

УДК 631.312; 631.316.22

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.108-117>

**С.М. Лещенко**, доц., канд. техн. наук, **В.М. Сало**, проф., д-р техн. наук, **О.М. Васильковський**, проф., канд. техн. наук, **Д.І. Петренко**, доц., канд. техн. наук  
*Центральноукраїнський національний технічний університет, м Кропивницький, Україна*  
*e-mail: serafsgm@ukr.net*

## Визначення параметрів та ефективність роботи додаткових робочих органів глибокорозпушувачів

В роботі проведено огляд і аналіз існуючих додаткових робочих органів комбінованих глибокорозпушувачів серійних машин. Встановлено, що питання оцінки ефективності роботи додаткових робочих органів глибокорозпушувачів та пошук їх раціональних конструктивно-технологічних параметрів є недостатньо дослідженим і потребує практичного вирішення. Запропоновано використання у якості додаткових робочих органів спарених зубчастих котків та визначено їх окремі конструктивні параметри. Наведені результати польових досліджень ефективності роботи спарених зубчастих котків у агрегаті із комбінованим чизельним глибокорозпушувачем. Встановлено, що при швидкості роботи 7...8 км/год та рівномірній дії на ґрунт обома котками на важких і середніх суглинкових ґрунтах досягається показник кришення ґрунту 70-75%.

**додаткові робочі органи, спарений зубчастий коток, параметри котка, ефективність роботи, коефіцієнт кришення ґрунту**

**Постановка проблеми.** Основний обробіток ґрунту під час вирощування сільськогосподарських культур є найбільш затратною операцією, яка крім значних витрат енергії характеризується низькою продуктивністю праці та досить часто неповною відповідністю результатів обробітку чинним агротехнічним вимогам. Останнім часом існує усталена тенденція поступового переходу від основного обробітку ґрунту у вигляді полицевої оранки до технологій глибокого розпушування ґрунту без обертання скиби. Така зміна технології основного обробітку є дуже актуальною і для України, адже це дозволяє як знизити витрати енергії на процес та підвищити продуктивність праці, так і поліпшити інфільтраційні властивості ґрунтів сільськогосподарського призначення, а також створити початкові умови для реалізації системи ґрунтозбереження, що в результаті забезпечить загальне підвищення родючості. Якщо наприкінці минулого століття вважалося, що при безполицевому основному обробітку ґрунту важливо на поверхні поля зберегти максимальну кількість стерні, а вимоги до розмірів брил, які залишаються на поверхні поля були досить умовними, сьогодні вимоги змінюються і для ефективної роботи глибокорозпушувачів різних конструкцій важливо забезпечити ще й додаткове подрібнення ґрунтових агрегатів та перемішування і розподілення рослинних решток на певній глибині [1, 2, 3]. Для вказаних цілей значна кількість виробників різноманітних глибокорозпушувачів використовують додаткові робочі органи, серед яких зубчасті чи борончасті котки, комбінація різних дисків, різноманітні граблини та ін., причому ці робочі органи можуть бути як розміщені в один ряд, так і працювати спарено із аналогічними чи іншими за конструкцією елементами [1, 3, 4]. Незважаючи на конструктивне виконання, призначення таких додаткових робочих органів глибокорозпушувачів

ідентичне, а саме – частково подрібнити надто крупні грудки ґрунту та поліпшити вирівнювання поверхні поля, перемішати і розподілити на певній глибині, а за потреби і перерізати рослинні рештки попередника та бур'ян, забезпечити часткове закриття ґрунтом добрив, що внесені способом поверхневого розкидання тощо.

Незважаючи на варіації та різноманіття конструкцій і технологічних параметрів додаткових робочих органів глибокорозпушувачів, якісні показники їх роботи оцінено недостатньо, а рекомендації відносно практичного використання не розроблено. Отже, питання оцінки ефективності роботи додаткових робочих органів глибокорозпушувачів та пошук їх раціональних конструктивно-технологічних параметрів є важливою задачею, що в результаті дозволить поліпшити якість основного безполицевого обробітку ґрунту.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Сьогодні в Україні більшість глибокорозпушувачів, незалежно від того, чи це машини місцевого чи закордонного виробництва, на полях господарств працюють тільки із додатковими робочими органами. Варто відмітити, що на етапі проектування комбінованих глибокорозпушувачів, головна увага під час проведення як теоретичних, так і експериментальних досліджень по вивченню та обґрунтуванню раціональних параметрів і режимів роботи була приділена основним робочим органам. Загальним же обґрунтуванням впливу окремих параметрів в тому числі і додаткових робочих органів глибокорозпушувачів на ґрунт займалися І.М. Панов, В.І. Ветохін [5], І.А. Шевченко [6], В.Ф. Пащенко [7], А.С. Кушнар'ов [8], Я.С. Гуков [9, 10] та ін.

Загалом всі додаткові робочі органи для додаткової доробки ґрунту, що призначені для роботи із глибокорозпушувачами, можна розділити на одноелементні та парні. Більшість виробників на ці робочі органи покладають ще й функцію опорних, причому регулювання глибини обробітку основних робочих органів може відбуватися як гідросистемою енергетичного засобу так і механічно. Дуже добре за призначенням такі робочі органи розділив виробник UNIA PLOW (Польща) [11], причому наведені котки (рис. 1) під час обробітку теж можуть працювати як по одному так і в парі.



Рисунок 1 – Додаткові робочі органи глибокорозпушувачів UNIA PLOW (Польща)  
Джерело: розроблено авторами з використанням [11]

Міжнародний виробник сільськогосподарської техніки BEDNAR FMT (Чехія) [12] для додаткового обробітку ґрунту глибокорозпушувачами використовує котки Tandem Spiked або ж котки Cutpack із скребками (рис. 2). Як відмічає виробник, коток Cutpack із скребками – це важкий сталевий коток діаметром 630 мм із високою ріжучою здатністю та суттєвим ефектом зворотного ущільнення, що призначений для використання на важких ґрунтах. Втім, досвід практичного використання в умовах

важких суглинкових і глинистих ґрунтів України доводить, що більш ефективним додатковим робочим органом глибокорозпушувачів є спарений зубчастий коток типу Tandem Spiked, який поступово стає найпоширенішим і його в конструкціях різних глибокорозпушувачів у різних варіаціях пропонують ряд як закордонних так і вітчизняних виробників. Подібні за будовою спарені зубчасті котки встановлюються на ґрунтообробних агрегатах SS2F, SS3F та їх модифікаціях «Gascon» (Іспанія), Digger «Farmet» (Чехія), ARTIGLIO, PINOCCHIO «MASCHIO GASPARDO» (Італія), GRS2, GRS3 «VELES AGRO» (Україна), GULDEN, FRANC «LOZOVA MACHINERY» (Україна) та багатьох інших.



Рисунок 2 – Додаткові робочі органи глибокорозпушувачів BEDNAR FMT (Чехія):  
а – котки Tandem Spiked; б – котки Cutpack із скребками

*Джерело: розроблено авторами з використанням [12]*

Спарені зубчасті котки (рис. 2 а), які встановлюються на глибокорозпушувачі від різних виробників, суттєво відрізняються формою зубів, діаметром, взаємним розміщенням один відносно іншого, механізмами їх регулювання, режимами роботи тощо. Виходячи з цього, питання дослідження окремих параметрів цих додаткових робочих органів глибокорозпушувачів з метою пошуку найбільш ефективних конструктивних рішень є важливою прикладною задачею основного безполицевого обробітку ґрунту.

**Постановка завдання.** Отже, метою даної роботи є обґрунтування конструкції та оцінка ефективності роботи спарених зубчастих котків як додаткових робочих органів чизельних глибокорозпушувачів.

**Виклад основного матеріалу.** Вітчизняні комбіновані глибокорозпушувачі, що вдало конкурують із закордонними виробниками аналогічної за призначенням техніки, конструктивно є дуже близькими до закордонних аналогів, проте низька якість матеріалів, з яких виготовляються їх робочі органи та сама якість виготовлення негативно впливають на термін експлуатації та на якість проведення обробітку, крім того, часто робочі органи є не повністю адаптованими до дійсних ґрунтово-кліматичних умов. На основі проведених досліджень [13...16], протоколів випробувань діючих машин та практичних висновків фермерів на кафедрі сільськогосподарського машинобудування ЦНТУ спроектовано сімейство комбінованих чизельних глибокорозпушувачів типу ЧН, які протягом семи років на замовлення агроформувань вироблялися ПП «Савицький» м. Кропивницький, а останнім часом виготовляється компанією «БМ-Системс». Такі ґрунтообробні агрегати комплектуються спареними зубчастими котками (рис. 3), що виконують функцію опорних та є додатковими

робочими органами, які забезпечують подрібнення крупних грудок ґрунту після роботи чизельних лап, забезпечують перемішування і заробку на глибину до 20 см рослинних решток. Залежно від того, яким чином налаштовано спарений зубчастий коток, забезпечується регулювання глибини обробки самих розпушувальних лап глибокорозпушувача та інтенсивність перемішування і подрібнення брил ґрунту після проходу основних робочих органів.

За своєю конструкцією і принципом роботи спарений зубчастий коток (рис. 3) є подібним до котків типу Tandem Spiked (рис. 2), при цьому має більш просту технологічну форму і менший поперечний перетин зубів, що спрощує їх виготовлення та механічні регулювання, які дозволяють використовувати ці робочі органи у складі комбінованих глибокорозпушувачів із будь-якими тракторами та не потребують прив'язки до гідросистеми енергетичних засобів.

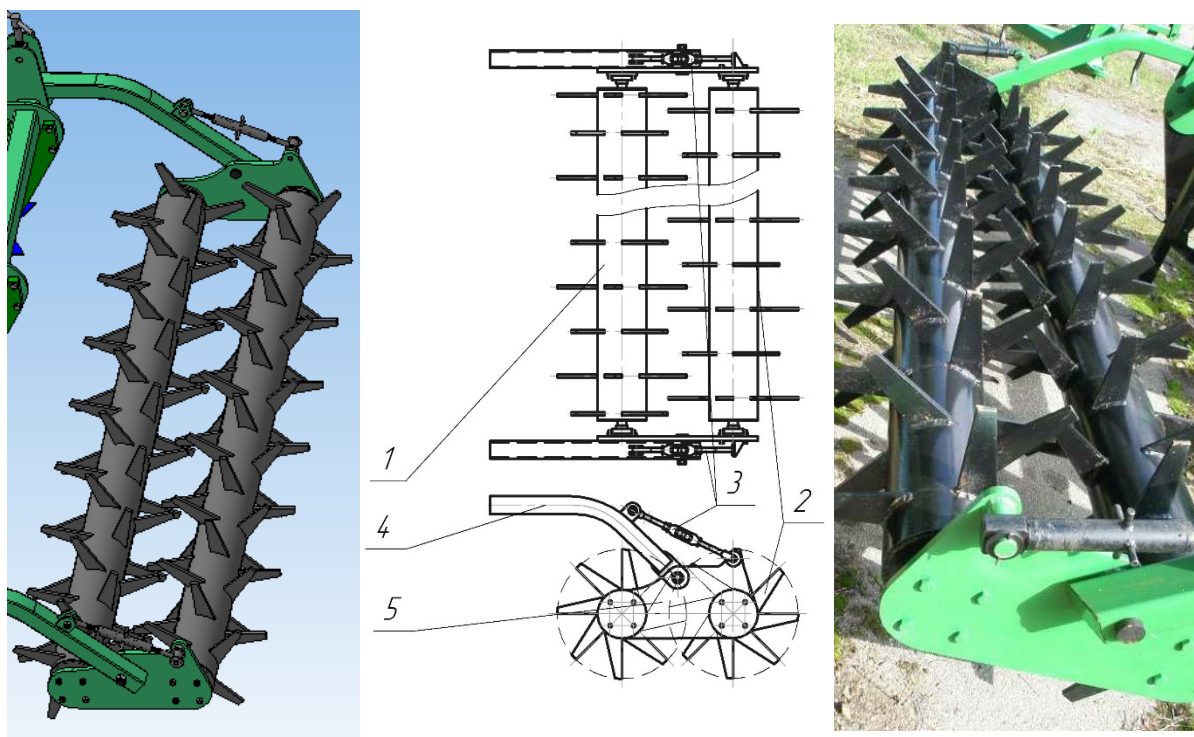


Рисунок 3 – Просторова модель, схема та загальний вигляд спареного зубчастого котка:

- 1 – передній коток; 2 – задній коток; 3 – регулювальний гвинт інтенсивності роботи спареного котка;  
4 – рамка кріплення батареї котків; 5 – щоки батареї котків

*Джерело: розроблено авторами*

Рекомендований до використання в якості додаткового робочого органу глибокорозпушувачів спарений зубчастий коток складається із переднього 1 та заднього 2 котків (рис. 3), зуби яких зміщені на пів кроку один відносно іншого та жорстко закріплені по концентричному колу труби основи котка. Безпосередньо зуби мають форму звужених зрізаних призм, що приварюються до труби із нахилом вперед чи назад, залежно від установки самого котка. Кожен із котків встановлюється цапфами в підшипниковий вузол, який закріплений в щоках батареї котків 5. Це забезпечує вільне обертання котків при їх перекочуванні по поверхні поля. Інтенсивність роботи батареї регулюється їх положенням відносно горизонту регулювальними гвинтами 3, що встановлені по обидва боки та закріплюються до щок 5. Рамка кріплення батареї котків 4 входить в боковини просторової ферми рами глибокорозпушувача. При обертанні регулювального гвинта інтенсивності роботи спареного котка 3, можна



встановити або ж рівномірну роботу обома котками, чи забезпечити нахил батареї вперед чи назад. Нахил котків вперед забезпечує більш інтенсивне перемішування рослинних решток, але при цьому крупні брили розпушуються гірше, якщо ж потрібно поліпшити подрібнення часток ґрунту – необхідно забезпечити незначне підймання переднього котка відносно заднього. За нормальних умов роботи при незначній вологості і невеликій кількості рослинних решток рекомендовано встановлювати горизонтальне положення котків.

За відомою класичною схемою під час вибору параметрів котків основними є діаметр цього робочого органу і його довжина. Під час визначення діаметру котка потрібно враховувати можливу поздовжню деформацію ґрунту [1]. Якщо в полі працює гладкий коток, це має місце коли кут охоплення котка ґрунтом  $\alpha$  не буде перевищувати  $20^\circ$  за умови, що грудка перед котком не буде надто великою. Враховуючи те, що запропонована конструкція котка при роботі забезпечує виконання двох функцій, а це – ущільнення нижніх шарів ґрунту і роздавлювання грудок та інтенсивне перемішування верхніх горизонтів за рахунок проникнення зубів котка в попередньо розпушений ґрунт, кут обхвату такої конструкції (рис. 4) складає  $\alpha = 50^\circ$ .

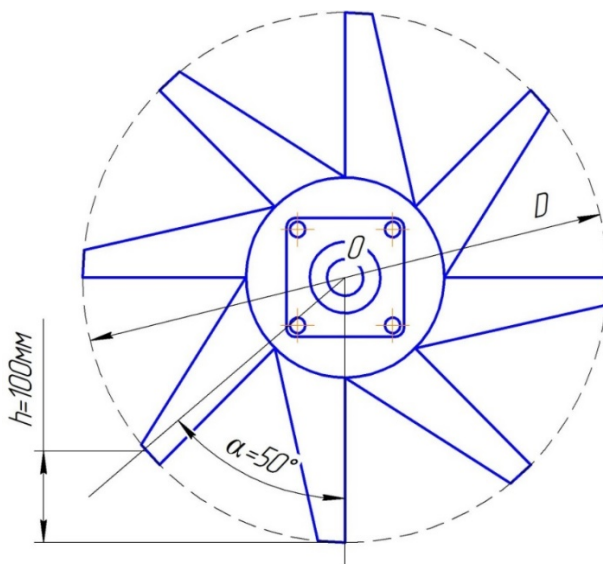


Рисунок 4 – Схема до визначення параметрів зубчастого котка

Джерело: розроблено авторами

Для визначення діаметру котка, що забезпечить необхідні якісні показники роботи, можна скористатися класичною залежністю [1]:

$$\cos \alpha = \frac{D - 2 \cdot h}{D} = 1 - \frac{2 \cdot h}{D}, \quad (1)$$

де  $\alpha$  – кут обхвату котка ґрунтом;

$D$  – діаметр котка;

$h$  – усереднене значення глибини деформації котком ґрунту.

Наведена вище формула дозволяє знайти значення мінімального діаметру, за умови вільного перекочування котка без його забивання грудками

$$D \geq \frac{2 \cdot h}{1 - \cos \alpha}. \quad (2)$$

Якщо врахувати, що кут обхвату запропонованого котка  $\alpha = 50^\circ$ , а усереднене значення глибини деформації котком ґрунту  $h = 100$  мм, то мінімальний розрахунковий

діаметр котка дорівнює  $D = 560$  мм. На комбіновані глибокорозпушувачі типу ЧН встановлювали котки діаметром  $D = 580$  мм.

Вибираючи ширину захвату котків враховують рельєф поля та інші зовнішні чинники, що можуть впливати на роботу таких робочих органів. Дослідники відмічають [1], що за умов роботи котків на рівнині їх ширина може становити до 2 м, якщо ж обробіток проводять в умовах гірського рельєфу та значних нерівностях полів, ширина котків не перевищує 1 м. При виборі ширини спарених зубчастих котків варто враховувати функцію, що цей механізм виконує, а ширину таких котків узгоджують із шириною захвату глибокорозпушувачів.

Відомо, що конструктивні параметри котків, які забезпечують їх роботоздатність мають прямий зв'язок із об'ємною деформацією ґрунту.

$$h = \frac{1,3 \cdot \sqrt[3]{G^2}}{\sqrt[3]{g_o^2 \cdot B^2 \cdot D}}, \quad (3)$$

де  $G$  – повна вага котка;

$g_o$  – коефіцієнт об'ємної деформації ґрунту котком;

$B$  – ширина захвату котка

Із наведеної вище залежності коефіцієнт об'ємної деформації ґрунту котком дорівнює:

$$g_o = \sqrt{\frac{2,2 \cdot G^2}{h^3 \cdot B^2 \cdot D}}. \quad (4)$$

Для визначення зусилля перекочування котка по поверхні ґрунту потрібно скористатися залежністю, яка включає вагу котка, коефіцієнт об'ємної деформації ґрунту, ширину захвату котка і його діаметр:

$$P = 0,86 \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{G^4}{g_o \cdot B \cdot D^2}}, \quad (5)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що враховує додатковий опір деформації ґрунту, який виникає від роботи зубів. Враховуючи подвійну функцію такого типу котків, які проводять одночасно і ущільнення і розпушування, цей коефіцієнт знаходиться в діапазоні значень  $k = 1,2 \dots 1,3$ .

З метою оцінки ефективності роботи чизельних глибокорозпушувачів із спареними зубчастими котками запропонованої конструкції, були проведені польові дослідження на полях Кіровоградщини. Наведені нижче результати є накопиченими і обробленими даними, що були отримані протягом 2014...2021 років. Дослідження проводилися на важких і середніх суглинкових ґрунтах із середньою твердістю ґрунту в поверхневому горизонті 20-25 кг/см<sup>2</sup>, на глибині 10...20 см – 40-50 кг/см<sup>2</sup> та на глибині до 30 см – 70-85 кг/см<sup>2</sup>. Якість роботи глибокорозпушувача із додатковими робочими органами – спареним зубчастим котком проводили за коефіцієнтом кришення ґрунту [13], який можна визначити за формулою

$$k = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100\%, \quad (6)$$

де  $m_1$  – фактична вага часток ґрунту розміром менше 50 мм після роботи агрегату;

$m_2$  – сумарна вага навіски ґрунту.

Зведений результат польових досліджень по оцінці ефективності роботи спарених зубчастих котків (рис. 5) наведено для глибини роботи чизельного

глибокорозпушувача  $h = 30...38$  см, за умови, що глибина суцільного обробітку була близькою до 20 см. Діапазон швидкостей руху скомплектованого ґрунтообробного агрегату була обмежена максимально можливою швидкістю його руху за умови проведення якісного обробітку, враховуючи необхідне тягове зусилля енергетичного засобу на якомога вищій передачі із врахуванням зовнішніх ґрунтово-кліматичних умов. В більшості випадків робоча швидкість руху знаходилася в діапазоні  $V_p = 4...9$  км/год. Отримані експериментальні графіки (рис. 5) підтверджують, що найнижча якість кришення ґрунту чизельного глибокорозпушувача спостерігається при його роботі без котків, а коефіцієнт кришення дорівнює 48...62%. Варто зазначити, що підвищення робочої швидкості забезпечує поліпшення якісних показників обробітку, але ця швидкість обмежується тяговим зусиллям трактора. За умов, коли глибокорозпушувач працює із одним зубчастим котком, що забезпечується регулюванням гвинтами 3 (рис. 3), якісні показники є вищими при аналогічних швидкостях роботи і знаходяться на рівні  $k = 56...71$  %. Найбільш ефективно комбінований чизельний глибокорозпушувач працює із двома зубчастими котками і при робочій швидкості 7,2...8,2 км/год якісний показник кришення ґрунту дорівнював 70...75%. Наведений якісний показник кришення ґрунту запропонованим комбінованим чизельним глибокорозпушувачем із спареним зубчастим котком є вищим за відповідні показники роботи подібних за призначенням закордонних агрегатів. Так, за аналогічних умов роботи під час обробітку важких чорноземів, показник кришення ґрунту глибокорозпушувача Artiglio S 250-500 виробника «GASPARDO» дорівнював  $k = 55 - 60$  %, інший подібний агрегат Cenius 400/18 від «AMAZONE» забезпечував якість на рівні  $k = 58 - 65$  % [13].

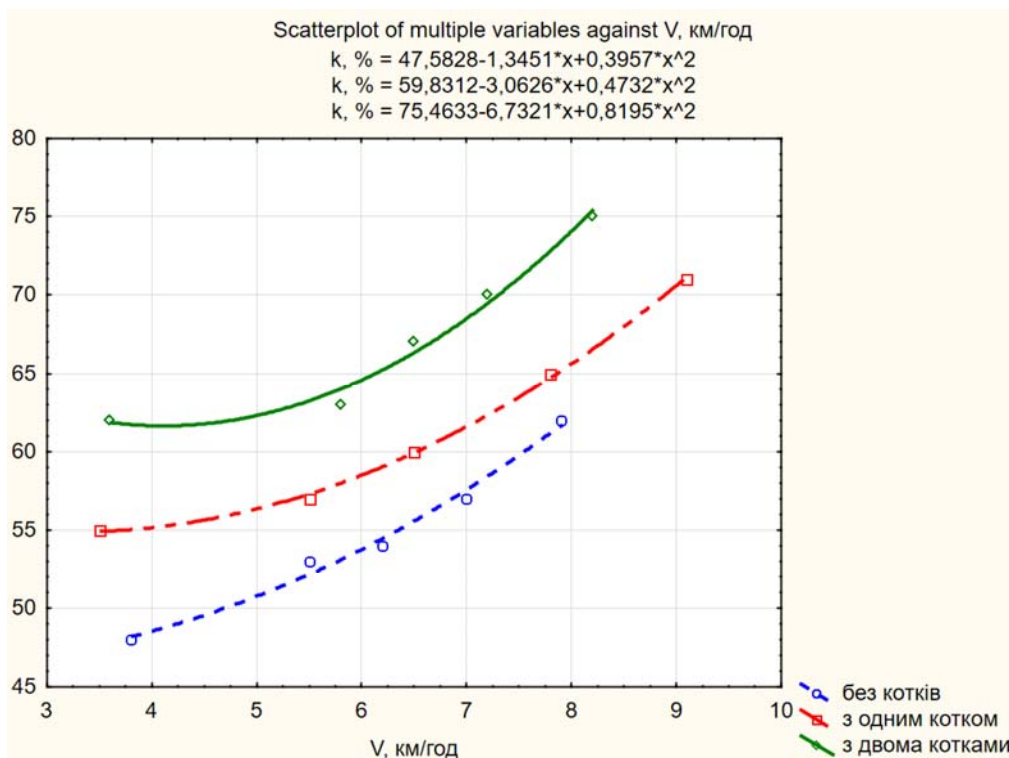


Рисунок 5 – Експериментальна залежність ефективності роботи глибокорозпушувача від робочої швидкості агрегату і варіанту роботи спареного зубчастого котка

Джерело: розроблено авторами

**Висновки.** 1. Для ефективної роботи комбінованих глибокорозпушувачів ґрунту необхідно використовувати додаткові робочі органи, що мають додатково подрібнити крупні частки та частково перемішати і розподілити рослинні рештки. Найбільш доцільно за ускладнених умов роботи у якості додаткових робочих органів використовувати спарені зубчасті котки із механічним регулюванням.

2. На етапі обґрунтування конструктивних параметрів спарених зубчастих котків достатньо врахувати необхідний кут обхвату котка ґрунтом і усереднене значення глибини деформації котком ґрунту. Це дозволить отримати фактичне значення робочого діаметру котка та розрахувати зусилля перекочування котка по поверхні ґрунту.

3. Під час польових досліджень роботи комбінованих глибокорозпушувачів із спареним зубчастим котком встановлено, що працюючи двома зубчастими котками при робочій швидкості 7,2...8,2 км/год якісний показник кришення ґрунту знаходиться на рівні 70...75%, що суттєво (до 20%) перевищує якісні показники роботи закордонних машин аналогічної конструкції за таких-же умов роботи.

## Список літератури

1. Машини для обробки ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей / В.М. Сало та ін. Х.: Мачулін, 2016. 244 с.
2. Improvement of equipment for basic tillage and sowing as initial stage of harvest forecasting / K.V. Vasylykova et al. *INMATEH-Agricultural Engineering*. 2016. Vol.50 No.3. P.13-20 ref.18.
3. Машини для обробки ґрунту та сівби: посіб.; за ред. Кравчука В.І., Мельника Ю.Ф. Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2009. 288 с.
4. Azizi, A., Gilandeh, Y. A., Mesri-Gundoshmian, T., Saleh-Bigdeli, A. A., & Moghaddam, H. A. (2020). Classification of soil aggregates: A novel approach based on deep learning. *Soil and Tillage Research*, 199, 104586. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104586>
5. Панов И.М., Ветохин В.И. Физические основы механики почв: монография. К.: Феникс, 2008. 266 с.
6. Шевченко І.А. Керування агрофізичним станом ґрунтового середовища. К.: Видавничий дім «Вініченко», 2016. 320 с.
7. Пашенко В.Ф., Корниенко С.И., Гусаренко Н.П. Теория воздействия рабочих органов орудий на почву: монография. Харьков: ХНАУ, 2013. 90 с.
8. Кушнарев А.С., Кочев В.И. Механико-технологические основы обработки почвы. К.: Урожай, 1989. 144 с.
9. Гуков Я.С. Обработка ґрунту. Технология і техніка. К., Нора-Принт, 1999. 275 с.
10. Гуков Я.С. Обґрунтування деяких параметрів розпушувачів ґрунту. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2000. Вип. 83. С.84-88.
11. Глибокорозпушувач UNIA PLOW. URL: [https://vfc.com.ua/catalogue/silskogospodarska\\_tehnika/glibokorozpushuvachi/unia-57.html](https://vfc.com.ua/catalogue/silskogospodarska_tehnika/glibokorozpushuvachi/unia-57.html) (дата звернення 10.12.2022).
12. Глибокорозпушувачі BEDNAR FMT. Загальна інформація, робочі органи, технічні дані. URL: <https://www.bednar.com/uk/глибокорозпушувачі/> (дата звернення 10.12.2022).
13. Leschenko S., Salo V., Petrenko D. Experimental estimate of the efficiency of basic tilling by chisel equipment in the conditions of soil. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2014. Вип. 44. С. 237-243.
14. Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І. Оцінка енергоємності глибокого обробки ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць Центральноукраїнського нац. техн. ун-ту*. 2018. Вип. 31. С. 10–20.
15. Сало В., Лещенко С. Технічне забезпечення процесів глибокого розпушування ґрунту. *Пропозиція: український журнал з питань агробізнесу. Інформаційний щомісячник*. 2015. №10. С.122-124.
16. Лещенко С. М., Сало В.М. Шляхи підвищення ефективності роботи комбінованих чизельних ґрунтообробних знарядь з додатковими деформаторами. *Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодерж. зб.* 2016. Вип. 4 (103). 2016. С. 31-37. URL: <https://journal.imesg.gov.ua/info/attach.php?id=66> (дата звернення 12.12.2022).



## Referencis

1. Salo, V.M., Leshchenko, S.M., Luzan, P.G., Machok, Yu.V. & Bogatir'ov, D.V. (2016). *Mashyny dlia obrobittu gruntu ta vnesennia dobryv. Navchalnyi posibnyk dlia studentiv ahrotekhnichnykh spetsialnostei [Tillage and fertilizer machines. A textbook for students of agricultural specialties]*. Kharkiv: Machulin [in Ukrainian].
2. Vasylykivska K.V., Leshchenko S.M., Vasylykovskiy O.M., Petrenko D.I. (2016). Improvement of equipment for basic tillage and sowing as initial stage of harvest forecasting. *INMATEH-Agricultural Engineering. Vol.50, No.3*, 13-20 [in English].
3. Kravchuk V.I., Melnyk Yu.F. (2009). *Posibnyk. Mashyny dlia obrobittu gruntu ta sivby [Manual. Machines for soil cultivation and seeding]*. Doslidnytske: UkrNDIPVT im. L. Pohoriloho. [in Ukrainian].
4. Azizi, A., Gilandeh, Y. A., Mesri-Gundoshmian, T., Saleh-Bigdeli, A. A., & Moghaddam, H. A. (2020). Classification of soil aggregates: A novel approach based on deep learning. *Soil and Tillage Research, 199*, 104586. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104586> [in English].
5. Panov, Y.M. & Vetokhyn, V.Y. (2008). *Fyzycheskye osnovi mekhaniky pochv [Physical bases of soil mechanics]*. Kiev: Fenyks [in Russian].
6. Shevchenko I.A. (2016). *Keruvannya agrofizichnim stanom gruntovogo seredovisha [Management of Agrophysical Condition of Soil Environment]*. Kiev: Vidavnychij dim «Vinichenko» [in Ukrainian].
7. Pashchenko, V.F., Korniyenko, N.P. & Husarenko, S.Y. (2013). *Teoriya vozdeistviya rabochykh orhanov orudyi na pochvu [Theory of the impact of the working bodies of guns on the soil]*. Kharkov : KhNAU [in Russian].
8. Kushnarev, A.S. & Kochev, V.I. (1989). *Mekhaniko-tekhnolohicheskye osnovy obrabotky pochvy [Mechanical and technological bases of soil cultivation]*. Kiev: Urozhai [in Russian].
9. Hukov, Ya.S. (1999). *Obrobittok hruntu. Tekhnolohiia i tekhnika [Tillage of the soil. Technology and equipment]*. Kyiv: Nora-Prynt [in Ukrainian].
10. Hukov Ya.S. (2000). Obgruntuvannia deiakykh parametriv rozpushuvachiv gruntu [Justification of some parameters of soil looseners]. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva – Mechanization and electrification of agriculture, Issue 83*, 84-88 [in Ukrainian].
11. *Hlybokorozpushuvach UNIA PLOW. [Deep loosener UNIA PLOW]*. [vfc.com.ua](https://vfc.com.ua). Retrieved from [https://vfc.com.ua/catalogue/silskogospodarska\\_tekhnika/glybokorozpushuvachi/unia-57.html](https://vfc.com.ua/catalogue/silskogospodarska_tekhnika/glybokorozpushuvachi/unia-57.html) [in Ukrainian].
12. Hlybokorozpushuvachi BEDNAR FMT. Zahalna informatsiia, robochi orhany, tekhnichni dani. [Deep looseners BEDNAR FMT. General information, working bodies, technical data]. *bednar.com*. Retrieved from <https://www.bednar.com/uk/глибокорозпушувачі/> [in Ukrainian].
13. Leschenko, S., Salo, V. & Petrenko, D. (2014). Experimental estimate of the efficiency of basic tilling by chisel equipment in the conditions of soil. *Konstruivannja, vyrobnytstvo ta ekspluatacija sil's'kohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue 44*, 237-243. [in Ukrainian].
14. Leshchenko, S.M., Salo V.M. & Petrenko D.I. (2018). Otsinka enerhoiemnosti hlybokoho obrobittu gruntu kombinovany my chyzelnymy hlybokorozpushuvachamy [Assessment of energy intensity of deep cultivation of soil by combined chisel deep tillers]. *Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia: zb. nauk. pr. Kirovohrads'koho nats. tekhn. un-tu – Machinery in agricultural production, industrial engineering, automation: coll. of science avenue of Kirovohrad National Technical University, Issue 31*, 10–20 [in Ukrainian].
15. Salo, V. & Leshchenko, S. (2015). Tekhnichne zabezpechennia protsesiv hlybokoho rozpushuvannia gruntu [Technical support of the processes of deep loosening of the soil]. *Propozytsiia: ukraïnskyi zhurnal z pytan ahrobiznesu. Informatsiinyi shchomisiachnyk – Offer: Ukrainian magazine on agribusiness. Information monthly, 10*, 122-124. [in Ukrainian].
16. Leshchenko, S.M. & Salo, V.M. (2016). Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti roboty kombinovanykh chyzelnykh gruntoobrobnykh znariad z dodatkovy my deformatoramy [Ways to improve the efficiency of combined chisel tillage tools with additional deformer]. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva : zahalnodержavnyi zbirnyk – Mechanization and electrification of agriculture: general government. coll. Issue 4 (103)*, 31-37. Retrieved from <https://journal.imes.gov.ua/info/attach.php?id=66>

**Serhii Leshchenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vasyl Salo**, Prof., DSc., **Olexiy Vasylovskiy**, Prof., PhD tech. sci., **Dmytro Petrenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

### **Determination of Parameters and Efficiency of Additional Operating Parts of Deep Tillers**

The article presents an overview and analysis of existing additional operating parts of combined deep tillers of serial machines. It was established that the issue of assessing the effectiveness of additional operating parts of deep tillers and the search for their rational structural and technological parameters is insufficiently studied and needs practical solution. The most versatile operating part for high-quality work of deep tillers can be a paired toothed roller. Having studied its design parameters and operating modes, it is possible to get clear recommendations regarding its use.

An improved design of the Tandem Spiked toothed roller type with mechanical adjustment is proposed, as such rollers have a much simpler shape of teeth and a smaller cross-section of each tooth. The dependences for the calculation of certain design parameters of the roller, namely its diameter, length and coefficient of volume deformation of the soil, are given based on the fact that the roller performs two functions – compaction of the lower layers of the soil and crushing of clods and intensive mixing of the upper horizons. To determine the rolling force on the soil surface, we use the relationship that includes the weight of the roller, the volume deformation coefficient of the soil, the grip width of the roller and its diameter. Field studies to assess the efficiency of paired toothed rollers were carried out.

For the effective operation of combined deep tillers of the soil, it is necessary to use additional operating parts, which should additionally grind large particles and partially mix and distribute plant residues. It is most expedient to use paired toothed rollers with mechanical adjustment as additional operating parts under difficult working conditions. At the stage of substantiating the design parameters of paired toothed rollers, it is enough to take into account the required angle of the soil roller's girth and the average value of the soil deformation depth. This will allow getting actual value of the working diameter of the roller and calculate the force of the roller rolling over the soil surface. During field studies of the operation of combined deep tillers with a paired toothed roller, it was established that when working with two toothed rollers at a working speed of 7.2...8.2 km/h, the qualitative indicator of soil crushing is at the level of 70...75%, which significantly exceeds the qualitative indicators of the work of foreign machines of a similar design under the same operating conditions.

**additional operating parts, paired toothed roller, parameters of the roller, operating efficiency, coefficient of soil crushing**

*Одержано (Received) 19.12.2022*

*Прорецензовано (Reviewed) 22.12.2022*

*Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022*