

УДК 631.312; 631.316.22

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2018.48.12-21>

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

Вплив конструктивно-технологічних параметрів робочих органів глибокорозпушувача на тяговий опір

В роботі оцінюється вплив конструктивно-технологічних параметрів робочих органів комбінованих глибокорозпушувачів на тяговий опір агрегатів. Доводиться, що використання раціональної формули Горячкіна для аналітичного визначення тягового опору глибокорозпушувачів, у традиційному її представленні є недоречним, оскільки чизельні агрегати здійснюють принципово іншу технологічну операцію порівняно з полицевим плугом. Запропоновано методику визначення тягового опору чизельних знарядь з врахуванням зон деформацій від конструктивних елементів чизельних лап. З практичної точки зору проаналізовано вплив деяких конструктивних елементів глибокорозпушувача на питомий опір ґрунту та проведено оцінку витрати пального в залежності від комплектування агрегату.
тяговий опір, раціональна формула Горячкіна, чизельний глибокорозпушувач, додаткові деформатори, витрати пального

С.Н. Лещенко, доц., канд. техн. наук, **В.М. Сало**, проф., д-р техн. наук, **Д.И. Петренко**, доц., канд. техн. наук, **А.М. Васильковский**, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Влияние конструктивно-технологических параметров рабочих органов глибокорыхлителя на тяговое сопротивление

В работе оценивается влияние конструктивно-технологических параметров рабочих органов комбинированных глибокорыхлителей на тяговое сопротивление агрегатов. Доказывается, что использование рациональной формулы Горячкина для аналитического определения тягового сопротивления глибокорыхлителей, в традиционном ее представлении является неуместным, поскольку чизельные агрегаты осуществляют принципиально иную технологическую операцию по сравнению с отвальным плугом. Предложена методика определения тягового сопротивления чизельных орудий с учетом зон деформаций от конструктивных элементов чизельных лап. С практической точки зрения проанализировано влияние некоторых конструктивных элементов глибокорыхлителя на удельное сопротивление почвы и проведена оценка расхода топлива в зависимости от комплектации агрегата.
тяговое сопротивление, рациональная формула Горячкина, чизельный глибокорыхлитель, дополнительные деформаторы, расход топлива

Постановка проблеми. Поступовий перехід від технологій класичної полицевої оранки до технологій безполицевого глибокого обробітку є реаліями сьогодення. Впровадження в технологічні процеси вирощування продукції рослинництва на етапах основного обробітку ґрунту процесів глибокого розпушування, дозволяють суттєво скоротити витрати на проведення операцій, зруйнувати ущільнену підорну підшву, цим самим покращити інфільтраційні властивості ґрунтів, скоротити прояви вітрової та водної ерозій, і зрештою, слугують основами ґрунтозахисного енергоощадного землеробства. Існують суттєві перепони щодо активного впровадження глибокого

розпушування ґрунтів у агровиробництво, насамперед, в умовах дрібних та середніх фермерських господарств. Це пов'язано із обмеженою кількістю глибокорозпушувачів та інших машин для безполицевого обробітку ґрунту, що є адаптованими до ґрунтово-кліматичних умов України та можуть ефективно агрегатуватися із малопродуктивними тракторами, насамперед вітчизняного виробництва і застарілими енергетичними засобами. Ще одним фактором, який обмежує використання глибокорозпушувачів є висока вартість закордонних машин та запасних частин до них, що реалізуються на ринку сільськогосподарської техніки, а вітчизняні виробники здебільшого необґрунтовано копіюють будову закордонних аналогів без вдосконалення конструкцій та їх адаптації до ґрунтових умов, експлуатаційних особливостей енергетичних засобів, специфіки реалізацій технологій глибокого розпушування.

Протягом останніх років місцевими виробниками робляться спроби вдосконалити як окремі елементи конструкцій глибокорозпушувачів, так і їх принципових схем і механізмів регулювань загалом, що повинно підвищити загальну ефективність їх використання, спростити та обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри і режими роботи та забезпечити комплектування агрегатів із існуючими енергетичними засобами. Для комплексної оцінки якісних показників роботи, витрат енергії, ефективного агрегування, пошуку раціональних конструкцій та набору робочих органів проводяться відповідні теоретико-експериментальні дослідження, хоча ряд питань залишаються не вивченими. Зокрема, актуальними питаннями залишаються питання взаємозв'язку якості операцій глибокого розпушування із енерговитратами та можливість комплектування ефективного ґрунтообробного агрегату із раціональним набором робочих органів з тракторами різного тягового класу та конструкціями енергетичних засобів.

На кафедрі сільськогосподарського машинобудування Центральноукраїнського національного технічного університету розроблено сімейство комбінованих чизельних глибокорозпушувачів, які можуть агрегатуватися із тракторами як вітчизняного, так і закордонного виробництва різного тягового класу, попередні дослідження яких [3, 5, 10-19] підтвердили їх високу ефективність під час роботи на важких суглинкових і глинистих ґрунтах Центральної України. Сьогодні залишається відкритим питання комплексної оцінки ефективності роботи запропонованих ґрунтообробних агрегатів з точки зору затрат енергії та взаємозв'язку енерговитрат із якістю обробітку ґрунту.

Аналіз основних досліджень і публікацій. На практиці прийнято затрати енергії на обробіток ґрунту оцінювати дійсними витратами пального. Крім того, відомо, що витрати пального на обробіток ґрунту суттєво залежать не лише від конструктивних особливостей робочих органів і знарядь ґрунтообробних машин та їх компоновки у агрегати, але і від типу та фізико-механічних властивостей ґрунтів, що підлягають обробці. Відомо, що питома робота (кДж/м^3) під час оранки класичним полицевим плугом складає: на піщаних ґрунтах – 30 ± 5 , на важкоглинистих 120 ± 20 ; для глибокого розпушування ґрунту за аналогічних умов – 20 ± 4 та 80 ± 10 кДж/м^3 відповідно, що повністю підтверджує можливість зниження витрат енергії, а отже і пального, під час глибокого розпушування ґрунту у 1,5 рази порівняно із оранкою [2, 4, 9].

Хоч і однозначно доведена можливість скорочення енерговитрат під час глибокого розпушування ґрунту у порівнянні з класичною оранкою, прямий вплив на енерговитрати мають геометричні параметри робочих органів глибокорозпушувачів, їх компоновка у принципову схему машини, а підбір раціональних параметрів має вирішити проблему узгодження величини тягового опору із кінцевою якістю операції. В будь-якому випадку, на етапі проектування глибокорозпушувачів необхідно оцінити

кількість енергії яку потрібно витратити для подолання тягового опору під час розпушування та яку якість операції при даному наборі робочих органів можна отримати. Неодноразово доведено [1-9], що під час глибокого безполицевого обробітку ґрунту зниження тягового опору, в більшості випадків, неминуче призводить до зниження якісних показників роботи і навпаки. Отже під час проектування комбінованих чизельних глибокорозпушувачів, як і інших комбінованих агрегатів для безполицевого обробітку ґрунту, слід чітко визначитися із домінуючими характеристиками робочих органів, як поєднання окремих конструктивних елементів ґрунтообробних агрегатів будуть впливати на якість обробітку за різних ґрунтово-кліматичних умов та оцінити витрати енергії під час технологічного процесу, що дозволить ефективно скомпонувати ґрунтообробний агрегат [4, 9].

Під час визначення тягового опору плугів прийнято використовувати формулу В.П. Горячкіна [9]:

$$R_x = R_1 + R_2 + R_3 = f \cdot G + k_0 \cdot a \cdot b \cdot n + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot V^2, \quad (1)$$

де R_1 , R_2 , R_3 – опори першої, другої та третьої категорій;

f – коефіцієнт пропорційності (опір перетягуванню плуга у відкритій борозні), при роботі полицевого плуга по стерні $f = 0,5$; для чизельних плугів $f = 0,4$ [9];

G – сила ваги;

k_0 – питомий опір ґрунту, за В.П. Горячкіним: на легких ґрунтах $k_0 = 2$ Н/см² (20 кПа), на середніх – $k_0 = 3$ Н/см² (30 кПа) і на важких – $k_0 = 4...5$ Н/см² (40...50 кПа) [9];

a та b – відповідно глибина обробки та ширина захвату робочого органу;

n – кількість корпусів чи лап на знарядді;

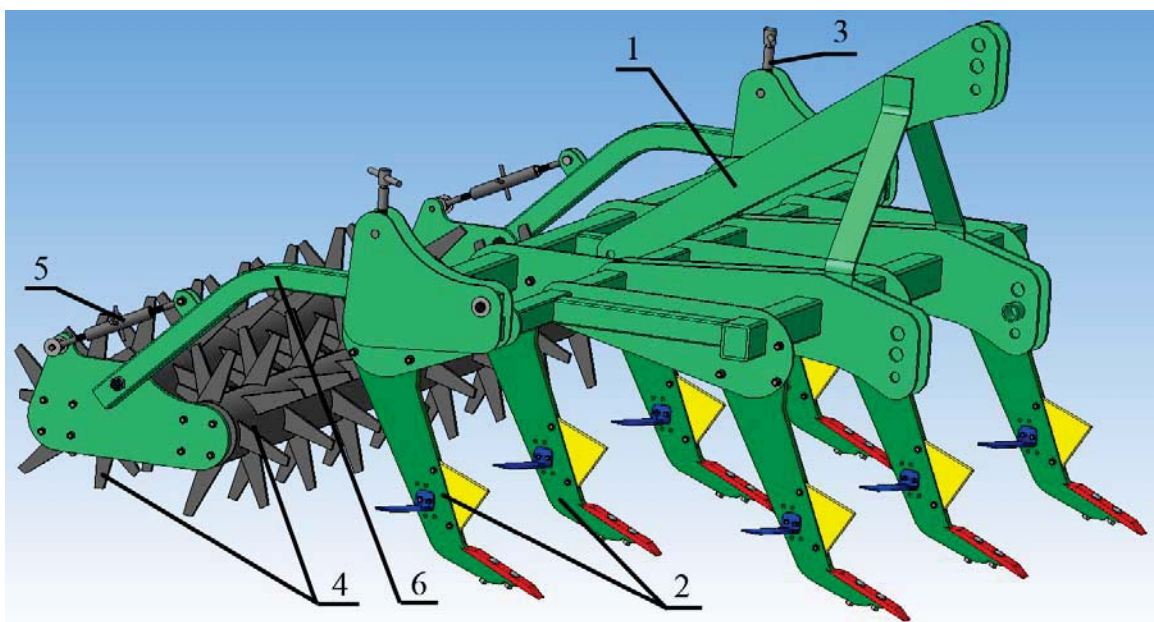
ε – коефіцієнт швидкісного опору, який залежить від параметрів (геометричної форми) робочого органу та властивостей ґрунту, за В.П. Горячкіним $\varepsilon = 1500...2000$ Н·с²/м⁴ [9];

V – швидкість орного агрегату.

Більшість дослідників доводять [3-9, 19], що глибокорозпушувачі, зокрема чизельні, під час роботи здійснюють принципово інший процес порівняно з плугом. Основна різниця полягає в тому, що полицевий плуг забезпечує суцільний обробіток на повну глибину ходу робочих органів із повним чи частковим обертанням вирізаної скиби, тоді як чизельні глибокорозпушувачі забезпечують розпушування ґрунту без обертання скиби із утворенням незруйнованих гребенів на дні борозни (недоріз скиби). Для усунення вказаного недоліку ряд дослідників [6-14] додатково на стояку чизельних лап пропонують встановлювати різні активатори у вигляді закрилок, крил чи інших елементів, які деформують ґрунт, переважно у горизонтальній площині, і залежно від глибини їх розміщення відносно долота, можуть або ж підрізати коріння рослин (встановлені близько до поверхні), або ж частково вирівнювати дно борозни (розміщені близько до носка долота). Незважаючи на прагнення розробників за рахунок вдосконалення конструкції чизельних лап шляхом встановлення додаткових вертикальних деформаторів для часткового вирівнювання дна борозни, саме нерівномірний обробіток такими робочими органами за глибиною не дозволяє повноцінно використати раціональну формулу В.П. Горячкіна (1) для визначення тягового опору глибокорозпушувачів.

Постановка завдання. Виходячи із наведеного, метою даної роботи є дослідження впливу конструктивно-технологічних параметрів робочих органів глибокорозпушувача на тяговий опір і оцінка витрат пального залежно від компоновки агрегату та набору робочих органів під час роботи комбінованих чизельних агрегатів.

Виклад основного матеріалу. На кафедрі сільськогосподарського машинобудування Центральноукраїнського національного технічного університету розроблено конструкцію комбінованого чизельного глибокорозпушувача [10-19] (рис. 1), який призначено для розпушування важких та середніх ґрунтів, як у весняний, так і осінній період та часткового закриття в ґрунт органічних та мінеральних добрив. Залежно від конструктивної ширини захвату глибокорозпушувач може агрегуватися з тракторами тягового класу від 2 до 5. За способом агрегування комбінований чизельний глибокорозпушувач є начіпною машиною, яка здатна якісно виконувати технологічний процес на полях з нахилом місцевості до 8° , на ґрунтах при вологості до 27% та твердості до 5 МПа. Глибокорозпушувач має оригінальну зварну раму високої жорсткості з пустотілих брусів та металевих пластин з трирядним нерівномірним розташуванням робочих органів. З'єднання чизеля з трактором виконується за допомогою триточкової навісної системи.



- 1 – рама; 2 – лапа чизельна; 3 – механізм регулювання глибини; 4 – спарені зубчасті котки;
5 – гвинтова стяжка; 6 – кронштейн кріплення котка

Рисунок 1 – Загальний вигляд комбінованого чизельного глибокорозпушувач
Джерело: розроблено авторами з використанням [1-9]

Основні робочі органи глибокорозпушувача – чизельні лапи з шириною захвату долота 50 мм, які мають індивідуальне кріплення та можуть розпушувати ґрунт на глибину до 60 см. Зуб, розташований в передній частині стояка, забезпечує перерізання крупних грудок, які можуть відриватися від суцільного ґрунтового масиву долотом. Плоскорізальні крила, закріплені по боках стояків, також призначені для додаткового розпушування ґрунту, можуть установлюватися на різній відстані від долота залежно від заданої глибини обробітку та їх функціонального призначення.

Додаткові робочі органи чизельного глибокорозпушувача-удобрювача – зубчасті котки 4, які виконують кілька функцій, а саме – інтенсивне розпушування та вирівнювання попередньо зрушеного лапами ґрунту та виконання функцій опорного елемента для встановлення глибини обробітку основними робочими органами – чизельними лапами. Зубчасті котки розташовані позаду чизельних лап на всю ширину машини. Гвинтова стяжка 5 регулювання положення котків, залежно від задач обробітку та стану ґрунту, дозволяє змінювати інтенсивність роботи кожного з котків, змінюючи їх взаємне положення в вертикальній площині. Переведення чизеля з робочого в транспортне положення здійснюється з кабіни гідросистемою трактора.

Механізмом регулювання глибини ходу є гвинтова пара 3. Під час закручування або викручування цих гвинтів змінюється положення котків при роботі відносно рами. Один повний оберт гвинта відповідає зміні глибини обробітку ґрунту на 15 мм.

Проведено ряд теоретичних та експериментальних досліджень розробленого чизельного агрегату [12-19], які підтверджують його високу ефективність роботи, проте питання зміни тягового опору та витрат енергії на глибокий безполицевий обробіток залишається вивченим недостатньо.

Авторами запропоновано визначити площу поперечного перерізу скиби, яку обробляє чизельна лапа, та підставити її в формулу В.П. Горячкіна, що дозволить розрахувати тяговий опір чизельного глибокорозпушувача. В такому випадку формулу (1) можна записати наступним чином

$$R_x = f \cdot G + F(k_0 \cdot n + \varepsilon \cdot n \cdot V^2),$$

де F – площа перерізу обробленого ґрунту у поперечно-вертикальній площині. Ця площа є сумою площ прямокутника від проекції виступаючої частини долота на поперечно-вертикальну площину та трапеції, обмеженої проекціями бокових крил чизельної лапи:

$$F = l_\delta \cdot b_\delta + \frac{1}{2}(b_\delta + b_\kappa)(l_\kappa - l_\delta),$$

де l_δ , l_κ , b_δ , b_κ – проекції довжини і ширини виступаючої частини долота і крил відповідно.

Тоді з врахуванням обробленої площі ґрунту однією чизельною лапою з крилами загальна формула для визначення тягового опору має вигляд:

$$R_x = f \cdot G + \left(l_\delta \cdot b_\delta + \frac{1}{2}(b_\delta + b_\kappa)(l_\kappa - l_\delta) \right) (k_0 \cdot n + \varepsilon \cdot n \cdot V^2).$$

З іншої точки зору, на основі цієї ж раціональної формули В.П. Горячкіна для відвальних плугів та її інтерпретації В.В. Труфанова для плоскорізних знарядь [7], яка враховує лише суму статичних сил і сил тертя була доповнена динамічна складова. Після проведення перетворень отримано рівняння опору чизельного робочого органу із прямим стояком і додатковими горизонтальними деформаторами, що враховує нормальні сили, сили тертя, швидкість руху МТА і інші фактори:

$$\begin{aligned} R_x = & \sum (N_\Gamma + N_C + N_\kappa) + \\ & + \sum [fG + f_1(N_\Gamma + N_C + N_\kappa) + 2f_B(R_{\Gamma B} + R_{BC} + R_{BK})] + \\ & + (K + \varepsilon_D V^2 + \varepsilon_K V^2)(Bh_B + Sh_D + Sh_K), \end{aligned}$$

де N_Γ – горизонтальні складові сил, що діють на долото;

N_C, N_K – опори переміщення стояка і крил відповідно (лобовий опір);

fG – сила тертя по дну борозни;

$f_1(N_G + N_C + N_K)$ – горизонтальна складова сил тертя від нормальних сил;

$2f_B(R_{GB} + R_{BC} + R_{BK})$ – горизонтальні та бокові складові сил тертя на бокових площинах долота стояка та крил відповідно;

K – коефіцієнт, який характеризує здатність ґрунту протидіяти деформації;

$\varepsilon_D, \varepsilon_K$ – коефіцієнти, що залежать від форми робочої поверхні долота і крил відповідно, властивостей і розміру ґрунтового перетину, що деформується відповідними елементами;

$Bh_B + Sh_D + Sh_K$ – сума активних площ стояка, долота і крил.

З метою експериментального вивчення впливу конструктивно-технологічних параметрів глибокорозпушувача на тяговий опір проводили його вимірювання за різних умов роботи методом прямого динамометрування. Результати замірів представлені у вигляді тривимірного графіку взаємного впливу обраних параметрів на питомий опір (рис. 2). Отримані результати доводять, що збільшення глибини обробки забезпечує підвищення тягового опору, незалежно від відстані між робочими органами. Зважаючи на проведені експерименти можна відмітити, що рекомендовані значення питомого опору, за умов забезпечення заданої якості, перебувають у діапазоні 14...16 кН/м, що для глибини чизелювання 30...40 см забезпечується при відстані між робочими органами 50...60 см.

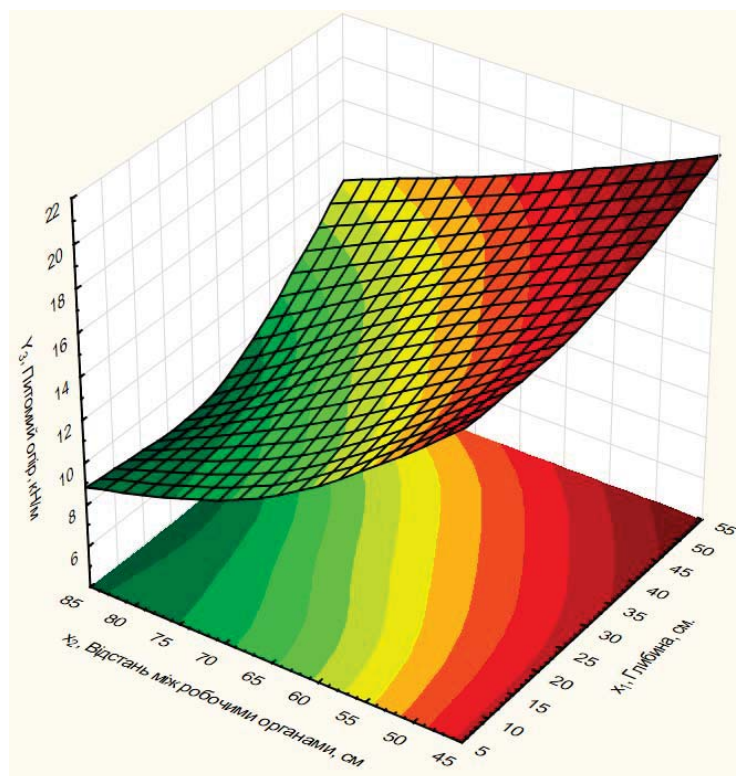


Рисунок 2 – Графік впливу глибини обробки і відстані між робочими органами на питомий опір
Джерело: розроблено авторами

Суттєвим показником ефективності роботи ґрунтообробного агрегату є його витрати пального за умов забезпечення агротехнічних вимог до операції. Проведені заміри витрат пального під час використання комбінованих чизельних глибокорозпушувачів розробки ЦНТУ, при їх роботі в складних ґрунтових умовах [19] та проведено порівняння цих витрат із іншими агрегатами аналогічного призначення. Слід відмітити, що середні витрати пального агрегатів як на основі вітчизняних тракторів типу ХТЗ, ЮМЗ, так і закордонних John Deere, New Holland, із розробленими глибокорозпушувачами різної ширини захвату при глибині роботи 35...40 см із середнім якісним показником кришення ґрунту 70...75% в умовах важких і середніх суглинків із ущільненою підорною підшовою не перевищували 18...20 л/га. В той час, як ґрунтообробні агрегати на базі глибокорозпушувачів Gaspardo Artiglio, які являються одними з кращих існуючих закордонних машин на вітчизняному ринку сільськогосподарської техніки, при глибині роботи 30...35 см витрачали 20...24 л/га пального, причому якісний показник їх роботи в умовах Центральної України не перевищував 55...60%.

Висновки:

1. Для комплексної оцінки якісних показників роботи, витрат енергії, ефективного агрегування, пошуку раціональних конструкцій та набору робочих органів комбінованих чизельних глибокорозпушувачів проводяться відповідні теоретико-експериментальні дослідження, хоча ряд питань залишаються не вивченими.

2. Для більш ефективного визначення тягового опору комбінованого чизельного глибокорозпушувача запропоновано визначити площу поперечного перерізу скиби, яку обробляє чизельна лапа з врахуванням її додаткових конструктивних елементів (долота і крил).

3. На основі формули Труфанова для плоскорізних знарядь, яка враховує лише суму статичних сил і сил тертя була доповнена динамічна складова, отримано рівняння опору чизельного робочого органу із прямим стояком і додатковими горизонтальними деформаторами, що враховує нормальні сили, сили тертя, швидкість руху МТА і інші фактори.

4. Керуючись отриманими експериментальними даними можна стверджувати, що рекомендовані значення питомого опору, за умов забезпечення заданої якості, перебувають у діапазоні 14...16 кН/м, що для глибини чизелювання 30...40 см забезпечується при відстані між робочими органами 50...60 см.

5. Середні витрати пального агрегатів як на основі вітчизняних тракторів типу ХТЗ, ЮМЗ так і закордонних John Deere, New Holland, із розробленими глибокорозпушувачами різної ширини захвату при глибині роботи 35...40 см із середнім якісним показником кришення ґрунту 70...75% на переущільнених ґрунтах із ущільненою підорною підшовою не перевищували 18...20 л/га.

Список літератури

1. Пашенко В.Ф., Корниенко С.И., Гусаренко Н.П. Теория воздействия рабочих органов орудий на почву: монография. Харьков : ХНАУ, 2013. 90 с.
2. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив: навч. посіб. для студ. агротехн. спец. / Сало В.М. та ін. Харків: Мачулін, 2016. 244 с.
3. Вітчизняне технічне забезпечення сучасних процесів у рослинництві / В.М. Сало, Д.В. Богатирьов, С.М. Лещенко, М.І. Савицький. *Техніка і технології АПК*, 2014. № 10 (61). С. 16-19.
4. Панов И.М., Ветехин В.И. Физические основы механики почв: монография. Киев: Феникс, 2008. 266 с.

5. Сало В.М., Лещенко С.М., Пашинський В.А., Ярових Р.В. Аналіз процесів чизелювання ґрунтів з застосуванням різних комбінацій робочих органів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* Кіровоград, 2015. Вип. 45, Ч.1. С. 126-132.
6. Борисенко И.Б. Совершенствование ресурсосберегающих и почвозащитных технологий и технических средств обработки почвы в острозасушливых условиях нижнего Поволжья: дис...д-ра техн. наук: 05.20.01. Волгоград, 2006. 402 с.
7. Руденко Н.Е. Механизация обработки почвы: учебное пособие. Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2005. 112 с.
8. Божко, И.В., Пархоменко Г.Г. Особенности безотвальной посллойной обработки почвы в засушливых условиях. *Агротехника и энергообеспечение: научно-практический журнал.* Орел, 2014. № 1(1). С. 25 – 30.
9. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини : теоретичні основи, конструкція, проектування: підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машини та обладнання с.-г. вир-ва». Кн. 1: Машини для рільництва / За ред. М.І. Чорновола. Київ: Урожай, 2001. 384 с.
10. Лещенко С.М., Сало В.М. Технічне забезпечення збереження родючості ґрунтів в системі ресурсозберігаючих технологій. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* Кіровоград, 2013. Вип. 43, ч.1. С. 96-102.
11. Лещенко С. В. Сало, А. Васильковский Состояние вопроса и перспектива интенсификации работы чизельных орудий с целью сохранения естественного плодородия. *MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery.* Vol. 16 - №2, Lublin – Rzeszów: Polish Academy of Sciences, 2014. P. 195–201.
12. Leschenko S., Salo V., D. Petrenko 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.* Кіровоград, 2014. Вип. 44. С. 237-243.
13. Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І. Експериментальна оцінка якості роботи комбінованого чизеля з додатковими горизонтальними та вертикальними деформаторами. *Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка.* Харків, 2015. Вип. 156. С. 25–34.
14. Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І., Лісовий І.О. Вплив конструктивних параметрів чизельної лапи глибокорозпушувача на деформацію ґрунту. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти.* Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. Вип. 4. С. 115-124.
15. Сало В., Лещенко С. Технічне забезпечення процесів глибокого розпушування ґрунту. *Пропозиція: укр. журн. з питань агробізнесу: інформ. щомісяч.,* 2015. № 10. С.122-124.
16. Лещенко С.М., Сало В.М. Обґрунтування доцільності проведення глибокого чизельного рихлення на переущільнених та ерозійно-небезпечних ґрунтах. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровогр. нац. техн. ун-ту.* Кіровоград: КНТУ, 2015. Вип. 28. С. 181-186.
17. Vasylykowska K.V., Leshchenko S.M., Vasylykovskiy O.M., Petrenko D.I. Improvement of equipment for basic tillage and sowing as initial stage of harvest forecasting. *INMATEH-Agricultural Engineering.* 2016. Vol.50, No.3. P.13-20 ref.18.
18. Лещенко С. М., Сало В. М. Шляхи підвищення ефективності роботи комбінованих чизельних ґрунтообробних знарядь з додатковими деформаторами. *Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодерж. зб.* Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2016. Вип. №4 (103). С. 31-37.
19. Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І. Оцінка енергоємності глибокого обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровогр. нац. техн. ун-ту.* Кропивницький: КНТУ, 2018. Вип. 31. С. 10–20.

References

1. Pashchenko, V.F., Korniyenko, N.P, Husarenko, S.Y. (2013). Teoryia vozdeistviya rabochykh orhanov orudyi na pochvu. [Theory of the impact of the working bodies of guns on the soil.]. Kharkov : KhNAU [in Russian].

2. Salo, V.M., Leshchenko, S.M., Luzan, P.H., Machok, Yu.V., Bohatyrov, D.V. (2016). Mashyny dlia obrobittu gruntu ta vnesennia dobryv. [Machines for cultivating soil and fertilizing]. Kharkiv : Machulin [in Ukrainian].
3. Salo, V.M., Bohatyrov, D.V., Leshchenko, S.M., Savytskyi, M.I. (2014). Vitchyzniane tekhnichne zabezpechennia suchasnykh protsesiv u roslynnytstvi [Domestic technical support of modern processes in plant growing] *Tekhnika i tekhnolohii APK. Doslidnytske: UKRNDIPVT im. L. Pohoriloho, Vol. 10 (61)*, 16-19 [in Ukrainian].
4. Panov, Y.M., Vetokhyn, V.Y. (2008). Fyzycheskye osnovy mekhanyky pochv. [Physical bases of soil mechanics]. Kiev: Fenyks [in Russian].
5. Salo, V.M., Leshchenko, S.M., Pashynskyi, V.A., Yarovykh, R.V. (2015). Analiz protsesiv chyzeliuvannia gruntiv z zastosuvanniam riznykh kombinatsii robochykh orhaniv [Analysis of the processes of chiseling soils with the use of various combinations of working bodies]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn. Zahalnoderzhavnyi mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. Kirovohrad, Vol. 45, Ch.1*, 126-132 [in Ukrainian].
6. Borysenko, Y.B. (2006). Sovershenstvovanye resursosberehaiushchykh y pochvozaschytynikh tekhnolohiy y tekhnicheskyykh sredstv obrabotky pochvi v ostrozashlyvnykh usloviyakh nyzhneho Povolzhia [Improving resource-saving and soil-protective technologies and technical means of tillage in the arid dry conditions of the lower Volga region]. Doctor's thesis. Volhohrad [in Russian].
7. Rudenko, N.E. (2005). Mekhanyzatsiia obrabotky pochvi [Mechanization of soil tillage]. Stavropol: Yzd-vo StHAU «AHRUS» [in Russian].
8. Bozhko, Y.V., Parkhomenko, H.H. (2014). Osobennosti bezotvalnoi posloinoi obrabotky pochvi v zasushlyvnykh usloviyakh [Features of the soilless layered tillage in dry conditions]. *Ahrotekhnika y enerhoobespechenye: Nauchno-praktycheskyi zhurnal, Vol. 1(1)*, 25-30 [in Russian].
9. Sysolin, P.V., Salo, V.M., Kropivnyi, V.M. (2001). Silskohospodarski mashyny: teoretichni osnovy, konstruktsiia, proektuvannia [Agricultural machines: theoretical foundations, design, design]. Kn. 1: Mashyny dlia rilnytstva. Kyiv: Urozhai [in Ukrainian].
10. Leshchenko, S.M., Salo, V.M. (2013). Tekhnichne zabezpechennia zberezhennia rodiuchosti gruntiv v systemi resursozberihaiuchykh tekhnolohii [The technical providing maintainance of fertility soils is in the system of keepings technologies]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn. Zahalnoderzhavnyi mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. Kirovohrad, Vol. 43, ch.1*, 96-102 [in Ukrainian].
11. Leshchenko, S., Salo, V., Vasytkovskiy, A. (2014). Sostoianye voprosa i perspektyva intensyfykatsyy raboty chyzelnikh orudiy s tseliu sokhraneniya estestvennoho plodorodyia [Condition of the question and perspective of the intensification of work of diesel tools for the purpose of preserving natural fertility]. *MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery, Vol. 16, 2*, 195–201 [in Russian].
12. Leshchenko, S., Salo, V., Petrenko, D. (2014). Experimental estimate of the efficiency of basic tilling by chisel equipment in the conditions of soil. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn. Zahalnoderzhavnyi mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk, Vol. 44*, 237-243 [in English].
13. Leshchenko, S.M., Salo, V.M., Petrenko, D.I. (2015). Eksperymentalna otsinka yakosti roboty kombinovanoho chyzelia z dodatkovyimi horyzontalnymi ta vertykalnymi deformatoramy [Experimental performance evaluation chisel combined with extra horizontal and vertical warp]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu im. P. Vasylenka, Vol. 156*, 25–34 [in Ukrainian].
14. Leshchenko, S.M., Salo, V.M., Petrenko, D.I., Lisovyi, I.O. (2016). Vplyv konstruktivnykh parametriv chyzelnoi lapy glybokorozpushuvacha na deformatsiiu gruntu [Influence of design specifications of chisel shank of a deep tiller on soil deformation]. *Visnyk Ukrainського viddilennia Mizhnarodnoi akademii ahrarnoi osvity, Vol. 4*, 115-124 [in Ukrainian].
15. Salo, V., Leshchenko, S. (2015). Tekhnichne zabezpechennia protsesiv hlybokoho rozpushuvannia gruntu [Technical support processes of deep soil loosening]. *Propozytsiia: ukrainskyi zhurnal z pytan ahrobiznesu. Informatsiinyi shchomisachnyk, Vol.10*, 122-124 [in Ukrainian].
16. Leshchenko, S.M., Salo, V.M. (2015). Obgruntuvannia dotsilnosti provedennia hlybokoho chyzelnoho rykhlennia na pereushchilnennykh ta eroziino-nebezpechnykh gruntakh [Justification feasibility of deep loosening on chisel compaction and erosion-hazardous soils]. *Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyziatsiia, Vol. 28*, 181-186 [in Ukrainian].

17. Vasylovskaya, K.V., Leshchenko, S.M., Vasylovskiy, 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, 3*, 13-20 [in English].
18. Leshchenko, S.M., Salo, V.M. (2016). Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti roboty kombinovanykh chyzelnykh gruntoobrobnykh znariad z dodatkovymy deformatoramy [The ways of improvement of the operation efficiency of combined chisel tilling equipment with additional deformers]. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva: [zahalnodержавnyi zbirnyk], Vol. 4 (103)*, 31-37 [in Ukrainian].
19. Leshchenko, S.M., Salo, V.M., Petrenko, D.I. (2018). Otsinka enerhoiemnosti hlybokoho obrobittu gruntu kombinovanykh chyzelnymy hlybokorozpushuvachamy [Assessment of energy intensity of deep cultivation of soil by combined chisel deep tillers]. *Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia, Vol. 31*, 10–20 [in Ukrainian].

Sergiy Leshchenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vasyl Salo**, Prof., DSc., **Dmytro Petrenko**, Assos. Prof., **PhD** tech. sci., **Oleksii Vasylovskiy**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Influence of Structural and Technological Parameters of the Operating Elements of a Deep Tiller on Ploughing Resistance

The influence of structural and technological parameters of operating elements of combined deep tillers on the ploughing resistance of the components has been assessed in the article.

The objective of the work is to study the influence of the structural and technological parameters of the operating elements of a deep tiller on the ploughing resistance and the estimation of fuel consumption, depending on the configuration of the unit and the set of operating elements during the operation of the combined chisel assemblies.

It has been proved that the application of Goryachkin's rational formula for the analytical determination of the ploughing resistance of deep tillers, in its traditional presentation, is inappropriate, since chisel components undertake a fundamentally different technological operation in comparison with the moldboard plow. The methodology of identification of the ploughing resistance of chisel devices, taking into account deformation zones from constructive elements of chisel tips, was suggested. We received the equation of the resistance of a chisel operating element with the direct stand and additional horizontal deformers, taking into account normal forces, frictional forces, speed of the machine and tractor assembly, and other factors.

On the basis of the experimental data, the influence of some structural elements of the deep tiller on the specific resistance of soil was analyzed and the fuel consumption has been estimated depending on the assembly of the device.

ploughing resistance, Goryachkin's rational formula, chisel deep tiller, additional deformers, fuel consumption

Одержано (Received) 12.10.2018

Прорецензовано (Reviewed) 20.11.2018

Прийнято до друку (Approved) 20.12.2018