



Ефективність використання машин в землеробстві Efficiency of use machines in agriculture

УДК 658.285:631.3

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6819484>

Ступінь подрібнення ґрунту ротаційним розпушувачем

С.М. Замойський¹, Ю.М. Білик², В.С. Курской³, М.В. Лук'янюк⁴, В.О. Герасименко⁵

¹⁻⁴ Хмельницький національний університет (м. Хмельницький, Україна)

⁵ Сумський національний аграрний університет, (м. Суми, Україна)

email: ¹ stepanzam@gmail.com; ² y_bilyk@meta.ua;

³ vk702713@gmail.com; ⁴ adm_mv@ukr.net; ⁵ Vladzaoch@ukr.net;

ORCID: ² 0000-0002-3808-4583; ³ 0000-0002-3929-884X; ⁵ 0000-0001-5875-8517

Дуже важливе значення для отримання оптимальних сходів і створення найкращих умов для розвитку рослин має якісна підготовка ґрунту під сівбу різних сільськогосподарських культур. Для цього необхідно мати у верхньому шарі ґрунту не менше 50...60 відсотків структурних агрегатів із розміром частинок 0,25...10 міліметрів.

Для зменшення енергомосткості процесу і підвищення якості обробітку на основі знання про фізико-механічні властивості ґрунту необхідно застосовувати такі способи його деформації, щоб опір різанню був якнайменший, а робочі органи створювали різнонаправлені деформації за рахунок декількох способів руйнування ґрунтового моноліту

Сьогодні для поверхневого обробітку ґрунту дуже широко застосовуються ґрунтообробні знаряддя з активними робочими органами. Найбільш поширені ротаційні розпушувачі ґрунту. Тому при проектуванні цих знарядь і їх робочих органів слід враховувати, що вони повинні в першу чергу забезпечувати високу якість обробітку ґрунту, можливість зміни режиму різання ґрунту в широкому діапазоні.

Проведений аналіз конструкційно-технологічних схем ротаційних розпушувачів ґрунту і процесу їх роботи показав, що найбільший вплив на технологічний процес розпушування мають такі параметри: ширина захвату, робоча швидкість, частота обертання вала ротора, кількість робочих ножів, крок витка розміщення ножів, ширина ножа та інші його геометричні характеристики. Саме від цих параметрів в першу чергу залежить деформація ґрунту і зменшення опору різанню.

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: недостатня заробка стерні і пожнивних решток в ґрунт, велика енергомосткість, складна конструкція. Тому дослідження конструкційних параметрів розпушувача і їх залежності від фізико-механічних властивостей ґрунту є сьогодні актуальним питанням.

Метою наших досліджень є аналіз та оптимізація конструкційно-технологічних параметрів ротаційного розпушувача ґрунту і впливу їх на ступінь подрібнення ґрунту при його поверхневому обробітку під посів різних сільськогосподарських культур.

Дослідження спирається на методи математики та теоретичної механіки.

Результатом досліджень є оптимізація параметрів ротаційного розпушувача і їх впливу на ступінь подрібнення ґрунту.

Ключові слова: ґрунт, поверхневий обробіток ґрунту, ротаційний розпушувач, конструкційно-технологічні параметри розпушувача, глибина обробітку ґрунту, ступінь подрібнення ґрунту.

Вступ. Дуже важливе значення для отримання оптимальних сходів і створення найкращих умов для розвитку рослин має якісна підготовка ґрунту під сівбу різних сільськогосподарських культур. Для цього необхідно мати у верхньому шарі ґрунту не менше 50...60 відсотків структурних агрегатів із розміром частинок 0,25...10 міліметрів. Існуючі ґрунтообробні знаряддя, як пасивного так і активного типу не повністю забезпечують потрібну якість підготовки ґрунту з різними фізико-

механічними властивостями. Кращу якість обробітку забезпечують активні робочі органи, але й вони мають багато недоліків [1].

Наслідком цього є мала швидкість руху і, відповідно, мала продуктивність агрегата, а також висока питома металомісткість і енергомосткість конструкції.

Для зменшення енергомосткості процесу і підвищення якості обробітку на основі знання про фізико-механічні властивості ґрунту необхідно

застосовувати такі способи його деформації, щоб опір різанню був якнайменший, а робочі органи створювали різнонаправлені деформації за рахунок декількох способів руйнування ґрунтового моноліту [1]. Важливо, щоб структурні агрегати ґрунту рухались по поверхні робочого органа, як суцільна скиба і одночасно переміщувались один відносно одного, причому значно швидше, ніж по робочому органі. Це в першу чергу залежатиме від форми і геометрії робочих органів та кінематики їх руху.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Проведений аналіз конструкцій ротаційних ґрунтообробних знарядь дає змогу стверджувати, що існуючі на сьогоднішній день ротаційні розпушувачі ґрунту потребують радикального вдосконалення.

Проведений аналіз конструкційно-технологічних схем ротаційних розпушувачів ґрунту і процесу їх роботи показав, що найбільший вплив на технологічний процес розпушування мають такі параметри: ширина захвату, робоча швидкість, частота обертання вала ротора, кількість робочих ножів, крок витка розміщення ножів, ширина ножа та інші його геометричні характеристики. Саме від цих параметрів в першу чергу залежить деформація ґрунту і зменшення опору різанню.

Питаннями поверхневого обробітку ґрунту під посів різних зернових культур займалися такі вчені: 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 [1]. Вони сформуливали основи теорії різання ґрунту пасивними і активними робочими органами різних типів. Актуальними є праці професора А.М. Панченка [2, 3, 4] присвячені різанню ґрунту активними робочими органами, в яких вказано, що існуючі ґрунтообробні ротаційні знаряддя мають деякі недоліки: висока енергомісткість обробітку ґрунту, великий показник кінематичного режиму ($\lambda = 4 - 16$), невелика швидкість руху. У працях [1, 5, 6, 7] оптимізовано ряд конструкційно-технологічних та енергетичних параметрів ротаційних ґрунтообробних знарядь, що впливають на поверхневий обробіток ґрунту.

Мета досліджень. Метою наших досліджень є аналіз та оптимізація конструкційно-технологічних параметрів ротаційного розпушувача ґрунту і впливу їх на ступінь подрібнення ґрунту при його поверхневому обробітку під посів різних сільськогосподарських культур.

Результати досліджень. Для оцінки якості обробітку ґрунту використовуються два критерії: ступінь подрібнення ґрунту i і коефіцієнт різнозернистості структурних агрегатів k_η [3]. За результатами досліджень було встановлено, що для забезпечення обробітку ґрунту із розміром структурних агрегатів 5...10 мм ступінь подрібнення повинна складатися:

$$i = (200 - 100)D_{k50H}, \quad (1)$$

де D_{k50H} - початковий розмір структурного агрегату, що складає 50% за масою,

$$D_{k50H} = \sqrt[3]{l_k \cdot b_k \cdot \delta_k};$$

l_k, b_k, δ_k - відповідно довжина, ширина і товщина початкового структурного агрегату.

Коефіцієнт різнозернистості структурних агрегатів:

$$k_\eta \frac{D_{60k}}{D_{10k}} = 9 - 16, \quad (2)$$

де $D_{60k} i D_{10k}$ - відповідно розміри структурних агрегатів, що складають 60% і 10% за масою.

Ступінь подрібнення ґрунту для ріжучого периметру з поступальним переміщенням визначається за формулою:

$$I = \left(\frac{2K_p \cdot E_V}{\sigma^2} + 1 \right) \frac{1}{i_0}, \quad (3)$$

де K_p - питомий опір різання ґрунту, кН/м^2 ,

$$K_p = \frac{P_p}{b \cdot a};$$

P_p - дотична складова опору різанню, кН ; E_V - модуль пружності ґрунту, кН/м^2 , за експериментальними даними $E_V = 20 \cdot 10^{-3} - 50 \cdot 10^{-3} \text{ кН/м}^2$, менше значення приймається для легких ґрунтів; σ - межа міцності структурного агрегату, кН/м^2 , $\sigma = 100 - 600 \text{ кН/м}^2$; i_0 - початкова ступінь подрібнення ґрунту; b і a - відповідно ширина ріжучого периметра і глибина обробітку ґрунту, м.

Автор [1] розробив нову концепцію створення високоефективних ґрунтообробних знарядь. Як відзначають автори [1, 5, 6, 7], одним із перспективних напрямків є створення таких конструкцій ґрунтообробних знарядь, в яких суміщаються різні способи руйнування ґрунту, які дозволяють за один прохід забезпечити необхідну якість обробітку.

Ступінь подрібнення ґрунту для цього випадку складає:

$$i = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \dots \cdot i_j, \quad (4)$$

де $i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \dots \cdot i_j$ - відповідно перший, другий, третій ... j -ий способи руйнування ґрунту.

Для визначення ступеня подрібнення ґрунту ротаційним розпушувачем використовували спеціальний лабораторний стенд.

Ступінь подрібнення ґрунту рівна

$$i = i_p \cdot i_{ст.} \cdot i_{пер}, \quad (5)$$

де i_p - ступінь подрібнення ґрунту ножом ротора; $i_{ст.}$ - ступінь подрібнення структурних агрегатів стискуванням; $i_{пер}$ - ступінь подрібнення структурних агрегатів перетиранням.

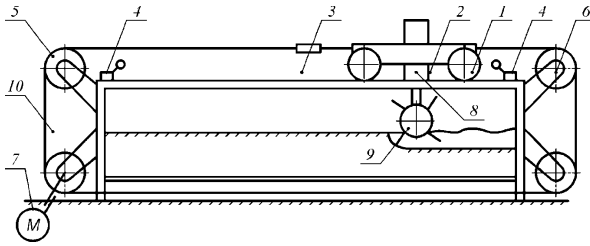


Рис. 1. Схема ґрунтового каналу
 1 – ґрунтовий канал; 2 – візок; 3 – механізм тяги; 4 – кінцеві вимикачі; 5,6 – зірочки; 7 – електродвигун з редуктором; 8 – шоки; 9 – робочий експериментальний орган; 10 - ланцюги

Для визначення ступеня подрібнення ґрунту ножем i_p використовували установку з ротором і ножами, які розміщені по периметру обертання. У процесі експерименту варіювали такими показниками: величиною кінематичного режиму λ від 1 до 8, кількістю ножів по периметру обертання ротора Z , поступальною швидкістю руху ротора в межах від 1,25 до 3,5 м/с.

При дослідженнях ступеня подрібнення ґрунту від стискування і перетирання ножі встановлювали по гвинтовій поверхні з кроком від 0,2 до 1,0 м, глибина обробітку змінювалась від 0,05 до 0,25 м. Ступінь подрібнення визначалась по формулі:

$$\bar{i}_{ст} \cdot \bar{i}_п = \frac{\bar{i}}{i_p} \quad (6)$$

де $\bar{i}_п$ – середня ступінь подрібнення ґрунту ножем.

На ступінь подрібнення ґрунту ножем впливають показник кінематичного режиму λ , швидкість руху знаряддя V_M , кількість ножів Z , межа міцності структурних агрегатів G .

Значно впливає на ступінь подрібнення ґрунту ножами розпушувача показник кінематичного режиму λ (рис.2). Із збільшенням показника кінематичного режиму λ від 1,0 до 8 при швидкості руху знаряддя $V_M = 3,0$ м/с при розпушуванні ґрунту ротаційним розпушувачем з кількістю ножів $Z = 4$ ступінь подрібнення ножами збільшується від 2,25 до 17,8. При цьому число обертів вала ротора ($R = 0,286$ м; $l_H = 0,1$ м; $\varepsilon = 30^\circ$) змінюється в межах від 150 до 800 хв⁻¹. Для показника кінематичного режиму $\lambda = 1,72$ ступінь подрібнення ґрунту ножем складає $i_p = 2,75$.

Отримана емпірична формула для визначення ступеня подрібнення ґрунту ножами ротора залежно від показника кінематичного режиму λ (для $V_M = 3,0$ м/с; $R = 0,286$ м; $l_H = 0,1$ м; $\varepsilon = 30^\circ$; $\tau = 24,2\%$; $G = 715$ кН/м²; $C_{пит} = 0,5$ кН/м; $\omega = 180^\circ$; $Z = 1$ шт):

$$\bar{i}_п = 1,148 \exp(0,324 \lambda) \quad (7)$$

При значенні показника кінематичного режиму $\lambda = 1,72$ із збільшенням поступальної швидкості

знаряддя V_M від 1,0 до 3,5 м/с ступінь подрібнення ґрунту ножем i_p збільшується від 1,0 до 3,5.

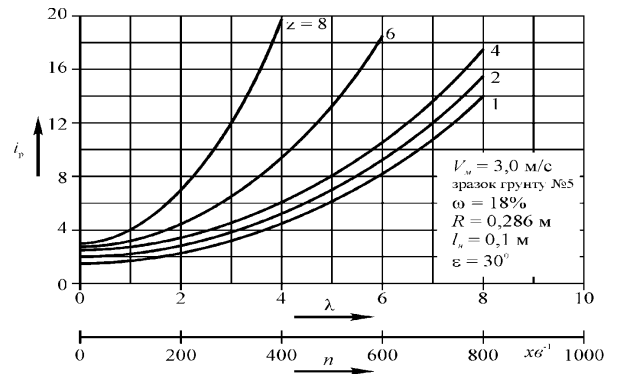


Рис. 2. Графіки залежності ступеня подрібнення ґрунту ножем від:
 а – показника кінематичного режиму λ ;
 б - числа обертів ротора n .

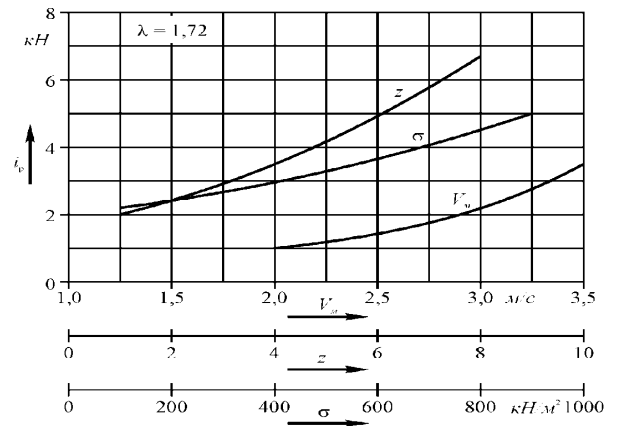


Рис. 3. Графіки залежності ступеня подрібнення ґрунту ножем від: а – кількості ножів Z ;
 б – швидкості руху знаряддя V_M ; в – межі міцності структурних агрегатів G .

Емпірична формула залежності ступеня подрібнення ножами i_p від швидкості руху знаряддя (для $\lambda = 1,72$; $\tau = 24,2\%$; $G = 715$ кН/м²; $C_{пит} = 9$; $\omega = 180^\circ$) має вигляд:

$$\bar{i}_п = 21,0 \exp(-0,75 \cdot V_M) \quad (8)$$

Зі збільшенням кількості ножів Z по периметру кола ротора також збільшується ступінь подрібнення i_p (рис. 3.). Наприклад, для ротаційного розпушувача з кількістю ножів $Z = 1; 2; 4; 6; 8$ при $\lambda = 1,72$ і швидкості руху знаряддя $V_M = 3,0$ м/с ступінь подрібнення ґрунту ножами відповідно складає 2,2; 2,7; 3,5; 5,1; 6,6.

Отримана емпірична формула залежності ступеня подрібнення ґрунту ножами від їх кількості Z :

$$\bar{i}_п = 1,84 \exp \cdot 0,173 \cdot Z. \quad (9)$$

Зі збільшенням межі міцності ґрунту для із 180 до 900 кН/м² (рис. 2) ступінь подрібнення ґрунту ножами i_p зростає лінійно від 2,2 до 5,0.

Емпірична формула має вигляд :

$$\bar{i}_p^G = 0,0034\sigma + 1,82. \quad (10)$$

Загальна емпірична формула для розрахунку ступеня подрібнення ґрунту ножами залежно від показника кінематичного режиму λ , кількості ножів Z , швидкості руху знаряддя V_m , межі міцності ґрунту σ :

$$\bar{i}_p^G = 9,15 \exp(0,324\lambda + 0,173Z - 0,75V_m) \cdot (0,00081\sigma + 0,436). \quad (11)$$

Висновок

1. Отримана емпірична залежність ступеня подрібнення ґрунту ротаційним розпушувачем з гвинтовим розміщенням ножів

$$i = 2,42 \exp \cdot (1,154\lambda + 0,173Z - 1,334T - 0,627V_m + 0,000463\sigma)(0,00081\sigma + 0,436) \cdot (0,75a + 0,887).$$

2. Досліджено вплив різних факторів на величину ступеня подрібнення ґрунту ротаційним розпушувачем з гвинтовим розміщенням ножів:

- з збільшенням показника кінематичного режиму λ від 1 до 8 м при $V_m = 3,0$ м/с ступінь подрібнення ґрунту змінюється від 20,7 до 30,8, для $\lambda = 1,72 - i = 33$.

- із збільшенням кроку витка від 0,2 до 1,0 м ступінь подрібнення ґрунту зменшується в 3,6 рази;

- при зміні швидкості руху знаряддя V_m від 1,0 до 3,5 м/с при $\lambda = 1,72$ ступінь подрібнення збільшується від 8,3 до 42,0;

- з збільшенням глибини обробітку ґрунту від 0,05 до 0,25 м при $\lambda = 1,72$; $V_m = 3,0$ м/с ступінь подрібнення збільшується від 16,7 до 35,5;

- із збільшенням межі міцності структурних агрегатів від 180 до 300 кН/м² ступінь подрібнення ґрунту зростає від 18 до 64 ($\lambda = 1,72$; $V_m = 3,0$ м/с).

Література:

1. Замойська К.В. Обґрунтування параметрів ротаційного розпушувача ґрунту [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.20.01 : захищена 31.05.08 : затв. 08.10.08. Замойська 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. – 400с.

5. Замойський С.М., Замойська К.В. Аналіз досліджень ротаційних ґрунтообробних знарядь для поверхневого обробітку ґрунту [Текст] //С.М. Замойський, К.В. Замойська // Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету. Вип. 23. – Кам'янець-Подільський : Абетка, 2015. – С. 33-43.

6. Замойський С.М., Замойська К.В. Оптимізація конструктивно-технологічних параметрів ротаційного розпушувача ґрунту [Текст] // С.М.Замойський, К.В. Замойська // Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету Вип. 24. – Кам'янець-Подільський : Абетка, 2016. – С. 114-123.

7. Замойський Степан, Замойська Катерина Покращення якості поверхневого обробітку ґрунту ротаційним розпушувачем [Текст] //С.Замойський, К.Замойська Сучасні проблеми землеробської механіки. // Збірник наукових праць 18 міжн. наук. конф. (16-18 жовтня 2017)Пр. м. Кам'янець-Подільський). Тернопіль. Крок. 2017. – С. 103-105.

References:

1. Zamojska, K., 2008. Justification rotary ripper soil parameters. PhD dissertation. Kamyanetz-Podilskiy derzhavnyj ahrarno-tekhnichnyj universytet.

2. Panchenko, A., 1998. An analytical method for determining the traction resistance of soil-cultivating and earth-moving machines and evaluating their effectiveness for energy-saving technologies. 1st ed. kyiv: Uroshaj, p.164..

3. Panchenko, A., 1999. The theory of soil pulverization by tillage implements. 1st ed. Dnepropetrovsk: Polygraphist, p.140..

4. Panchenko, A., 2022. Theory and calculation of agricultural machines. 1st ed. Dnepropetrovsk: DGU, p.400.

5. Zamoysky, S. and Zamoyskaya, K., 2015. Analysis of research of rotary tillage tools for surface tillage. Collection of scientific works of Podolsk State Agrarian and Technical University, 23, pp.33-43..

6. Zamoysky, S. and Zamoyskaya, K., 2016. Optimization of constructive-technological parameters of rotary soil loosener. Collection of scientific works of Podolsk State Agrarian and Technical University, 24, pp.114-123.

7. Zamoysky, S. and Kateryna, Z., 2017. Improving the quality of surface tillage with a rotary ripper. In: Modern problems of agricultural mechanics. Ternopil: Krock, pp.103-105.

Аннотация

Степень измельчения почвы ротационным распушителем

С.М. Замойский, Ю.М. Билык, В.С. Курской, Н.В. Лукьянюк, В.А. Герасименко

Очень важное значение для получения оптимальных всходов и создания наилучших условий для развития растений имеет качественная подготовка почвы под посев различных сельскохозяйственных культур. Для этого необходимо иметь в верхнем слое почвы не менее 50...60 процентов структурных агрегатов с размером частиц 0,25...10 миллиметров.

Для уменьшения энергоемкости процесса и повышения качества обработки на основе знания о физико-механических свойствах почвы необходимо применять такие способы его деформации, чтобы сопротивление резке было наименьшим, а рабочие органы создавали разнонаправленные деформации за счет нескольких способов разрушения грунтового монолита.

Сегодня для поверхностной обработки почвы широко применяются почвообрабатывающие орудия с активными рабочими органами. Наиболее распространены ротационные разрыхлители почвы. Поэтому при проектировании этих орудий и их рабочих органов следует учитывать, что они должны в первую очередь обеспечивать высокое качество обработки почвы, возможность изменения режима резки грунта в широком диапазоне.

Проведенный анализ конструктивно-технологических схем ротационных разрыхлителей грунта и процесса их работы показал, что наибольшее влияние на технологический процесс разрыхления имеют следующие параметры: ширина захвата, рабочая скорость, частота вращения вала ротора, количество рабочих ножей, шаг витка размещения ножей, ширина ножа и другие его геометрические свойства. Именно от этих параметров в первую очередь зависит деформация грунта и уменьшение сопротивления резке.

Если сравнить почвообрабатывающие орудия для поверхностной обработки почвы, то лучшее качество подготовки почвы под посев зерновых культур обеспечивают активные рабочие органы, но и у них есть определенные недостатки: недостаточная зароботка стерни и пожнивных остатков в грунт, большая энергоемкость, сложная конструкция. Поэтому исследование конструктивных параметров разрыхлителя и их зависимости от физико-механических свойств почвы сегодня является актуальным вопросом.

Целью наших исследований является анализ и оптимизация конструктивно-технологических параметров ротационного разрыхлителя почвы и влияния их на степень измельчения почвы при его поверхностной обработке под посев различных сельскохозяйственных культур.

Исследование опирается на методы математики и теоретической механики.

Результатом исследований является оптимизация параметров ротационного разрыхлителя и их влияние на степень измельчения почвы.

Ключевые слова: *грунт, поверхностная обработка почвы, ротационный разрыхлитель, конструктивно-технологические параметры разрыхлителя, глубина обработки почвы, степень измельчения почвы.*

Abstract

Degree of soil grinding by rotary roller

S.M. Zamoysky, Y.M. Bilyk, V.S. Kurskoy, M.V. Lukianiyk, V.O. Gerasimenko

High-quality preparation of the soil for sowing various crops is very important for obtaining optimal seedlings and creating the best conditions for plant development. For this purpose it is necessary to have in the top layer of soil not less than 50...60 percent of structural units with the size of particles of 0,25 ... 10 millimeters.

To reduce the energy consumption of the process and improve the quality of tillage based on knowledge of the physical and mechanical properties of the soil, it is necessary to use such methods of deformation so that cutting resistance is minimal, and working bodies create multidirectional deformations due to several methods of soil monolith destruction.

Today, tillage implements with active working bodies are widely used for surface tillage. The most common rotary soil looseners. Therefore, when designing these tools and their working bodies should be borne in mind that they must primarily provide high quality tillage, the ability to change the mode of cutting the soil in a wide range.

The analysis of structural and technological schemes of rotary soil looseners and the process of their work showed that the greatest influence on the technological process of loosening have the following parameters: width, working speed, rotor shaft speed, number of working knives, pitch of knives its geometric characteristics. It is from these parameters primarily depends on the deformation of the soil and the reduction of cutting resistance.

If we compare tillage tools for surface tillage, the best quality of soil preparation for sowing cereals is provided by active working bodies, but they also have certain disadvantages: insufficient earning of stubble and crop residues in the soil, high energy consumption, complex design. Therefore, the study of structural parameters of the leavening agent and their dependence on the physical and mechanical properties of the soil is a topical issue today.

The aim of our research is to analyze and optimize the design and technological parameters of the rotary soil loosener and their impact on the degree of grinding of the soil during its surface cultivation for sowing of different crops. The study is based on the methods of mathematics and theoretical mechanics

The result of the research is the optimization of the parameters of the rotary ripper and their influence on the degree of soil grinding.

Keywords: *soil, surface tillage, rotary ripper, constructional and technological parameters of ripper, depth of tillage, degree of soil grinding.*

Бібліографічне посилання/ Bibliography citation: Harvard

Zamoysky, S. M. et al. (2022) 'Degree of soil grinding by rotary roller', *Engineering of nature management*, (1(23), pp. 81 - 86.

Подано до редакції / Received: 02.02.2022