилось. Уперше цю проблему порушив А.М. Панченко [3, 4], але його дослідження стосуються в першу чергу пасивних ґрунтообробних органів. Нами були проведені дослідження усіх параметрів та режимів роботи ротаційних ґрунтообробних знарядь і їх впливу на агротехнічні показники та якість обробітку ґрунту [2].

Мета статті: на основі огляду літературних джерел і проведених теоретичних, експериментальних, лабораторно-польових та польових досліджень ротаційного розпушувача ґрунту розробити методику розрахунку і вибору конструктивно-технологічних параметрів та режимів роботи ротаційних розпушувачів ґрунту, які б забезпечували високу якість обробітку при економії енергетичних та матеріальних затрат.

Виклад основного матеріалу дослідження. За результатами проведення теоретичних і експериментальних досліджень ротаційного розпушувача [2, 5, 6-9] нами розроблена методика розрахунку його параметрів і режимів роботи.

Вихідними 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 внутрішнього і зовнішнього тертя ϕ_1 і ϕ_2 ; питоме зчеплення частинок ґрунту C_{num} ; коефіцієнт допустимої несучої властивості ґрунту K' ; вагову вологість ω ; склад частинок τ розміром $d_{0,01} \leq 0,01$ мм.

Технологічні умови: глибина обробітку ґрунту a ; швидкість руху знаряддя V_M ; якість обробітку (розмір структурних агрегатів D_{50} , коефіцієнт різнозернистості структурних агрегатів η); ширина захвату знаряддя B_0 .

Розрахунок основних параметрів і режимів роботи ротаційного розпушувача.

Основними конструктивними і технологічними параметрами ротаційного розпушувача є радіус ротора R , довжина ножа l , ширина ножа l_H , кут зсуву ножа в плані ϵ , кут різання α_p , діаметр барабана D_ϕ , показник кінематичного режиму λ , число обертів ротора n , крок витка ножів T , віддаль між ножами в ряду ΔS , споживана потужність на обробіток ґрунту N_p , ступінь подрібнення ґрунту i .

Пропонується такий порядок розрахунку.

Радіус ротора рівний:

$$R = a + 0,5D_{50} + 0,05, \quad (1)$$

де a – глибина обробітку ґрунту, м;

D_ϕ – діаметр барабана, м, $D_\phi = (0,6-0,8) a$;

0,05 – висота кріплення ножів, м.

Кут зсуву ножа в плані ϵ визначається з умови ковзання ґрунту по поверхні ножа:

$$\epsilon \leq 90^\circ - \xi, \quad (2)$$

де ξ – кут між напрямом руху ножа і нормаллю, яка проведена до поверхні ножа,

$$\xi > \phi_1;$$

ϕ_1 – кут зовнішнього тертя ґрунту, град.

Кут різання ножа з умови кришення ґрунту складе:

$$\alpha_p \geq 45^\circ - \phi_1. \quad (3)$$

Показник кінематичного режиму розраховується за формулою:

$$\lambda = \frac{2\pi \cdot R}{T \cdot V_M} \sqrt{\frac{1}{l_H \sin \epsilon \cdot \delta \cdot \gamma} \left[\frac{P_{oi}(1 - \cos \alpha_0)}{\sin \alpha_0} + P_{oi} \operatorname{tg} \phi_2 \right] \times \frac{1}{(1 + \sin \epsilon \cdot \cos \epsilon \cdot \operatorname{tg} \phi_1)}}, \quad (4)$$

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_{oi} – осьове зусилля тиску структурних агрегатів на дно борозни, кН;

α_0 – кут вкладання структурних агрегатів, град.;

$\alpha_0 = 48-50^\circ$ для пухких ґрунтів;

$\alpha_0 = 80-84^\circ$ для щільних ґрунтів.

Крок витка рівний:

$$T = (Z - 1) \left\{ \left[2,64 \cos(45^\circ + \phi_2) \cdot \operatorname{tg} \phi_2 + \frac{\lambda \cdot Z \cdot B}{2\pi \cdot R \cos \arcsin \left(1 - \frac{a}{R} \right)} \right] \cdot a + B \right\}, \quad (5)$$

де Z – кількість ножів на периметрі кола ротора;

B – ширина захвата ножа, м, $B = l_H \sin \epsilon$.

Товщина стружки розраховується за формулою:

$$\delta = \frac{2\pi \cdot R}{\lambda \cdot Z_0} \cos \arcsin \left(1 - \frac{a}{R} \right). \quad (6)$$

Осьове зусилля тиску структурних агрегатів на дно борозни дорівнює:

$$P_{oi} = 0,028 \exp(-4,08 \bar{D}_{50i} - 0,0344 \tau_i) 96,3 \cdot 10^{-5} \omega_i^2 - 0,058 \omega_i + 1 (-142,0 \cdot 10^{-5} \eta + 0,236), \quad (7)$$

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 – вагова вологість ґрунту, %;
 η – коефіцієнт різнозернистості структурних агрегатів.

Віддаль між ножами в ряду дорівнює:

$$\Delta S = \frac{[2,64 \cdot \delta \cdot \cos(45^\circ + \phi_2) \cdot \operatorname{tg} \phi_2 + B] \cdot a}{\delta} \quad (8)$$

Потужність, яка витрачена на обробіток ґрунту, дорівнює:

$$N_2 = \frac{B_0}{T} \left\{ P_{p1} + \left[\frac{\pi \cdot \sigma^2 B \delta \cdot K_L}{12 E \cdot T \cdot i^3} \left(\frac{i^3}{i_p^3} - 1 \right) + P_{p1} \cdot \operatorname{ctg}(\varepsilon + \phi_1) \right] \times \operatorname{tg} \phi_1 \cdot \cos^2 \varepsilon \right\} \cdot \lambda \cdot V_M, \quad (9)$$

де B_0 – ширина захвата знаряддя, м;

σ – границя міцності структурних агрегатів, кН/м²;

E – модуль пружності ґрунту, кН/м², $E = 28 \times 10^3 - 35 \times 10^3$ кН/м²;

K_L – приведена довжина пласта ґрунту, м, $K_L = 1,0$ м;

i – ступінь подрібнення ґрунту ротаційним розпушувачем;

i_p – ступінь подрібнення ґрунту ножом;

P_{p1} – дотична складова опору різанню ґрунту ножом, кН.

Границя міцності структурних агрегатів дорівнює:

$$\sigma = 135 \exp(0,049 \tau_i) \cdot (-0,00152 \cdot \omega_i^2 + 0,064 \omega_i + 0,33). \quad (10)$$

Дотична складова опору різанню ґрунту ножом розраховується за формулою:

$$P_{p1} = C_{yz} [2B + 2,64 \cos(45^\circ + \phi_2) \cdot \operatorname{tg} \phi_2] \cdot \delta \cdot \cos(45^\circ + \phi_2) + \\ + 2 \left\{ 2C_{yz} \delta^2 \cos(45^\circ + \phi_2) \cdot \sin \arctg \left[\frac{0,66 \cdot \operatorname{tg} \phi_2}{\cos(45^\circ + \phi_2)} \right] \times \right. \\ \left. \times \sin(45^\circ + \phi_2) + 4,9 I_H \cos \varepsilon \cdot \delta^2 \operatorname{tg}^2(45^\circ - 0,5 \phi_2) \cdot \gamma \cdot \sin \phi_2 \right\} \times \\ \times \operatorname{tg} \phi_1 + K' (X + Z \cdot \operatorname{tg} \phi_1) \cdot B + B \cdot \delta \cdot \gamma \cdot \frac{\sin \varepsilon \cdot \cos \Theta'}{\sin(\varepsilon \cdot \Theta')} \cdot V_p^2, \quad (11)$$

де C_{num} – питоме зчеплення частинок ґрунту, кН/м²;

K' – гранично несуча властивість ґрунту, кН/м²;

X, Z – параметри площі затуплення ножа, м;

Θ' – задній кут ножа, град., $\Theta' \geq 10^\circ$;

V_p – швидкість обертання ротора, м/с., $V_p = \lambda \times V_M$.

Ступінь подрібнення ґрунту ротаційним розпушувачем можна визначити за емпіричною формулою:

$$i = 0,264 \exp(0,407 \cdot \lambda + 0,173 Z - 1,334 T - 0,873 \cdot V_M + \\ + 0,00463 \cdot \sigma) \cdot (0,0013 \cdot \sigma + 0,714) \cdot (0,75 \cdot a + 0,887). \quad (12)$$

Ступінь подрібнення ґрунту ножом дорівнює:

$$i_p = 0,1 \exp(0,324 \lambda + 0,173 Z + 0,75 V_M) \cdot (0,0013 \sigma + 0,714). \quad (13)$$

Кількість обертів вала ротора дорівнює:

$$n = \frac{15 V_M \cdot \lambda}{\pi \cdot R^2}. \quad (14)$$

Висновки. Використання даної методики розрахунку конструктивно-технологічних параметрів ротаційних ґрунтообробних знарядь при їх проектуванні та виборі режимів роботи дасть змогу забезпечити зменшення енерговитрат на технологічні операції обробітку ґрунту і значно покращити якість підготовленого для сівби ґрунту.

Список використаних джерел

1. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України. – К.: Нора-прінт, 1999. – 280 с.
2. Замойська К.В. Обґрунтування параметрів ротаційного розпушувача ґрунту: Дис. ... канд. тех. наук: 05.20. 01. – Кам'янець-Подільський, 2008. – 159 с.
3. Панченко А.Н. Теория измельчения почв почвообработывающими орудиями. – Днепропетровск: ДГАУ, 1999. – 140 с.
4. Панченко А.Н. Аналитический метод определения тяговых сопротивлений почвообработывающих и землеройных машин и оценка их эффективности для энергосберегающих технологий: Уч. пособ. – К.: Урожай, 1998. – 164 с.

5. Бендера І.М., Замойська К.В. Результати експериментальних досліджень роботи ротаційного розпушувача // Вісник Львівського державного аграрного університету. Серія “Агроінженерні дослідження”. Вип. 10 – Львів: ЛДАУ, 2006. – С. 315-322.
6. Замойська К.В. Результати теоретичних досліджень ротаційного розпушувача // Збірник наукових праць Подільської державної аграрно-технічної академії. Вип. 11. – Кам’янець-Подільський: Абетка, 2003. – С. 341-343.
7. Замойська К.В., Бендера І.М. Результати польових досліджень роторного культиватора // Вісник Хмельницького національного університету. Серія “Технічні науки”. – № 5. – Хмельницький. – 2007. – С. 91-93.
8. Деклараційний патент на корисну модель 7435, Україна, МПК⁷ А01В33/00. Ротаційний розпушувач ґрунту /Замойська К.В., Бендера І.М., Бончик В.С. (Україна). Подільський державний аграрно-технічний університет (Україна) – № 20041210389; Заявл. 17.12. 2004; Опубл. 15.06. 2005; Бюл. № 6.
9. Замойська К.В., Бендера І.М. Зменшення затрат потужності на обробіток ґрунту роторним культиватором //Збірник наукових праць Національного аграрного університету “Механізація сільсько-господарського виробництва”. Том ХІV. – К.: НАУ, 2003. – С. 241-247.

***Аннотація.** Предложена методика расчета конструкционно-технологических параметров ротационных почвообрабатывающих орудий для поверхностной обработки почвы и выбора режимов их работы. Использование этой методики расчета конструкционно-технологических параметров ротационных почвообрабатывающих орудий при их проектировании и выборе режимов работы уменьшит энергоемкость технологических операций и значительно улучшит качество предпосевной подготовки почвы.*

***Ключевые слова:** ротационное почвообрабатывающее орудие, ротационный рыхлитель почва, конструкционно-технологические параметры, поверхностная обработка почвы, режимы работы, активный рабочий орган.*