
Обґрунтування наукових досліджень ґрунтообробних машин з ротаційними робочими органами

Микола Корчак

Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла САМОКИША, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», Україна

ORCID 0000-0002-8726-1881

Для цитування цієї статті:

Корчак Микола. Обґрунтування наукових досліджень ґрунтообробних машин з ротаційними робочими органами. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 3, No.6, 2024, pp. 16-33. doi: 10.46299/j.isjea.20240306.03.

Надійшла до редакції: 12 жовтня 2024 р.; **Схвалено:** 12 листопада 2024 р.;

Опубліковано: 01 грудня 2024 р.

Анотація: Обґрунтовано наукові дослідження ґрунтообробних машин з ротаційними робочими органами. Наведено алгоритм розрахунку основних параметрів фрезерних робочих органів, подано розрахунок основних показників їх роботи, зокрема робочої швидкості переміщення ротаційних робочих органів. Витрату енергії на обробіток ґрунту пропонується оцінювати за питомою енергомісткістю процесу, тобто за роботою, яка витрачається на одиницю її об'єму. Виходячи з графічних залежностей встановлено, що питома робота зростає із зменшенням подачі на ніж і збільшенням поступальної швидкості, тому робочі швидкості фрез є відносно невеликі. При цьому витрати енергії на фрезерування ґрунту в декілька разів більші, ніж її витрати на обробіток плугом. Із наведених співвідношень можна зробити висновок, 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. Енергія на відкидання ґрунту фрезою залежить від параметрів і режиму її роботи. Для зменшення витрат енергії на відкидання потрібно зменшити діаметр і частоту обертання фрезерного барабана, кут встановлення ножів, а також збільшити поступальну швидкість агрегату. Встановлено, що максимальна ефективність досягається при зменшенні ширини ножа. Основні енерговитрати при обробітку ґрунту ротаційними машинами виникають внаслідок багатократної дії робочим органом на одну і ту ж поверхню ґрунту. Тобто, при малій поступальній швидкості руху агрегату необхідно мати великі оберти ротаційного робочого органу, що призводить до збільшення енерговитрат. Попереднє руйнування ґрунту пасивними робочими органами зменшує енергомісткість процесу, але призводить до збільшення матеріаломісткості машини.

Ключові слова: ротаційний робочий орган, фреза, теоретичні дослідження, параметри, обробіток, енергетичні витрати, ґрунт

1. Вступ

Ґрунтообробні машини з активними робочими органами використовують для кришення, розпушування, часткового перемішування шару ґрунту, що обробляється.

До ротаційних машин з активними робочими органами відносять ротаційні плуги, фрези, проріджувачі, культиватори та інші. Ротаційні плуги мають обмежене використання і принципово не відрізняються від фрез. Поширеними в використанні є ґрунтообробні фрези та проріджувачі, робочими органами яких можуть бути прямі та зігнуті ножі.

Процес роботи ножів характеризується положенням осі обертання ротора барабана в просторі і напрямом обертання відносно поступального руху машини. Найбільш поширені

фрезерні ґрунтообробні машини з горизонтальною віссю обертання, яка перпендикулярна до напрямку руху машини. Ротори з вертикальною віссю обертання застосовують переважно для обробітки ґрунту в садах, виноградниках, а також для передпосівного рихлення.

2. Об'єкт і предмет дослідження

Об'єкт дослідження – ґрунтообробні машини з ротаційними робочими органами.

Предмет дослідження – параметри активних робочих органів ґрунтообробних машин та аналіз їх досліджень.

3. Мета та задачі досліджень

Мета досліджень – обґрунтувати та проаналізувати дослідження ґрунтообробних машин з ротаційними робочими органами.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні задачі:

- проаналізувати основні параметри активних робочих органів та порядок їх визначення;
- обґрунтувати витрати енергії на обробіток ґрунту активними робочими органами;
- побудувати графічні залежності зміни питомої роботи, яка витрачається на обробіток ґрунту фрезерними робочими органами при різних подачах ножа в залежності від швидкості руху.

4. Аналіз літератури

Дослідженням роботоздатності ротаційних ґрунтообробних машин та напрямками розвитку теорії різання ґрунтів займалось багато науковців [1, 6, 10, 14, 17-19, 21-27]. Ними були вирішені задачі оптимізації параметрів фрезерних і ротаційних робочих органів ґрунтообробних знарядь і машин, режимів їх роботи і енергомісткості технологічних процесів.

5. Методи досліджень

Обґрунтування досліджень проводили з використанням основних положень землеробства, фізики та теорії землеробської механіки.

6. Результати досліджень

Основні параметри фрези рекомендується визначати таким чином [6]:

- діаметр фрези $D_\phi = (2,5 - 3,5) a$, (де a – глибина обробітку, м);
- число ножів Z , що закріплені на одному диску пов'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:

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

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;

S – подача на ніж, м.

Основним показником роботи фрези є показник кінематичного режиму λ [60]:

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

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 І.І. Мера [20] 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 від 0,001-0,01 м і ділянок ґрунту без деревини – $V_k = 8 - 10$ м/с. Збільшення колової швидкості V_k призводить до збільшення потужності на привод.

Розмір стружки залежить від необхідного ступеня подрібнення, а саме:

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

де a_1 і a_2 – коефіцієнти, що залежать від породи, фізико-механічних властивостей деревини 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 деревини, $a_{cp} \leq 0,1$ м.

Робоча швидкість переміщення для всіх типів ротаційних робочих органів визначається із співвідношення, м/год [20]:

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

де P_m – технічна продуктивність, м³/год;

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

Відношення глибини обробітку a до радіуса фрези R рекомендується вибирати рівним:

$$m = \frac{a}{R} = 0,7 - 0,8 [18].$$

Найбільша товщина стружки при фрезеруванні становить:

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

де S_z – подача на ніж, м.

Витрату енергії на обробіток ґрунту пропонується оцінювати за питомою енергомісткістю процесу, тобто за роботою, яка витрачається на одиницю її об’єму [18]. Виходячи з рис. 1 та рис. 2 видно, що питома робота зростає із зменшенням подачі на ніж і збільшенням поступальної швидкості, тому робочі швидкості фрез відносно невеликі – 1,1–1,4 м/с. Витрати енергії на фрезерування ґрунту в декілька разів більші, ніж її витрати на обробіток плугом.

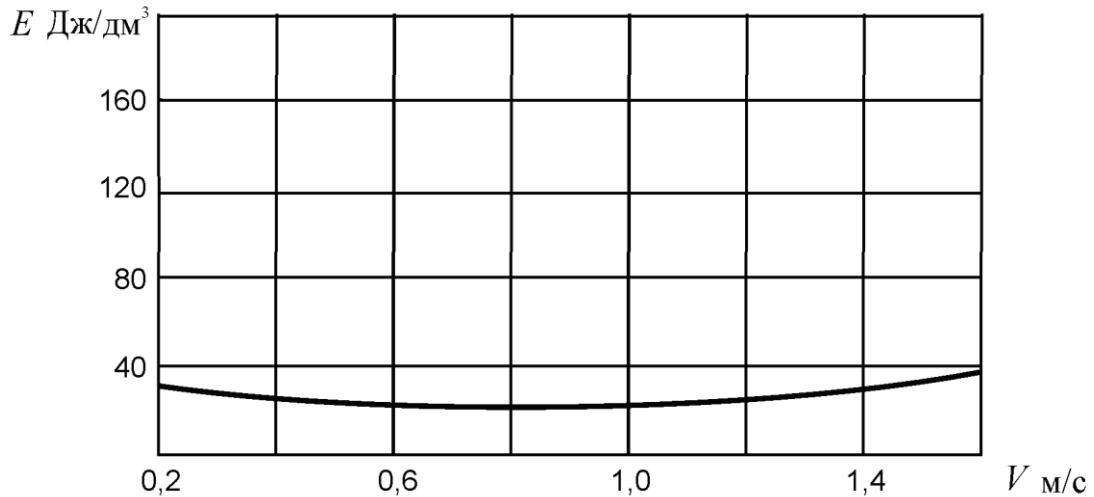


Рис. 1. Зміна питомої роботи, яка витрачається на обробіток ґрунту плугом (при $a = 0,2$ м) при різних подачах ножа залежно від швидкості руху

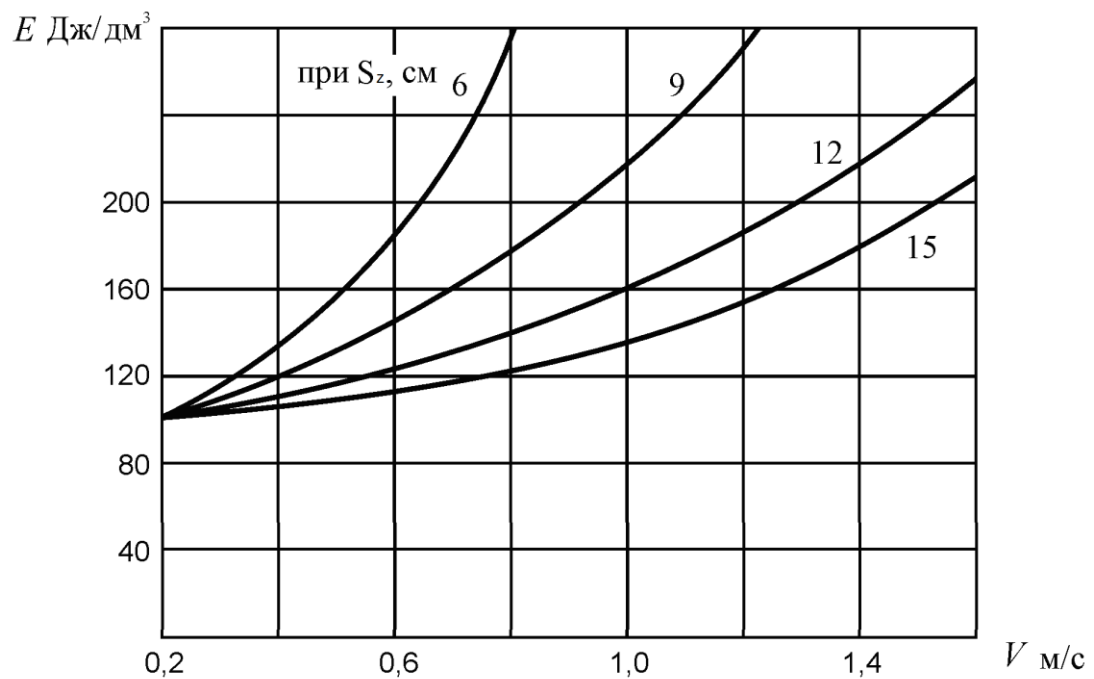


Рис. 2. Зміна питомої роботи, яка витрачається на обробіток ґрунту фрезою при різних подачах ножа залежно від швидкості руху

Для зменшення витрат енергії на фрезерування ґрунту та на його відкидання вчені запропонували наступне співвідношення [14]:

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

де B – ширина захвата 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 співвідношення (6) можна зробити висновок, 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 енергомосткості обробітку ґрунту розроблюваного розпушувача.

Для розрахунку швидкості відкидання частинок ґрунту, А.І. Коновал провів дослідження, які дозволили встановити аналітичні залежності між швидкістю відкидання частинок ґрунту і параметрами робочих органів:

$$v_A = \sqrt{v^2_{\Gamma} + v^2_B}, \quad (7)$$

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:

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

де ω – частота обертання ножа, c^{-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 із центра фрезерного барабана до ріжучої кромки ножа і його спинки, град.;

γ – кут встановлення ножа, рад.

Формули (7) – (9) дозволяють встановити залежність енергії на відкидання ґрунту фрезою від параметрів і режиму її роботи. Отже, щоб зменшити витрати енергії на відкидання потрібно зменшити діаметр і частоту обертання фрезерного барабана, кут встановлення ножів, а також збільшити поступальну швидкість агрегату. Максимальна ефективність досягається при зменшенні ширини ножа.

Дослідження проводились на дослідному зразку 6-рядної комбінованої машини з шириною захвату 4,2 м, виготовленої на базі культиватора КФГ-3,6 і сівалки СУПН-8. Комбінована машина виконує глибоке розпушування ґрунту в міжряддях, смугове фрезерування в зоні рядків на глибину заробки насіння, укладання їх на тверде ложе, присипання і прикочування.

А.І. Коновал розглядає питання зменшення енерговитрат процесу фрезерування за рахунок зміни конструкції робочого органа і застосування фрези в комбінованій машині. Новий робочий орган проводить тільки один вид розпушування ґрунту – різання. При використанні такого робочого органа в комбінованій машині цього достатньо для виконання агротехнічних вимог, що висуваються до передпосівного обробітку ґрунту. Необхідно відмітити, що зменшення енерговитрат на процес фрезерування є результатом зміни режиму роботи ротаційного знаряддя – зменшення частоти обертання фрезерного барабана завдяки новій конструкції робочих органів і збільшенні робочої швидкості агрегату, що є новим в теорії і дослідженнях ротаційних робочих органів. Тобто проводиться зменшення коефіцієнта кінематичного режиму λ ротаційного ґрунтообробного знаряддя.

Вчені також розглядають основні причини високої енергомосткості ротаційних ґрунтообробних знарядь [22, 23].

В якості об'єктів дослідження були використані ротаційні плуги ПР-2 та ПР-2,7. 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 важких ґрунтів під овочеві культури і картоплю, суміщають основний обробіток ґрунту, культивуацію, боронування і коткування.

Однак, основними недоліками даних машин є висока питома енергомісткість, 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 рази більше від обробітку пасивними, тому взаємодія їх 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 елементи послідовно. Швидкість деформації такого тіла :

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

де η_v – коефіцієнт в'язкості;

ε – деформація.

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

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

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

Як видно із вище приведених 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 із відповідним збільшенням енерговитрат.

При ударному навантаженні в ґрунті розповсюджуються пружні і пластичні хвилі деформації. Швидкість пружних хвиль визначається за формулою:

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

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

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

В середовищі також розповсюджується зона пластичних деформацій (v_{nl}) або зона руйнування. При цьому швидкість пластичних деформацій визначається за допомогою кривої «напруга – деформація» ($\sigma - \varepsilon$):

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

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

Дослідженнями вчених доведено, що величина v_{nn} співрозмірна із 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 [15] .

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 із 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;
 $n = l_1 \cdot v_{y2} / (l_2 \cdot v_{y1})$;
 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.

Як бачимо із вище викладеного матеріалу, основні енерговитрати при обробі ґрунту ротаційними машинами виникають внаслідок багатократної дії робочим органом на одну і ту ж поверхню ґрунту. Тобто, при малій поступальній швидкості руху агрегату необхідно мати великі оберти ротаційного робочого органу, що призводить до збільшення енерговитрат. Попереднє руйнування ґрунту пасивними робочими органами зменшує енергомісткість процесу, що доведено в дослідженнях І.М. Панова і А.І. Панова, але це призводить до збільшення матеріаломісткості машини.

В процесі різання ґрунту ножами фрези на робочі органи діє сила різання, яка розкладається на дві складових: дотичну і нормальну.

Перший напрямок розвитку теорії різання ґрунтів заснований на гіпотезі про те, що режим різання ґрунту аналогічний із закономірностями різання металів.

Тому, за основу розрахунку опору різанню ґрунтів була вибрана залежність, що визначає силу різання металів. Для цього вчені рекомендують залежність [24]:

$$P_p = K \cdot b \cdot a_c \cdot \frac{\cos v}{\cos(v + \rho) [1 - \operatorname{tg} \varphi_2 \cdot \operatorname{tg}(v + \rho) \sin \beta]}, \quad (15)$$

де K – питомий коефіцієнт щеплення частинок ґрунту, н./м²;
 b і a_c – відповідно ширина і товщина стружки ґрунту, що стискається, м;

$$v = 90^\circ - \varphi_2 - 2 \left[90^\circ - \frac{(\alpha_p + \varphi_1 + \varphi_2)}{2} \right], \quad (16)$$

де φ_1 і φ_2 – відповідно кути зовнішнього і внутрішнього тертя ґрунту, град.;
 α_p – кут різання, град.

Залежність (15) не враховує впливу швидкості різання форми ріжучих ножів, режиму різання, параметрів площадки затуплення ріжучої кромки ножа і інших факторів, що приводить до великих похибок в розрахунках.

Другий напрямок розвитку теорії різання ґрунтів заснований академіком В.П. Горячкіним [11-13], передбачає, що опір різанню прямо пропорціональний перерізу в $\cdot a_c$ зрізаної стружки і питомому коефіцієнту опору різання ґрунту K_p .

Сила різання ґрунту рівна:

$$P_p = K_p \cdot b \cdot a_c \quad (17)$$

Послідовниками методу можна вважати вітчизняних та зарубіжних вчених [6, 14, 15].

Для визначення зусилля різання на одному ножі фрези А.Д. Далін рекомендує залежність [14, 15]:

$$P_i = p \cdot s \cdot b, \quad (18)$$

де p – середній питомий опір ґрунту різанню, Н/м²;
 s – подача на один ніж, м;
 b – ширина стружки, м.

Полтавцев І.С. пропонує розділити зусилля різання на дві складові:

$$P_i = P_n + P_\delta, \quad (19)$$

де P_n – опір різанню стружки по лобовій (загнутій) частині ножа;
 P_δ – опір різанню по боковому лезу ножа.

$$P_n = K' \cdot s' \cdot b. \quad (20)$$

$$P_\delta = K' \cdot s' \cdot \delta. \quad (21)$$

де K' – питомий опір різанню плоским ножом, Н/м²;
 s' – товщина стружки, м;
 δ – товщина ножа, м.

Недоліком цього методу є експериментальне визначення питомого коефіцієнта опору різання.

Третій напрямок дає більш повне уявлення про процес різання ґрунту. Він відображає вплив на опір різання ґрунту таких факторів як фізико-механічні властивості ґрунтів, геометрія ріжучих органів, швидкість різання, форма робочих органів, режими різання і т.п. Цей напрямок має напівемпіричний або аналітичний характер [2-5, 8, 16, 24, 27].

Геометричні фактори процесу різання ґрунтів мають важливе значення. Для визначення сили різання рекомендують використовувати формулу [17]:

$$P_p = C_y \cdot a_c^{1,35} (1 + 2,6 \cdot b) \cdot (1 + 0,0075 \cdot \alpha_p \cdot \mu), \quad (22)$$

де C_y – кількість ударів твердоміра;
 a_c – товщина стружки, м;
 α_p – кут різання ріжучого органу, рад;

μ – коефіцієнт, що залежить від режиму різання.

В.Д. Абезгауз теоретично обґрунтував силу різання ґрунтів, яку запропоновано визначати залежно від межі міцності ґрунту при його всебічному стисканні.

Сила різання визначається за формулою:

$$P_p = b \cdot a_c \cdot \sigma_c \cdot \left(K_p + K_s \cdot \frac{\Delta_z + l_0 b}{a_c} \right), \quad (23)$$

де b, a_c – відповідно ширина різання і товщина стружки ґрунту, м;

σ_c – межа міцності ґрунту при його всебічному стисканні, кН/м²;

K_p, K_s – відповідно питомий коефіцієнт опору різання ґрунту і коефіцієнт, що характеризує питому силу, необхідну для вривання в ґрунт криволінійної задньої поверхні робочого органу, кН/м²;

$l_0 b$ – середня товщина ущільненого ядра ґрунту перед передньою поверхнею ріжучого органу, м²;

Δ_z – лінійне зношування задньої поверхні заміряне в напрямку різання, м.

Ю.А. Ветров приділив велику увагу питанням впливу зношування ріжучого робочого органу і блокованого режиму різання на опір різанню ґрунтів [8, 9] .

Результуюча сила різання ножом з площадкою зношування або затупленням в блокованому режимі, за Ю.А.Ветровим, рівна:

$$P = P_{св} + P'_{бок} + P'_{бок.зр.} + P_{пл.зат}, \quad (24)$$

де $P_{св}$ – сила різання ножом, кН.

$$P_{св} = K_p \cdot b \cdot a_c \quad (25)$$

$$K_p \approx C_{num} \cdot \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \varphi_2 \cdot \sin^2 \Theta - \cos^2 \varphi_2 \cdot (1 - \sin \varphi_2)}}{\sin \varphi_2 \cdot \cos \varphi_2 (1 - \sin \varphi_2)} \times \\ \times \left[(1 + tq\varphi_1 \cdot ctq\alpha_p) + tq\varphi_1 \cdot ctq\varphi_2 \cdot ctq\alpha_p \right] \\ \Theta = \pi - \alpha_p - 0,5(\varphi_1 - \arcsin \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2}) \quad (26)$$

$P'_{бок}$ – опір ґрунту руйнуванню в бокових розширеннях розрізів, кН;

$P'_{бок.зр.}$ – опір ґрунту зрізуванню боковими ребрами ножа на дні розрізу, кН;

$P_{пл.зат}$ – сила різання для подолання опору площадці зношування ріжучого елемента, кН;

C_{num} – питома зчеплення частинок ґрунту, кН/м².

Сила для визначення опору ґрунту руйнуванню в бокових розширеннях розрізу рівна:

$$P'_{бок} = 2m_{бок} \cdot \alpha^2. \quad (27)$$

Сила для визначення опору ґрунту зрізуванню боковими ребрами ножа на дні розрізу:

$$P'_{бок} = 2m_{бок.зр.} \cdot \alpha^2 \quad (28)$$

де $m_{бок}$ і $m_{бок.зр}$ – коефіцієнти, що характеризують питому силу, необхідну для руйнування ґрунту в бокових розширеннях розрізу і для подолання опору ґрунту зрізуванню боковими ребрами ножа.

Сила різання, необхідна для подолання опорів площадки зношування ріжучого елемента визначається за формулою:

$$P_{пл.зат} = m_{пл.зат} \cdot b, \quad (29)$$

де $m_{пл.зат}$ – додаткова сила різання, що приходить на одиницю ширини зрізу (кН/м) і визначається експериментальним шляхом.

В.І. Баловнєв [5] в основу визначення опору різання ґрунтів поклав теорію граничної рівноваги сипучого середовища В.В. Соколовського. Ріжучий орган в даному випадку розглядався у вигляді підпірної стінки.

В загальному вигляді опір різанню ґрунту ножом можна виразити так:

$$P_p = \iint G_n \cdot d\epsilon \cdot dl \cdot \cos \alpha_p, \quad (30)$$

де σ_n – нормальна напруга на передній лобовій кромці ножа, кН/м²;

$d\epsilon$, dl – відповідно ширина і довжина виділеної елементарної ділянки лобового контуру ножа, м.

Нормальна напруга на передньому лобовому контуру ножа рівна:

- для пологих граней:

$$\beta \geq \beta^*$$

$$\beta^* = 0,5(\pi + \varphi_1 - \arcsin \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2}); \quad (31)$$

$$G_n = (9,81 \cdot \gamma \cdot \alpha + P_0 + H) \frac{1 + \sin \varphi_2 \cos 2\beta}{1 - \sin \varphi_2} - H \quad (32)$$

де P_0 – довантаження, кН/м;

$$H = C^* \cdot ctg \varphi_2;$$

C^* – зчеплення частинок ґрунту, кН/м;

$$\beta = \alpha_h - 0,5\pi;$$

γ – об'ємна маса ґрунту, т/м³;

φ_2 – кут внутрішнього тертя ґрунту, град;

α_p – кут різання, град.

- для проміжних граней:

$$\beta_0 \leq \beta \leq \beta^*$$

$$\beta_0 = 0,5(\varphi_1 + \arcsin \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2}); \quad (33)$$

$$G_n = (P_0 + H) \frac{(\cos \varphi_1 + \sqrt{\sin^2 \varphi_2 - \sin^2 \varphi_1}) \cdot (\sin \varphi_2 \cdot \cos \Theta + \sqrt{1 - \sin^2 \varphi_2 \sin^2 \Theta})^2}{\cos^2 \varphi_2 (1 - \sin \varphi_2)} - H,$$

де $\Theta = 0,5(\pi + 2\beta - \varphi_1 - \arcsin \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2});$

- для крутих граней:

$$G_n = (P_0 + H) \cdot \frac{\cos \varphi_1 \left(\cos \varphi_1 + \sqrt{\sin^2 \varphi_2 - \sin^2 \varphi_1} \right)}{1 - \sin \varphi_2} \cdot \exp \left[\left(-2\beta + \varphi_1 + \arccos \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} \right) \cdot tq \varphi_2 \right] - H \quad (34)$$

А.М. Панченко [24, 25] розглянув питання розрахунку опору різання ґрунту через зони деформації ґрунту. Він визначив п'ять складових опору різання ґрунту:

$$P_{p1} = P_\tau + P_N + 2P_{бок} + P_{зам} + P_V, \quad (35)$$

де P_τ – тяговий опір від ковзання ґрунту в поздовжньому напрямку, кН;

P_N – тяговий опір від сил тертя і тиску ґрунту на поверхню передньої кромки робочого органа, кН;

$P_{бок}$ – тяговий опір від сколювання ґрунту в поперечно-вертикальній площині, кН.

Опір різання для блокованого режиму різання рівний:

$$P_{p1} = C_{num} \left[\frac{0,66a^2 \cdot ctg \varphi^2}{\cos(\alpha_p + \varphi_2)} + b_3 \cdot a \right] \cdot tg(\alpha_p + \varphi_2) + 4,9 \cdot b_3 \cdot a^2 \cdot tg^2(45^\circ - 0,5\varphi_2) \cdot \gamma \left[\sin \varphi_2 + \cos(\alpha_p + \varphi_2) \cdot \cos \alpha_p \cdot tg \varphi_1 \right] + 2a^2 \left\{ 0,5C_{num} \left[tg(45^\circ + \varphi_2) + ctg \alpha_p \right] \cdot \left[\frac{0,66ctg \varphi_2}{\cos(\alpha_p + \varphi_2)} \right] + 4,9\delta_p \cdot tg^2(45^\circ - 0,5\varphi_2) \cdot \sin \varphi_2 \cdot \gamma \right\} \cdot tg \varphi_1 + K'(z + tg \varphi_1 \cdot x) \cdot b_3 + \frac{9,81 \cdot b_3 \cdot a \cdot \gamma}{g} \cdot \frac{\sin \alpha_p \cos \Theta}{\sin(\alpha_p + \Theta)} \cdot V^2 \cdot \cos \left[\arctg \left(\frac{i + \sin \varphi_1}{\cos \varphi_1} \right) - \varphi_1 \right] \quad (36)$$

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

a – глибина різання ґрунту, м;

φ_1 і φ_2 – кути зовнішнього і внутрішнього тертя ґрунту, град;

K' – гранична несуча здатність ґрунту, кН/м²;

γ – об'ємна маса ґрунту, т/м³;

α_p, Θ – відповідно кут різання і задній кут ріжучого елемента, град;

b_3 – приведена ширина периметра ріжучого органу, м;

δ_p – товщина ножа ріжучого органу, м;

z і x – параметри площадки затуплення ножа, м;

i – коефіцієнт ковзання ріжучого органу.

Методи В.І. Баловнева, Ю.А. Ветрова, А.М. Панченка для визначення опору різання ґрунтів є єдиними математичними методами.

А.Д. Далін [15] рекомендує розраховувати необхідну потужність для фрезерування ґрунту за формулою:

$$N = N_{II} + N_p + N_0, \quad (37)$$

де N_{II} – потужність, необхідна на переміщення машини, кВт;

N_p – потужність, яка витрачається на деформацію ґрунту, кВт;

N_0 – потужність на відкидання стружки ґрунту, кВт.

$$N = 9,81 \cdot \frac{Q_T \cdot V_T \cdot f_2}{102} + \frac{p \cdot s \cdot b \cdot h_0 \cdot z \cdot n}{60 \cdot 102} + \frac{K_0 \cdot Q_{sp} \cdot V_p^2}{29 \cdot 102}, \quad (38)$$

де Q_T – маса трактора, т;
 V_T – швидкість трактора, м/с;
 f_2 – коефіцієнт опору перекошування;
 p – питомий опір деформації ґрунту, кН/м²;
 s – подача на один ніж, м;
 b, h_0 – розміри стружки, що відрізається, м;
 z – число ножів на диску фрези, шт;
 n – число обертів фрезерного барабана за хвилину;
 K_0 – коефіцієнт відкидання, який залежить від форми робочого органу і способу його установки;
 Q_{zp} – маса ґрунту, що відкидається в одну секунду, т/с;
 V_p^2 – швидкість різання, м/с.

Основним недоліком цього методу є те, що він вимагає експериментального визначення величин p, f_2, K_0 . Крім того не враховується вплив геометрії ріжучих ножів, режим різання, фізико-механічні властивості ґрунту, опір інерції при зрушуванні з місця агрегату, нахилу місцевості на затрати потужності. Тому цей метод дає великі похибки в розрахунках.

О.В. Верняев [7] також вирішує задачу розрахунку потужності при роботі фрези через експериментальні коефіцієнти. Але потужність, що витрачається на фрезерування визначає через роботу різання ґрунту одним ножом.

При роботі ґрунтової фрези з горизонтальною віссю обертання необхідна сумарна потужність рівна:

$$N = N_\phi + N_B + (N_\phi + N_B)(1 - \eta) + N_{II}, \quad (39)$$

де N_ϕ, N_B, N_{II} – потужність, що витрачається відповідно на фрезерування, відкидання ґрунту і переміщення фрези, кВт;
 η – коефіцієнт корисної дії передачі руху від трактора до фрези.

Потужність N_ϕ , що витрачається на фрезерування ґрунту рівна:

$$N_\phi = \frac{736A \cdot n \cdot z}{60 \cdot 102}, \quad (40)$$

де A – робота одного ножа, $A = \int p \cdot dl$;
 p – опір різання одного ножа, кН/м²;
 dl – елемент одиниці шляху ножа, м;
 n – частота обертів фрези, с⁻¹;
 z – число ножів фрези, шт.

$$N_\phi = \frac{V_{кол} \pm V_{II}}{V_{II}} \cdot \frac{(p \cdot b + K' \cdot \delta) S \cdot a \cdot n \cdot z}{60 \cdot 102} \cdot 736, \quad (41)$$

де $V_{кол}, V_{II}$ – відповідно колова швидкість фрези і поступальна швидкість знаряддя;

p – середній питомий опір різання ґрунту, кН/м²;
 S – подача на один ніж;
 b – ширина стружки;
 a – глибина обробітку;

K' – питомий опір різання плоским ножом;

δ – товщина ножа.

Потужність, що витрачається на переміщення фрези:

$$N_{II} = \pm V_{II} \cdot P_x \cdot 736/102, \quad (42)$$

де $\pm P_x$ – горизонтальна складова сумарного тягового опору фрези, яку можна визначити графічно.

Потужність, що витрачається на відкидання ґрунту, наближено можна визначити за формулою:

$$N_B = \frac{K_\phi \cdot B \cdot S \cdot z \cdot \gamma \cdot V_{кол}^2}{2 \cdot 102 \cdot g} \cdot 736, \quad (43)$$

де K_ϕ – коефіцієнт, що залежить від форми робочих органів;

γ – об'ємна маса ґрунту;

B – ширина фрези.

Для оцінки якості обробітку ґрунту Панченко А.М. вводить два критерії: ступінь подрібнення ґрунту i і коефіцієнт різнозернистості структурних агрегатів κ_η [24]. За результатами досліджень було встановлено, що для забезпечення обробітку ґрунту із розміром структурних агрегатів 5 – 10 мм ступінь подрібнення повинна складати:

$$i = (200 - 100) D_{\kappa 50H}, \quad (44)$$

де $D_{\kappa 50H}$ – початковий розмір структурного агрегату, що складає 50% за

масою, $D_{\kappa 50H} = \sqrt[3]{l_k \cdot b_k \cdot \delta_k}$;

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

Коефіцієнт різнозернистості структурних агрегатів:

$$\kappa_\eta \frac{D_{60k}}{D_{10k}} = 9 - 16, \quad (45)$$

де D_{60k} і 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:

$$i = \left(\frac{2K_p \cdot E_v}{\sigma^2} + 1 \right) \frac{1}{i_0}, \quad (46)$$

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.

Основне досягнення цього методу полягає в тому, що автор вперше для пасивних робочих органів розглянув питання аналітичного визначення ступеня подрібнення ґрунту для різних ґрунтообробних знарядь.

Також розробив нову концепцію створення високоефективних ґрунтообробних знарядь. Як відзначає автор, 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:

$$i = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \dots \cdot i_j, \quad (47)$$

де i_1, i_2, i_3, i_j – відповідно перший, другий, третій ... j -ий способи руйнування ґрунту.

Для ротаційних робочих органів, що відрізняються кінематикою руху, якість обробітку ґрунту визначалась експериментально для конкретних знарядь, однак точної теорії і методики розрахунку ступеня подрібнення ґрунту залежно від конструкції ротаційного робочого органу, його геометричних і технологічних параметрів, фізико-механічних властивостей ґрунту в нинішній час немає.

7. Перспективи подальшого розвитку досліджень.

Обґрунтування досліджень ґрунтообробних машин з ротаційними робочими впроваджено в навчальний процес ЗВО «ПДУ» та включено в навчально-методичний комплекс дисципліни «Сільськогосподарські машини. Теорія і розрахунок». Отримано подальший розвиток досліджень ґрунтообробних машин з ротаційними робочими органами, аналізу їх параметрів та порядку їх визначення, що дасть змогу в подальшому детальніше обґрунтовувати витрати енергії на обробіток ґрунту.

Аналіз досліджень ґрунтообробних машин з ротаційними робочими органами було частково розглянуто в матеріалах конференцій та наукових виданнях [28-38].

8. Висновки

1. Наведено алгоритм розрахунку основних параметрів фрезерних робочих органів, подано розрахунок основних показників їх роботи, зокрема робочої швидкості переміщення ротаційних робочих органів.

2. Витрату енергії на обробіток ґрунту пропонується оцінювати за питомою енергомісткістю процесу, тобто за роботою, яка витрачається на одиницю її об'єму.

3. Виходячи з графічних залежностей встановлено, що питома робота зростає із зменшенням подачі на ніж і збільшенням поступальної швидкості, тому робочі швидкості фрез є відносно невеликі. При цьому витрати енергії на фрезерування ґрунту в декілька разів більші, ніж її витрати на обробіток плугом.

4. Із наведених співвідношень можна зробити висновок, 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.

5. Енергія на відкидання ґрунту фрезою залежить від параметрів і режиму її роботи. Для зменшення витрат енергії на відкидання потрібно зменшити діаметр і частоту обертання фрезерного барабана, кут встановлення ножів, а також збільшити поступальну швидкість агрегату.

6. Встановлено, що максимальна ефективність досягається при зменшенні ширини ножа. Основні енерговитрати при обробітку ґрунту ротаційними машинами виникають внаслідок багатократної дії робочим органом на одну і ту ж поверхню ґрунту. Тобто, при малій поступальній швидкості руху агрегату необхідно мати великі оберти ротаційного робочого органу, що призводить до збільшення енерговитрат. Попереднє руйнування ґрунту пасивними робочими органами зменшує енергомісткість процесу, але призводить до збільшення матеріаломісткості машини.

Список літератури:

1. Andreev V.I. (1972). Issledovanie dinamicheskikh protsessov rotatsionnikh pochvoobrabativayushchikh mashin (na primere frez): Avtoref. dis. ...kand. tekh. nauk: 05. 20. 01. Moskva, 28.
2. Babitskiy L.F. (1978). Deformatsiia hruntu zalezno vid formy robochoho orhanu // Visnyk silskohospodarskoi nauky. №6, Kyiv, 84-87.
3. Babkov V.F., A.V.Gerburt - Geibovich. (1964). Osnovi gruntovedeniya i mekhaniki gruntov. Moskva: Visshaya shkola, 365.
4. Babkov V.F., Bezruk V.M. (1986). Osnovi gruntovedeniya i mekhaniki gruntov. Moskva : Visshaya shkola, 240.
5. Balovnev V.I. (1981). Modelirovanie protsessov vzaimodeistviya so sredoi rabochikh organov dorozhno-stroitelnykh mashin. Moskva : Visshaya shkola, 387.
6. Bosoi Ye. S., Vernyaev O.V., Smirnov I.I., Sultan G.E. – Shakh. (1978). Teoriya, konstruktsiya i raschet selskokhozyaistvennykh mashin. Moskva : Mashinostroenie, 568.
7. Vernyaev O.V. (1983). Aktivnie organi kultivatora. Moskva : Mashinostroenie, 77.
8. Vetrov Yu.A. (1983). Rezanie gruntov zemleroinimi mashinami. Moskva : Mashinostroenie, 80.
9. Vetrov Yu.A. (1971). Rezanie gruntov zemleroinimi mashinami. Moskva : Mashinostroenie, 360.
10. Geruk S.N. (1988). Tekhnologicheskii protsess i osnovnie parametri mashini s aktivnimi rabochimi organami dlya poverkhnostnoi obrabotki pochvi: Avtoref. dis. ... kand. tekh. nauk: 05.20.01. Gorkii, 15.
11. Goryachkin V.P. (1968). Sobranie sochinenii. T.1. Moskva : Kolos, 720.
12. Goryachkin V.P. (1968). Sobranie sochinenii. T.2. Moskva : Kolos, 455.
13. Goryachkin V.P. (1965). Sobranie sochinenii. T. 1,2,3. Moskva : Kolos, 425.
14. Dalin A.D., Pavlov P.V. (1956). Rotatsionnie gruntoobrabativayushchie i zemleroinie mashini. Moskva : Mashizdat, 257.
15. Dalin A.D., Pavlov P.V. (1980). Rotatsionnie gruntoobrabativayushchie i zemleroinie mashini. Moskva : Mashizdat, 320.
16. Zamoiska K.V., Bendera I.M. (2007). Rezultaty polovykh doslidzhen rotornoho kulyvatora // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. Seriya "Tekhnichni nauky". №5. Khmelnytskyi, 91-93.
17. Zelenin A.N. (1971). Osnovi razrusheniya gruntov mekhanicheskimi sposobami. Moskva: Mashinostroenie, 360.
18. Katalog zapasnykh chastyn do vantaznykh avtomobiliv, traktoriv ta silskohospodarskoi tekhniki (2007). Khmelnytskyi : Agropromtehnika, 96.
19. Klenin N. I., Sakun V.A. (1980). Selskokhozyaistvennie i meliorativnie mashini. Moskva : Kolos, 671.
20. Melnikov V.V., Aleshkin V.R., Roshchin P.M. (1972). Planirovanie eksperimenta v issledovaniyakh selskokhozyaistvennykh protsessov. Leningrad : Kolos, 194.
21. Namliev S.V. i dr. (1967). Fizika pochvi. Moskva, 583.
22. Pavlinov A. N., Kokoz V.A. (1966). Eksperimentalnoe issledovanie udelnogo soprotivleniya rezaniya grunta pri frezerovanii. Dokladi MIISP. T. 3, Vip. 5, 61 – 64.

23. Panov I.M., Kuznetsov Yu.A. (1975). *Osobennosti razvitiya zarubezhnikh pochvoobrabativayushchikh mashin s aktivnimi rabochimi organami*. Moskva: TsNIITE i traktoroselkhoz mash, 53.

24. Panov I.M. (1984). *Mekhaniko-tekhnologicheskie osnovi rascheta i proektirovaniya pochvoobrabativayushchikh mashin s rotatsionnimi rabochimi organami: Avtoref. dis. ... doktora tekh. nauk*. Chelyabinsk, 36.

25. Panchenko A.N. (1998). *Analiticheskii metod opredeleniya tyagovikh soprotivlenii pochvoobrabativayushchikh i zemleroinikh mashin i otsenka ikh effektivnosti dlya energosberegayushchikh tekhnologii: Uch. posob.* Kiev: Urozhai, 164.

26. Panchenko A.N. (1993). *Analiticheskii metod opredeleniya tyagovikh soprotivlenii pochvoobrabativayushchikh i zemleroinikh mashin i otsenka ikh effektivnosti dlya energosberegayushchikh tekhnologii: Uch. posob.* Dnepropetrovsk: DGAU, 56.

27. Panchenko A.N. (1999). *Teoriya izmelcheniya pochv pochvoobrabativayushchimi orudiyami*. Dnepropetrovsk : Poligrafist, 140.

28. Korchak, M., Yermakov, S., Maisus, V., Oleksiyko, S., Pukas, V., Zavadskaya, I. (2020). Problems of field contamination when growing energy corn as monoculture. *E3S Web of Conferences*. Krynica, Poland. 6th International Conference – Renewable Energy Sources. Volume 154. ISSN: [2267-1242](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015401009), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015401009>.

29. Sheichenko, V., Marynchenko, I., Dudnikov, I., Korchak, M. (2019). Development of technology for the hemp stalks preparation. *Independent Journal of Management and Production*. State agrarian and engineering university in Podilia. Vyp. 10, № 7, 687 –701. (ISSN: 2236-269X).

30. Korchak, M., Yermakov, S., Hutsol, T., Burko, L., Tulej, W. (2021). Features of weediness of the field by root residues of corn. *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference*. Rezekne, Latvia, Volume 1, 122 – 126.

DOI: [10.17770/etr2021vol1.6541](https://doi.org/10.17770/etr2021vol1.6541).

31. Bliznjuk, O., Masalitina, N., Mezentseva, I., Novozhylova, T., Korchak, M. (2022). Development of safe technology of obtaining fatty acid monoglycerides using a new catalyst. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Volume 2, № 6 (116), 13 – 18.

DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253655>.

32. Korchak, M. (2022). Use and quality assessment of test technologies in the educational process. *International Science Journal of Education & Linguistics*. National Centre for Poland, Poland. Volume 1 (3), 57-63. ISSN: 2720-684X, <https://isg-journal.com/isjel/article/view/37>.

33. Korchak, M., Bliznjuk, O., Nekrasov, S., Gavrish, T., Petrova, O., Shevchuk, N., Strikha, L., Kostyrkin, O., Semenov, E., Saveliev, D. (2022). Development of rational technology for sodium glyceroxide obtaining. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Volume 5, № 6 (119), 16 – 25. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265087>

34. Korchak, M., Bragin, O., Petrova, O., Shevchuk, N., Strikha, L., ta in. (2022). Development of transesterification model for safe technology of chemical modification of oxidized fats. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Volume 6, № 6 (120), 8 – 13.

DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266931>.

35. Sytnik, N., Korchak, M., Nekrasov, S., Herasymenko, V., Mylostyvyi, R., Ovsianikova, T., Shamota, T., Mohutova, V., Ofilenko, N., Choni I. (2023). Increasing the oxidative stability of linseed oil. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies: Technology organic and inorganic substances*, Volume 4, № 6 (124), 45 – 50. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.284314>.

36. Staroselska, N., Korchak, M., Ovsianikova, T., Falalieieva, T., Ternovyi, O., Krainov, V. (2024). Improving the technology of oxidative stabilization of rapeseed oil. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies: Technology organic and inorganic substances*, Volume 1, № 6 (127), 6 – 12. ISSN 1729-3774. DOI: [10.15587/1729-4061.2024.298432](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298432).

<https://journals.uran.ua/eejet/issue/view/17773>.

37. Yermakov S., Korchak M., Duhanets V., Pukas V., Vusatyi M. (2024). Rationale for the combined cultivator design for cultivating soil littered with plant remains of rough-stemmed crops. Environment. Technology. Resources. 15th International Scientific and Practical Conference. June 27-28, 2024, "Vasil Levski" National Military University, Veliko Tarnovo, Bulgaria. Vol. 1, 419-424. <https://journals.rta.lv/index.php/ETR/article/view/7959/6269>

38. C. Lu, S. Shevchenko, V. Geichuk, M. Korchak, A. Topalov. (2024). Research on Improving Seals to Suppress Vibration of Rotary Machines”, C. R. Acad. Bulg. Sci., Vol. 77 (6), 881 – 891. DOI: <https://doi.org/10.7546/CRABS.2024.06.11>

Justification of scientific studies of tillage machines with rotary working bodies

Mykola Korchak

Department of Agricultural Engineering and Systems Engineering, Names Mykhaila SAMOKISHA, Higher Educational Institution «Podillia State University», Ukraine
ORCID 0000-0002-8726-1881

Abstract: Scientific studies of tillage machines with rotary working bodies are substantiated. The algorithm for calculating the main parameters of milling working bodies is presented, the calculation of the main indicators of their work, in particular the working speed of movement of rotary working bodies, is presented. It is proposed to estimate the energy consumption for soil cultivation by the specific energy intensity of the process, that is, by the work that is spent per unit of its volume. Based on the graphical dependences, it was found that the specific work increases with a decrease in the feed to the knife and an increase in the translational speed, so the working speeds of the cutters are relatively small. At the same time, energy consumption for milling the soil is several times greater than its consumption for plowing. From the given ratios, it can be concluded that at a given translational speed of the cutter, width and depth of milling, soil density, the energy for throwing off soil particles can be reduced if the speed of this process is reduced. The energy to throw away the soil with the cutter depends on the parameters and mode of its operation. In order to reduce the energy consumption for discarding, it is necessary to reduce the diameter and frequency of rotation of the milling drum, the angle of installation of the knives, and also to increase the forward speed of the unit. It has been established that the maximum efficiency is achieved when the width of the knife is reduced. The main energy costs when tilling the soil with rotary machines arise as a result of the repeated action of the working body on the same soil surface. That is, with a low translational speed of movement of the unit, it is necessary to have high revolutions of the rotary working body, which leads to an increase in energy consumption. Preliminary destruction of the soil by passive working bodies reduces the energy intensity of the process, but leads to an increase in the material intensity of the machine.

Keywords: rotary working body, cutter, theoretical studies, parameters, processing, energy costs, soil.
