

УДК 658.285:631.3

Замойський С.М.*к.т.н., доцент**кафедра транспортних технологій та засобів АПК
Інженерно-технічний факультет
Подільський державний аграрно-технічний університет
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: stepanzam@gmail.com***Замойська К.В.***к.т.н., доцент**кафедра охорони праці та фізичного виховання
Подільський державний аграрно-технічний університет
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: stepanzam@gmail.com***ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ РОТАЦІЙНОГО РОЗПУШУВАЧА ҐРУНТУ**

Сьогодні в агропромисловому комплексі України сільськогосподарська продукція виробляється різними за кількістю ріллі господарствами (від декількох десятків до десятків тисяч гектарів). Наявний парк сільськогосподарських машин у більшості господарств зношений та недостатній для своєчасного обробітку ґрунту під сівбу різних сільськогосподарських культур в оптимальні агротехнічні терміни.

Поверхневий обробіток ґрунту під посів зернових культур виконується ґрунтообробними знаряддями з активними та пасивними робочими органами. Крайню якість підготовки ґрунту забезпечують активні робочі органи, але й вони мають певні недоліки: недостатня заробка стерні і пожнивних решток в ґрунт, складна конструкція та низька технологічна надійність, велика металомісткість. Це знижує ефективність технологічних процесів.

Запропоновано методику теоретичних досліджень конструктивно-технологічних параметрів ротаційного розпушувача ґрунту з метою їх оптимізації і вибору ефективних режимів роботи розпушувача. Оптимізовано крок витка розміщення ножів ротаційного розпушувача ґрунту залежно від інших параметрів знаряддя та умов його роботи.

Дослідження спирається на використання математичних методів та законів теоретичної механіки, зокрема методу формалізації

Результатом запропонованої методики розрахунку параметрів розпушувача ґрунту є оптимізація конструктивно-технологічних параметрів розпушувача, а саме кроку витка ножів розпушувача, їх кількості на валу знаряддя та взаємопов'язаних із ними показника кінематичного режиму та швидкості руху знаряддя. Це в кінцевому результаті приводить до підвищення агротехнічних показників і якості обробітку ґрунту.

Ключові слова: ґрунт, поверхневий обробіток ґрунту, ротаційний розпушувач ґрунту, конструктивно-технологічні параметри розпушувача, крок витка, глибина обробітку ґрунту.

Вступ. При вирощуванні різних сільськогосподарських культур важливою проблемою є підготовка ґрунту під їх посів. Необхідно забезпечити якісну структуру верхнього шару ґрунту для проростання насіння і розвитку та росту рослин. Щоб одержати оптимальні сходи і створити найкращі умови для розвитку рослин потрібно мати у верхньому шарі ґрунту 50-60 відсотків структурних агрегатів із розміром частинок 0,25...10 міліметрів. Це, в першу чергу, залежить від технології обробітку ґрунту і від конструкцій ґрунтообробних машин. Основною вимогою до ґрунтообробної техніки є висока якість і технологічна надійність виконання операцій обробітку ґрунту відповідно до вимог агротехніки і зменшення енергетичних затрат. Існуючі

грунтообробні знаряддя, особливо з пасивними робочими органами, не повністю забезпечують виконання цих задач і не завжди забезпечують високу якість обробітку ґрунту з різними фізико-механічними властивостями.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питаннями поверхневого обробітку ґрунту займалися багато вчених-грунтообробників. Це А.М. Зеленін, І.М. Панов, Г.І. Синєоков, А.І. Коновал, Є.С. Босой, В.А. Сакун, Є.п. Яцук, А.М. Панченко, С.М. Герук та інші вчені [1]. Актуальними є праці професора А.М. Панченка [2-4] присвячені різанню ґрунту активними робочими органами, в яких встановлено, що існуючі ґрунтообробні ротаційні знаряддя забезпечують високу якість обробітку ґрунту, однак вони мають деякі недоліки: висока енергомісткість обробітку ґрунту, великий показник кінематичного режиму ($\lambda=4-16$), невелика швидкість руху.

У працях [5-6] розглянуто питання використання сучасних ґрунтообробних знарядь. У працях [7-11] оптимізовано ряд конструктивно-технологічних та енергетичних параметрів ротаційних ґрунтообробних знарядь, що впливають на поверхневий обробіток ґрунту.

Мета. Метою наших досліджень є теоретичне обґрунтування кроку витка розміщення ножів ротаційного розпушувача ґрунту і впливу цього конструктивно-технологічного параметра на агротехнічні та енергетичні показники роботи ґрунтообробного знаряддя при поверхневому обробітку ґрунту під посів зернових культур.

Результати. Ротаційний розпушувач [12] складається з рами, на якій розміщений барабан із основними і додатковими ножами. Основні ножі розташовані під кутом до осі барабана і закріплені на барабані по гвинтовій лінії з правою навивкою до основи лінії машини, і навпаки, друга сторона розпушувача від осьової лінії машини містить основні ножі, розташовані під кутом до барабана по гвинтовій лінії з правою навивкою, таким чином, на другій стороні барабана вони розташовані дзеркально.

Привод робочих органів здійснюється через ланцюгову передачу, кіничний редуктор, карданний вал від валу відбору потужності трактора.

Ротаційний розпушувач ґрунту працює таким чином. При переміщенні 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.



Рис 1. Ротаційний розпушувач ґрунту

Розглянемо процес деформації ґрунту ножем ротаційного розпушувача. Максимальна товщина стружки δ виникає при повороті ножа на кут α_v (рис. 2.). Вздовж

ножа під кутом $(45^\circ + \varphi_2)$ від передньої грані АС проходить скол ґрунту по лінії АВ (рис. 2а).

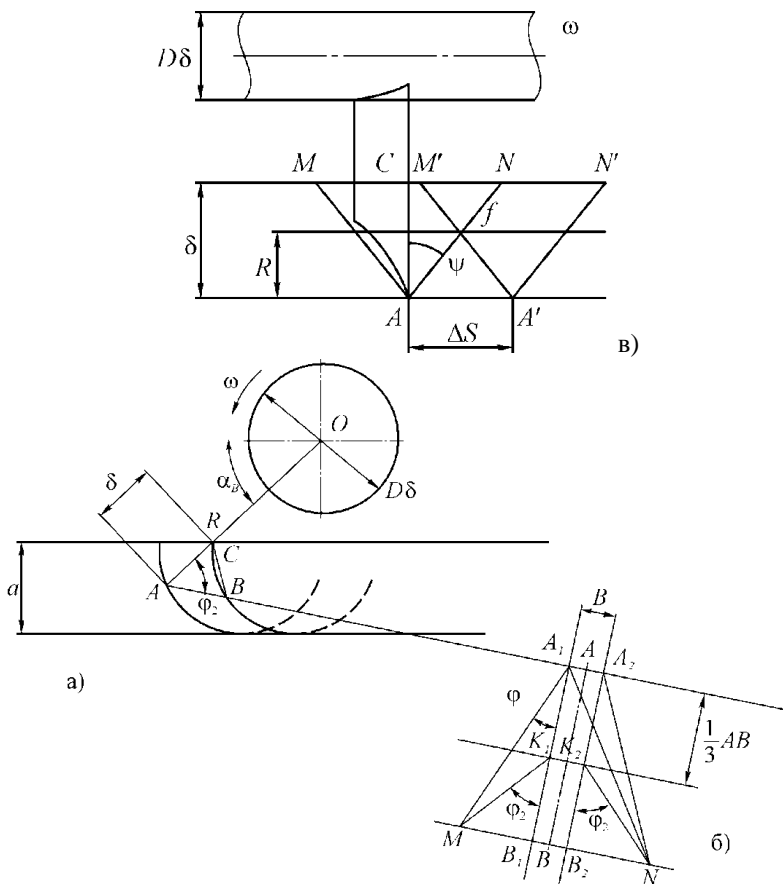


Рис. 2. Зони деформації ґрунту ножом ротаційного розпушувача:
 а) поздовжня зона деформації; б) поперечна зона деформації по лінії сколу;
 в) поперечна зона деформації по максимальній товщині зрізаної стружки ґрунту

Для побудови поперечного сколу деформації ґрунту по лінії АВ використовуємо таку методику. Продовжуємо довільно лінію АВ. Беремо на лінії АВ довільну точку А. Від т. А симетрично відкладаємо ширину захвата ножа v . Одержуємо т.т. A_1 і A_2 . По осі симетрії відкладаємо довжину сколу АВ. Через т. В проводимо лінію, паралельну $A_1 A_2$. З т. т. K_1 і K_2 під кутом внутрішнього тертя φ_2 до вертикалі проводимо лінії до перетину з $B_1 B_2$. Одержуємо т.т. М і N. Довжина М N визначає ширину зони деформації поперек. З'єднуємо т. т. М і N з т. т. відповідно A_1 і A_2 . Одержана трапеція $A_1 A_2 N M$ є зоною деформації ґрунту ножом поперек руху по лінії АВ. Кут φ визначає напрям сколу поперек до вертикалі. Для визначення цього кута використовуємо рис. 2б.

Із трикутника $K_1 B_1 M$ довжина

$$MB_1 = 0,66 \cdot AB \cdot \tan \varphi_2 \quad (1)$$

З другої сторони із трикутника $A_1 B_1 M$

тобто $AE = EB = \delta \cdot \cos(45^\circ + \varphi_2)$.

Довжина поперечної зони деформації складає:

$$MN = 2AB \cdot \operatorname{tg}\varphi_2 + \epsilon = 1,32AB \cdot \operatorname{tg}\varphi_2 + \epsilon \quad (11)$$

Із подібності ΔAMN і $\Delta AfA'$ визначимо віддаль між ножами в ряду ΔS (рис. 2).

$$\frac{MN}{\delta} = \frac{\Delta S}{h_1} = \frac{5\Delta S}{a} \quad (12)$$

$$\Delta S = \frac{MN \cdot a}{\delta} = \frac{(1,32AB \cdot \operatorname{tg}\varphi_2 + \epsilon)a}{\delta} \quad (13)$$

Підставляючи значення AB в формулу (13), визначимо

$$\Delta S = \frac{(1,32 \cdot 2\delta \cdot \cos(45^\circ + \varphi_2) \cdot \operatorname{tg}\varphi_2 + \epsilon)a}{\delta} = \frac{(2,64\delta \cdot \cos(45^\circ + \varphi_2) \cdot \operatorname{tg}\varphi_2 + \epsilon)a}{\delta} \quad (14)$$

Крок витка T згідно рис. 4 буде рівний

$$T = (Z - 1) \cdot (\Delta S + \epsilon) \quad (15)$$

або після підстановки величини (14) визначимо кінцево

$$T = (Z - 1) \cdot \left(\frac{[2,64\delta \cdot \cos(45^\circ + \varphi_2) \cdot \operatorname{tg}\varphi_2 + \epsilon] \cdot a}{\delta} + \epsilon \right) \quad (16)$$

Підставляючи значення δ в формулу, визначимо

$$\begin{aligned} T &= (Z - 1) \cdot \left[\left[2,64 \cos(45^\circ + \varphi_2) \cdot \operatorname{tg}\varphi_2 + \frac{\epsilon}{\delta} \right] \cdot a + \epsilon \right] = \\ &= (Z - 1) \cdot \left(\left[2,64 \cos(45^\circ + \varphi_2) \cdot \operatorname{tg}\varphi_2 + \frac{\lambda \cdot Z \cdot \epsilon}{2\pi \cdot R \cdot \cos \arcsin(1 - \frac{a}{R})} \right] \cdot a + \epsilon \right) \end{aligned} \quad (17)$$

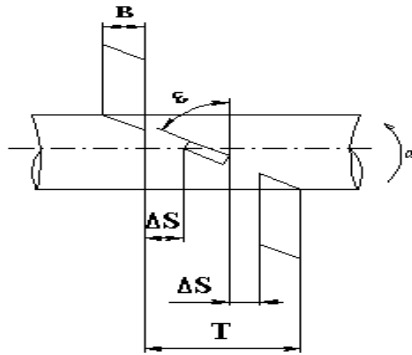


Рис. 4. Схема для визначення кроку витка

Результати досліджень показані на наступних рисунках.

На величину кроку витка ножів відповідно впливають: показник кінематичного режиму λ , кількість ножів по колу Z , глибина обробітку a , ширина ножа l_n , кут внутрішнього тертя ґрунту φ_2 .

Із збільшенням показника кінематичного режиму λ від 0,5 до 5,0 при $Z = 1; 2; 3; 4;$ 8 крок витка ножів відповідно збільшується від 0,09 м до 0,18 м; 0,18 м до 0,32 м; 0,28 м до 0,54 м; 0,75 м до 1,6 м (рис. 5). При показнику кінематичного режиму $\lambda = 1,72$,

кількість ножів $Z = 4$, крок витка складає $T = 0,44$ м.

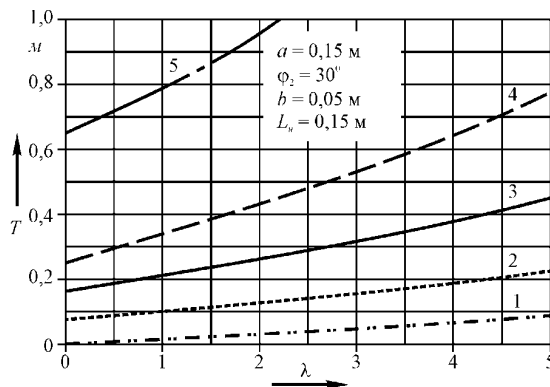


Рис. 5. Залежність кроку витка від показника кінематичного режиму λ при різних значеннях кількості ножів по колу Z

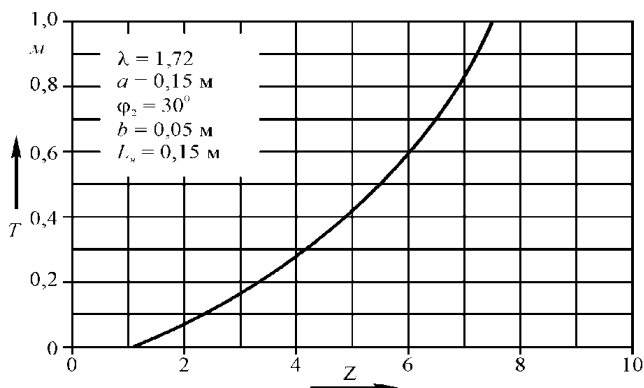


Рис. 6. Залежність кроку витка T від кількості ножів Z

Збільшення глибини обробітку ґрунту a призводить до збільшення кроку витка T (рис. 7). Наприклад, при зміні глибини обробітку ґрунту від 0,05 м до 0,45 м крок витка зростає від 0,27 м до 0,7 м.

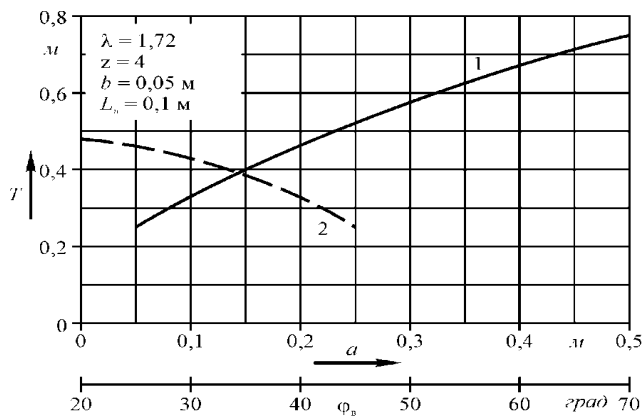


Рис. 7. Залежність кроку T від глибини обробки a і кута внутрішнього тертя ґрунту ϕ_n

Ширина ножа l_H також впливає на крок витка T (рис. 8).

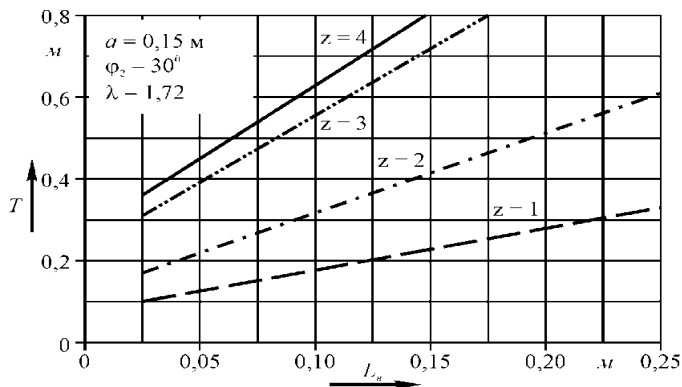


Рис. 8. Залежність кроку T від ширини ножа l_H при куті його розташування в плані $\varepsilon=30^\circ$

Із збільшенням ширини ножа l_H від 0,05 м до 0,25 м при $Z = 1, 2, 4$ збільшується крок відповідно від 0,12 м до 0,32 м; 0,22 м до 0,61 м; 0,3 м до 0,9 м.

При $\lambda = 1,72$, $\varepsilon = 30^\circ$, $a = 0,15$ м при $Z = 4,0$ $T = 0,44$ м, ширина ножа складає $l_H = 0,1$ м.

Кут внутрішнього тертя φ_2 ґрунту зазвичай знаходиться в межах $\varphi_2 = 28 - 35^\circ$. При зміні кута φ_2 в цих межах крок T витка змінюється від 0,445 до 0,4 м.

Висновки. Таким чином, при швидкості руху знаряддя $V_m = 3,0$ м/с, глибини обробітку $a = 0,15$ м, осьовому тиску структурних агрегатів $P_0 = 0,022$ кН визначені такі оптимальні параметри ротаційного розпушувача:

- показник кінематичного режиму $\lambda = 1,72$;
- кількість ножів по колу $Z = 4,0$;
- крок витка $T = 0,44$ м;
- ширина ножа $l_H = 0,1$ м;
- кут зсуву ножа в плані $\varepsilon = 30^\circ$.

Список використаних джерел

1. Замоїська, К.В. Обґрунтування параметрів ротаційного розпушувача ґрунту [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.20.01 : / Замоїська Катерина Володимирівна. Кам'янець-Подільський, 2008. – 159 с.
2. Панченко, А.Н. Аналитический метод определения тяговых сопротивлений почвообрабатывающих и землеройных машин и оценка их эффективности для энергосберегающих технологий [Текст] : учеб. пособ. / А.Н. Панченко. – К. : Урожай, 1998. – 164 с.
3. Панченко, А.Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями [Текст] / А.Н. Панченко. – Днепропетровск : Полиграфист, 1999. – 140 с.
4. Панченко, А.Н. Теория и расчет сельскохозяйственных машин [Текст] / А.Н. Панченко. – Днепропетровск : ДГУ, 2002. – 400 с.
5. Іванишин, В.В. Економічна ефективність енергоощадних технологій обробітку ґрунту і сівби озимих зернових культур та ріпаку [Текст] / В. Іванишин, Т.Бабінець // Техніко-технологічні аспекти розвитку та впровадження нової техніки і технологій для сільського господарства України : зб. наук. праць. – Книга 1. – Вип. 9 (23). – 2006. – С. 9-22.
6. Іванишин В.В. Розвиток технічного забезпечення в аграрному виробництві [Текст] / В.В. Іванишин // Організаційно-економічні трансформації в аграрному виробництві. – К. : ННЦ "ІАЕ", 2010. – С.110-114.
7. Замоїська, К.В. Зменшення затрат потужності на обробіток ґрунту роторним

культиватором [Текст] / К.В. Замойська, І.М. Бендера // Механізація сільськогосподарського виробництва : зб. наук. пр. / Національний аграрний університет. – 2003. – № 18. – С. 241-247.

8. Замойська, К.В. Аналіз роботи роторного культиватора [Текст] / К.В. Замойська // Вісник Львівського державного аграрного університету. Серія “Агроінженерні дослідження”. Вип. 7 – Львів : ЛДАУ, 2003. – С. 147-152.

9. Замойська, К.В. Результати теоретичних досліджень ротаційного розпушувача [Текст] / К.В. Замойська // Збірник наукових праць Подільської державної аграрно-технічної академії. Вип. 11. – Кам’янець-Подільський : Абетка, 2003. – С. 341-343.

10. Замойська, К.В. Результати експериментального дослідження роботи ротаційного розпушувача [Текст] / К.В. Замойська // Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету. Вип. 12. – Кам’янець-Подільський : Абетка, 2004. – С. 361-364.

11. Замойська, К.В. Вплив фізико-механічних властивостей ґрунту на якість роботи ротаційного розпушувача [Текст] / К.В. Замойська // Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету. Вип. 13. – Кам’янець-Подільський : Абетка, 2005. – С. 475-478.

12. Пат. на корисну модель 7435, Україна, МПК А01В33/00. Ротаційний розпушувач ґрунту [Текст] / Замойська К.В., Бендера І.М., Бончик В.С. (Україна) ; заявник та патентовласник Подільський державний аграрно-технічний університет (Україна). - № 20041210389; заявл. 17.12.2004 ; опубл. 15.06.2005, Бюл. № 6. - 5с. : іл.

References

1. Zamojska, K. (2008). *Justification rotary ripper soil parameters (Unpublished doctoral dissertation)*. Lviv National Agrarian University, Lviv. [in Ukrainian].

2. Panchenko, A. (1998). *Analiticheskij metod opredeleniya tyagovikh soprotivlenij pochvoobrabatyvayuschikh i zemlerojnykh mashin i ocnka ikh effektivnosti dlya energosberigayuschikh tekhnologij* [Analytical method for determining the resistance of traction tillage and earthmoving machinery and assessment of their effectiveness in energy-saving technologie]. Kiiiv: Uroshaj. [in Russian].

3. Panchenko, A. (1999). *Teoriya izmelchenyya pochv pochvoobrabatyvayuyemy orudyamy* [Theory grinding soil tillage]. Dnipropetrovsk: Poligrafist [in Russian].

4. Panchenko, A. (2002). *Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayuschikh orudiy* [Theory and evaluation of agricultural machines]. Dnipropetrovsk: DGU. [in Russian].

5. Ivanyshyn, V. (2006). *Ekonomichna efektyvnist energoschadnykh tekhnologiy obrobittu gruntu I sivbu ozymykh zernovykh kultur i ripaku*. [Cost-effectiveness of energy-saving technologies tillage and sowing of winter cereals and oilseed rape]. *Zbirnyk naukovykh prats, 1(9)*, 9-22 [in Ukrainian].

6. Ivanyshyn, V. (2010). *Rozvytok tekhnichnogo zabezpechennya v agrarnomu vyrobnytsvi*. [Development of technical support in the agricultural production]. K. : NNTS “IAE” [in Ukrainian].

7. Zamojska, K. (2003). *Zmenshennya zatrat potuzhnosti na obrobittok gruntu rotornym kultivatorom* [Reducing power losses in rotary tillage cultivator]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnogo agrarnogo universitetu: mekhanizatsiya silskogospodarskogo vyrobnytsva* [Mechanization of agricultural production: collection of scientific works], 14, 241-247 [in Ukrainian].

8. Zamojska, K. (2003). *Analyz roboty rotornogo kultivatora* [Analysis of rotary cultivator]. *Visnyk L'vivskoho derzhavnoho ahrarnoho universytetu: ahroinzhenerni doslidzhennia* [Bulletin of the Lviv State Agrarian University. A series of "Agrotechnical research"], 7, 131-136. [in Ukrainian].

9. Zamojska, K. (2003). *Rezultatu teoretychnykh doslidzhen rotatsyjnogo rozpushuvacha*. [The results of theoretical studies rotary ripper]. *Zbirnyk naukovykh prac' Podil's'koi' derzhavnoi' agrarno-tehnichnoi' akademii'* [Podilian State Agrarian and Engineering Academy Collection], (11), 341-343. [in Ukrainian].

10. Zamojska, K. (2004). *Rezultatu eksperimentalnogo doslidzhennya roboturotatsyjnogo rozpushuvacha*. [The results of experimental studies of rotating baking powder]. *Zbirnyk naukovykh prac' Podil's'kogo derzhavnoho agrarno-tehnichnogo universytetu* [Podilian State Agrarian and Engineering University Collection], 12, 361-364. [in Ukrainian].

11. Zamojska, K. (2005). *Vplev fizuko-mekhanichnykh vlastyvostej gruntu na yakist roboty rotatsyjnogo rozpushuvacha* [Effect of physical and mechanical properties of soil on the quality of rotary ripper]. *Zbirnyk naukovykh prac' Podil's'kogo derzhavnoho agrarno-tehnichnogo universytetu* [Podilian

State Agrarian and Engineering University Collection], 13, 475-478. [in Ukrainian].

12. Zamojska, K., Bendera, I., & Bonchuk, V. (2005). *Pat. na korysnu model' 7435, Ukrai'na, MPK A01V33/00. Rotacijnyj rozpushuvach g'runtu* [Ukraine Patent № 20041210389, A01V33 IPC Kyiv, Ukraine Patent and Trademark Office [in Ukrainian].

*Дата надходження статті до редакції: 13.01.16 року
рецензування 15.02.2016, прийняття в друк 10.03.2016.
Received 14.01.2016. 1st Revision: 15.02.2016 Accepted: 10.03.2016*

Stepan Zamojskij
PhD (Techn.)
Associate Professor

*Department of transport technologies and agriculture
Faculty of Engineering
State Agrarian and Engineering University in Podilya
Kamenets-Podilsky, Ukraine
E-mail: stepanzam@gmail.com*

Katerina Zamojska
PhD (Techn.)
Associate Professor

*Department of Labour Protection and Physical Education
Faculty of Engineering
State Agrarian and Engineering University in Podilya
Kamenets-Podilsky, Ukraine
E-mail: stepanzam@gmail.com*

THE DEVELOPMENT OF EFFECTIVE CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ROTARY AERATOR

The agricultural production is manufactured by modern Ukrainian agricultural enterprises in terms of different tillage quantity (starting from dozens to thousands of hectares). The agricultural machinery that is at disposal of the majority of agricultural farms is worn-out and insufficient for tilling and sowing of culture crop in optimum agrotechnical terms. The surface tilling for sowing grain crop is done with the help of both active and passive working parts. Better quality of soil preparation is provided by active working parts. But they also have disadvantages, such as not deep penetrating and leaving harvest remains, complicated construction and low technical safety, high metal capacity. All these factors reduce the effectiveness of technological process. The mathematical methods and laws of theoretical mechanics and method of formalization as well are used in the study. Results. The article offers the procedure of theoretical research of constructive and technological characteristics of rotary aerator to optimize and choose effective conditions of its work. The ways of optimizing the turn cycle of knives position of rotary ripper depending on other characteristics of this instrument and conditions of its work are analyzed in the paper. The offered procedure of aerator characteristic calculation proved the optimization of constructive and technological parameters of aerator with the help of twist pitch of knives and their number on the shaft, indicator of kinematic regimen and the speed of instrument motion. It results in increasing the agrotechnical indicators and quality of soil cultivation.

Key words: *soil, surface tilling, rotary aerator, constructive and technological characteristics of aerator, twist pitch, the depth of tilling*

Степан Замойский
к.т.н., доцент

*кафедра транспортных технологий и средств АПК
Инженерно-технический факультет
Подольский государственный аграрно-технический
университет
Каменец-Подольский, Украина
E-mail: stepanzam@gmail.com*

Екатерина Замойская
к.т.н., доцент

*кафедра охраны труда и физического воспитания
Инженерно-технический факультет
Подольский государственный аграрно-технический
университет
Каменец-Подольский, Украина*

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РОТАЦИОННОГО РЫХЛИТЕЛЯ ПОЧВЫ

Сегодня в агропромышленном комплексе Украины происходят реформы, которые сменяют настоящую систему производства сельскохозяйственной продукции, которая вырабатывается разными по количеству паши хозяйствами (от нескольких десятков до десятков тысяч гектарів). Существующий парк сельскохозяйственных машин у большинства хозяйств изношен и недостаточный для своевременной обработки почвы под посев разных сельскохозяйственных культур в оптимальные агротехнические сроки. Поверхностная обработка почвы под сев зерновых культур выполняется почвообрабатывающими орудиями с активными и пассивными рабочими органами. Лучшее качество подготовки почвы обеспечивают активные рабочие органы, но и они имеют некоторые недостатки: плохое заравывание растительных остатков в почву, сложная конструкция и низкая технологическая надежность, большая металлоемкость. Это снижает эффективность технологических процессов. В статье рассмотрено методику теоретических исследований расчета параметров шага витка размещения ножей ротационного рыхлителя почвы и воздействия их на агротехнические показатели поверхностной обработки почвы под сев разных сельскохозяйственных растений.

Ключевые слова: почва, поверхностная обработка почвы, ротационный рыхлитель почвы, конструкционно-технологические параметры рыхлителя, шаг витка, глубина рыхления почвы.