

УДК 631.372.004

S. Zamojskij, K. Zamojska, candidates of engineering sciences, associate professor State Agrarian and Engineering University in Podilya

ANALYSIS OF RESEARCH ROTARY TILLAGE TOOLS FOR SOIL PREPARATION

***Summary.** Today in Ukraine at a sufficiently high level of mechanization surface 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 developing new tillage tools, machines and their working bodies to the surface of soil for planting different crops.*

The issue of finding new employment of rotary tillage implements, justification of structural and technological parameters and modes of operation involved many scientists. First of all, Panov I.M., Sakun V.O., Konoval A.I., Katsyhin V.V., Panchenko A.M. They solved the problem of optimizing the parameters of milling and rotational work of tillage tools and machines, their operation modes and energy consumption processes.

Analysis of research shows that most of their work is devoted to one or two parameters cultivating tools, and comprehensive studies have been conducted or investigation relating primarily of passive tillage. Major energy in rotary tillage machines there that need to operate repeatedly working body on the same surface of the soil.

That is, at low forward speed of the unit must be large rotational speed of the working body, and this leads to an increase in energy consumption. Previous soil destruction passive working bodies, of course, reduces the power consumption of the process, but this leads to an increase in material consumption machine.

***Keywords:** 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

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ РОТАЦІЙНИХ ҐРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Зроблено аналіз різних теоретичних та експериментальних підходів до застосування ґрунтообробних знарядь з активними ротаційними робочими органами для поверхневого обробітку ґрунту, визначення конструктивно-

технологічних та енергетичних параметрів ротаційних ґрунтообробних знарядь для поверхневого обробітку ґрунту, вибору режимів їх роботи і впливу на агротехнічні показники. Дослідження показують, що при малій поступальній швидкості руху агрегату необхідно мати великі оберти ротаційного робочого органу, а це і приводить до збільшення енерговитрат. Попереднє руйнування ґрунту пасивними робочими органами, звичайно, зменшує енергомісткість процесу, але веде до збільшення матеріаломісткості машини

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

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Ротаційні ґрунтообробні знаряддя, що сьогодні застосовуються для поверхневого обробітку ґрунту для сівби різних сільськогосподарських культур, забезпечують достатньо високі агротехнічні показники роботи [1, 2], але разом з тим великими залишаються енерговитрати на обробіток ґрунту, що в кінцевому результаті впливає на зростання собівартості сільськогосподарської продукції.

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

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми. Питаннями дослідження роботоздатності ротаційних ґрунтообробних машин займалися багато вчених. Завдяки роботам таких вчених, як Панов І.М., Босой Є.С., Саун В.О., Коновал А.І., Кацигін В.В., Деграф Г.А., Юзбашев В.А., Коккоз В.А., Павлинов А.І., Кузнєцов Ю.А., Андрєєв В.І., Ісраділев Н.А., Яцук Є.П., Герук С.М., Попов І.М., Єфімов Д.М., Далін А.Д., Павлов П.В. та ін. [2] вирішувались задачі оптимізації параметрів фрезерних і ротаційних робочих органів ґрунтообробних знарядь і машин, режимів їх роботи і енергомісткості процесів.

Питаннями пошуку нових робочих органів ротаційних ґрунтообробних знарядь, обґрунтування їх конструктивно-технологічних параметрів, та режимів роботи займалися багато вчених, зокрема: Верняєв О.В., Вєтохін В.І., Вєтров Ю.А., Гуков Я.С., Зелєнін А.М.,

Панов І.М., Панченко А.М. [2-7]. Аналіз їх досліджень показує, що в основному їхні 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 аналізу результатів проведених теоретичних, експериментальних, лабораторно-польових та польових досліджень роботи ротаційних ґрунтообробних знарядь різними вченими сформулювати основні підходи до розробки сучасних знарядь, розрахунку і вибору конструктивно-технологічних параметрів та режимів їх роботи, які б забезпечували високу якість обробітку при економії енергетичних та матеріальних затрат.

Виклад основного матеріалу дослідження. Є.С. Босой [2] рекомендує визначати основні параметри фрези таким чином:

- діаметр фрези $D_\phi = (2,5-3,5) a$, де a – глибина обробітку, м;
- число ножів Z , що закріплені на одному диску, зв'язано з подачею S , тобто залежить від швидкості руху агрегату. Для фрез, що мають робочу швидкість 3-5 км/год., приймають число ножів рівним 4, 6, 8;

- від подачі S залежить ступінь подрібнення ґрунту: для задернілих ґрунтів $S = 40-80$ мм, для староорних ґрунтів $S = 100-150$ мм;

- частота обертання фрези рівна:

$$n = \frac{V_\kappa}{\pi \cdot D_\phi} = \frac{2V}{S \cdot Z}, \quad (1)$$

де V_κ – колова швидкість обертання фрези, м/с.;

V – швидкість агрегату, м/с.;

l – віддаль між сусідніми дисками рівна: $l = 100 \dots 200$ мм.

Основним показником роботи фрези є показник кінематичного режиму λ :

$$\lambda = \frac{2\pi \cdot R}{S \cdot Z}, \quad (2)$$

де R – радіус фрези, м.

При кількості ножів на диску фрези $Z = 3-8$ показник кінематичного режиму рівний 2-6 при обробітку староорних ґрунтів і 4-16 – при обробітку зв’язаних задернілих ґрунтів.

За даними Мера І.І. [2], діаметр фрези $D_\phi = (1,4 - 2,0) \cdot a$, колова швидкість фрези меліоративної машини залежить від необхідного ступеня подрібнення. За експериментальними даними для формування частинок ґрунту 0,001-0,01 м і ділянок ґрунту без дернини $V_\kappa = 8-10$ м/с. Збільшення колової швидкості V_κ призводить до збільшення потужності приводу.

Розмір стружки також залежить від необхідного ступеня подрібнення:

$$\delta_{cp} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot V_\kappa^{-a} \cdot a_{cp}^{-1}, \quad (3)$$

де a_1 і a_2 – коефіцієнти, що залежать від породи, фізико-механічних властивостей дернини і режиму фрезерування;

a_3 – коефіцієнт, що враховує напрямок обертання фрези, $a_3 = 1$ і 1,7-2,1 відповідно для прямого і зворотного обертання фрези;

a_{cp} – розмір кусків подрібненої дернини, $a_{cp} \leq 0,1$ м.

Робоча швидкість переміщення для всіх типів ротаційних робочих органів, м/год.:

$$V_p = \frac{\Pi_T}{S}, \quad (4)$$

де Π_T – технічна продуктивність, м³/год.;

S – площа поперечного перерізу ґрунту, що розробляється робочим органом за один прохід, м².

Відношення глибини обробітку a до радіуса фрези R рекомендується вибирати рівним: $m = \frac{a}{R} = 0,7 - 0,8$ [6].

Найбільша товщина стружки при фрезеруванні складає:

$$\delta_{\max} = S_z \cdot \sqrt{2m - m^2}, \quad (5)$$

де S_z – подача на ніж, м.

Сакун В.А. [2] пропонує витрату енергії на обробіток ґрунту оцінювати за питомою енергомісткістю процесу, тобто за роботою, яка витрачається на одиницю її об'єму. Як видно з графіків (рис. 1), питома робота зростає зі зменшенням подачі на ніж і збільшенням поступової швидкості, тому робочі швидкості фрез відносно невеликі – 1,1-1,4 м/с. Витрати енергії на фрезерування ґрунту в декілька раз більші, ніж її витрати на обробіток плугом.

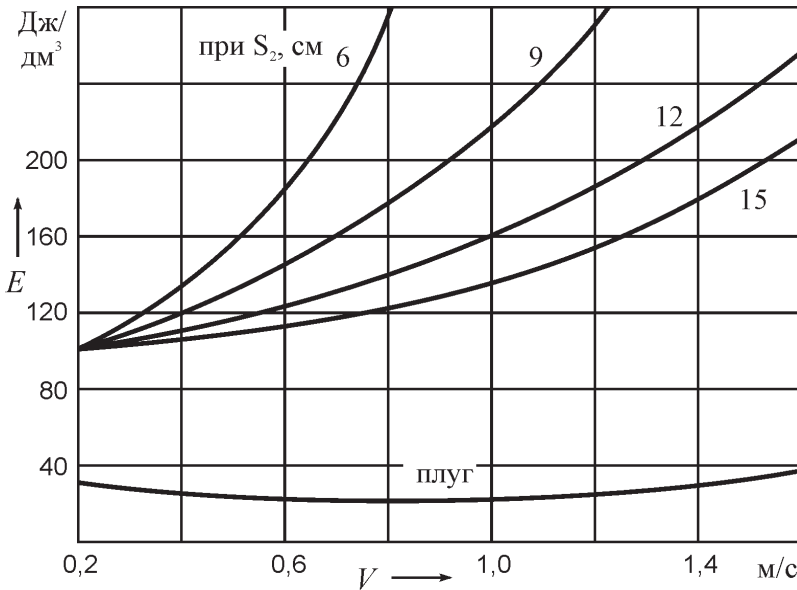


Рис. 1. Зміна питомої роботи, яка витрачається на обробіток ґрунту плугом (при $a = 0,2$ м) і фрезою при різних подачах ножа залежно від швидкості руху знаряддя

А.І. Коновал [2] поставив завдання: знайти технічне рішення, яке дозволило б зменшити витрати енергії на фрезерування ґрунту та його відкидання. Він запропонував формулу, яка визначає енергію на відкидання ґрунту:

$$W = \frac{B \cdot h \cdot \gamma \cdot v_m \cdot v_A}{2 \cdot g}, \quad (6)$$

де B – ширина захвату знаряддя, м;

h – глибина фрезерування, м;

γ – об'ємна маса ґрунту, кг/м³;

v_m – поступальна швидкість фрези, м/с.;

v_A – абсолютна швидкість ґрунту в момент відриву його від площини ножа, м/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Із формули (6) можна зробити висновки, що при заданій поступальній швидкості фрези, ширині і глибині фрезерування, щільності ґрунту енергію на відкидання частинок ґрунту можна зменшити, якщо зменшити швидкість протікання цього процесу. Тобто, формула може застосовуватись для розрахунку енергомісткості обробітку ґрунту розроблюваного розпушувача.

А.І. Коновал, щоб знайти швидкість відкидання частинок ґрунту, провів дослідження, які дозволили встановити аналітичні залежності між швидкістю відкидання частинок ґрунту і параметрами робочих органів:

$$v_A = \sqrt{v_r^2 + v_b^2}, \quad (7)$$

горизонтальна складова:

$$v_r = v_m - \omega \cdot R \cdot \sin(\omega t - \alpha) - v_0 \cos(\omega t + \gamma) + \omega \Delta \sin(\omega t + \gamma). \quad (8)$$

вертикальна складова:

$$v_b = v_0 \sin(\omega t + \gamma) + \omega \Delta \cos(\omega t + \gamma) - \omega R \cos(\omega t - \alpha). \quad (9)$$

де ω – частота обертання ножа, с.⁻¹;

R – радіус фрезерного барабана, м;

t – час руху ножа від горизонтальної осі, проведеної через миттєвий центр обертання фрезерного барабана, до моменту відриву частинки ґрунту від його площини, с.;

α – кут між радіусами, проведеними з центру фрезерного барабана до ріжучої кромки ножа і його спинки, град.;

γ – кут встановлення ножа, рад.

Як видно, вирази (7)–(9) дозволяють встановити залежність енергії на відкидання ґрунту фрезою від параметрів і режиму її роботи. Таким чином, щоб зменшити витрати енергії на відкидання, потрібно зменшити діаметр і частоту обертання фрезерного бара-

бана, кут встановлення ножів і збільшити поступальну швидкість агрегату. Максимальна ефективність досягається при зменшенні ширини ножа.

Дослідження були проведені на макетному зразкові 6-рядної комбінованої машини з шириною захвату 4,2 м, що агрегується з трактором Т-150К. Машина виготовлена на базі культиватора КФГ-3,6 і сівалки СУПН-8. Комбінована машина виконувала глибоке розпушування ґрунту в міжряддях, смугове фрезерування в зоні рядків на глибину заробки насіння, укладання їх на тверде ложе, присипання і прикочування.

У своїх дослідженнях А.І. Коновал розглядає питання зменшення енерговитрат процесу фрезерування за рахунок зміни конструкції робочого органа і застосування фрези в комбінованій машині. Необхідно враховувати те, що новий робочий орган проводить тільки один вид розпушування ґрунту – різання. Хоч, як показують дослідження, при використанні такого робочого органа в комбінованій машині цього достатньо для того, щоб виконувались агротехнічні вимоги, що висуваються до передпосівного обробітку ґрунту. Також необхідно відмітити, що зменшення енерговитрат на процес фрезерування є ще і результатом зміни режиму роботи ротаційного знаряддя, а саме: зменшення частоти обертання фрезерного барабана завдяки новій конструкції робочих органів і збільшенню робочої швидкості агрегату, що є новим у теорії і дослідженнях ротаційних робочих органів. Тобто робиться спроба зменшення коефіцієнта кінематичного режиму λ ротаційного ґрунтообробного знаряддя.

І.М. Панов, А.І. Панов [2] також розглядають основні причини високої енергомисткості ротаційних ґрунтообробних знарядь.

В якості об'єктів дослідження були використані ротаційні плуги ПР-2, ПР-2,7, МПТ-1,2. Завдяки можливості регулювання кінематичного режиму ротаційні плуги можуть виконувати основний обробіток ґрунту з частковим обертанням пласта і передпосівний обробіток ґрунту з достатнім кришенням орного шару.

Лемішні плуги з полицями, що обертаються і мають привод від ВВП трактора (ПВН-3-35, ПОД-5-35), призначені для передпосівного обробітку середніх і тяжких ґрунтів під овочеві культури

і картоплю, суміщають основний обробіток ґрунту, культивуацію, боронування і коткування.

Основні їхні недоліки: висока питома енергомісткість (до 30-37 кВт/м); недостатня надійність в роботі; проблема захисту робочих органів від поломок.

У загальному випадку навантаження ґрунту може носити статичний і динамічний характер, відповідно по-різному буде проходити і його руйнування.

Швидкість різання ґрунту ротаційними робочими органами (7,5-15 м/с.) в 2,4 раза більше як пасивними. Тому взаємодія перших з ґрунтом носить ударний динамічний характер.

Представлення ґрунту у вигляді трьохфазної моделі, пори якої заповнені водою і повітрям, дає основу для передбачення наявності у неї пружно-в'язких властивостей.

Наглядні результати можна отримати, якщо з'єднати пружний і в'язкий елемент послідовно. Швидкість деформації такого тіла:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \frac{\sigma}{\eta_e}, \quad (10)$$

де η_e – коефіцієнт в'язкості;

ε – деформація.

Розв'язком останнього рівняння при $\varepsilon = \text{const}$ і $\sigma = 0$ буде:

$$G = \dot{\varepsilon} \cdot ET(1 - e^{-\frac{t}{T}}), \quad (11)$$

де $T = \frac{\eta_u}{E}$ – час релаксації.

Як видно з вище наведених формул, для будь-якого тіла існує визначена швидкість деформації ε_{np} , при якій зовнішні сили зрівноважуються внутрішнім опором. При перевищенні значення ε_{np} внутрішні сили будуть більші за зовнішні і руйнування прийме вид хрупкого з відповідним збільшенням енерговитрат.

При ударному навантаженні в ґрунті розповсюджуються пружні і пластичні хвилі деформації. Швидкість перших визначається з формули:

$$v_{np} = \left(\frac{E}{\rho}\right)^{0.5}, \quad (12)$$

де ρ – об’ємна щільність ґрунту, кг/м³.

Для сухого і безструктурного ґрунту швидкість деформації $v_{np} \approx 1500$ м/с.

Услід за пружною хвилею в середовищі розповсюджується зона пластичних деформацій (v_{nl}) або зона руйнування. Швидкість пластичних деформацій визначається за допомогою кривої напруга-деформація (σ - ϵ):

$$v_{nl} = \sqrt{\frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\sigma}{d\epsilon}}, \quad (13)$$

де $\frac{d\sigma}{d\epsilon}$ – кут нахилу дотичної до кривої (σ - ϵ), рівний модулю деформації.

Як показали дослідження В.В. Кацигіна, Г.А. Деграфа, В.А. Юзбашева [2], величина v_{nl} співрозмірна зі швидкістю різання ротаційними робочими органами і на режимах фрезерування слід очікувати різкого збільшення опору різанню, так як робочий орган буде рухатись в ґрунті, внутрішні зв’язки якого не порушені.

Для виключення ударного навантаження ґрунту і різкого збільшення опору різанню попереду ножового барабана ротаційної ґрунтообробної машини встановлюються пасивні робочі органи для попереднього руйнування ґрунту.

Цей спосіб ефективний з позицій як класичної теорії удару, так і нових бачень на ударний процес з врахуванням хвильової теорії. Відповідно з хвильовою теорією удару, одним із основних показників ударного процесу є коефіцієнт передачі енергії K_y , що виражає відношення кінетичної енергії тіла після удару до кінетичної енергії до нього.

Енергія ударної хвилі згасає тим скоріше, чим більша різниця між величиною грудок і чим вища ступінь кришення ґрунту:

$$K_y = \frac{4(C_1 \cdot C_2)}{(C_1 + C_2)^2} \left[1 - \frac{A^n(1 - A^n)}{n(1 - A)^2} (2 + A^n + A^{n-1}) \right], \quad (14)$$

де C_1, C_2, C_3 – ударна жорсткість грудок 1, 2, 3;

$A = (C_1 - C_2)(C_3 - C_2) / [(C_1 + C_2)(C_3 + C_2)]$ – емпіричний показник;

$$n = l_1 \times v_{y2} / (l_2 \times v_{y1});$$

l_1 – приведена довжина робочого органу з приводним механізмом;

l_2 – довжина грудки.

Дослідження плуга ПР-2 підтвердили теоретичні передбачення про позитивний вплив попереднього розпушування ґрунту пасивними робочими органами.

Висновки. Як видно з вище викладеного матеріалу, вирішувались питання оптимізації параметрів фрезерних і ротаційних робочих органів ґрунтообробних знарядь і машин, режимів їх роботи і енергомісткості процесів. Основні енерговитрати при обробітці ґрунту ротаційними машинами виникають тому, що робочим органом необхідно багатократно діяти на одну і ту ж поверхню ґрунту. Тобто, при малій поступальній швидкості руху агрегату необхідно мати великі оберти ротаційного робочого органа, а це й приводить до збільшення енерговитрат. Попереднє руйнування ґрунту пасивними робочими органами, звичайно, зменшує енергомісткість процесу, але веде до збільшення матеріаломісткості машини.

Список використаних джерел

1. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітки 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 измелчения почв почвообрабатывающими орудиями. – Днепропетровск: ДГАУ, 1999. – 140 с.
4. Панченко А.Н. Аналитический метод определения тяговых сопротивлений почвообрабатывающих 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 Львів-

ського 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.

Аннотация. Сделан анализ разных теоретических и экспериментальных подходов к использованию почвообрабатывающих орудий с активными ротационными рабочими органами для поверхностной обработки почвы, определения конструкционно-технологических и энергетических параметров ротационных почвообрабатывающих орудий для поверхностной обработки почвы, выбора режимов их работы и влияния на агротехнические показатели.

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