

УДК 631.312; 631.316.22

С.М. Лещенко, доц., канд. техн. наук, В.М. Сало, проф., д-р техн. наук,
Д.І. Петренко, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,
Україна, E-mail: serafsgm@ukr.net*

Оцінка енергоємності глибокого обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами

В роботі проводиться оцінка енергоємності основного обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами. Доводиться, що незважаючи на значну кількість досліджень у напрямку скорочення витрат енергії на основний обробіток ґрунту, питання залишається актуальним, а з врахуванням необхідності впровадження ґрунтозахисних технологій, найбільш доцільним є оптимізація енерговитрат при проведенні безполицевого обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами.

В результаті проведених досліджень доведено можливість скорочення енерговитрат на основний обробіток ґрунту при використанні комбінованих чизельних глибокорозпушувачів із додатковими деформаторами за умови їх ефективного агрегативання з енергетичними засобами. Спираючись на результати практичного використання таких агрегатів розроблені рекомендації щодо їх подальшого використання та вдосконалення

енергоємність обробітку ґрунту, комбінований чизельний глибокорозпушувач, витрати пального, тяговий опір, ґрунтозахисні технології

В.М. Сало, проф., д-р техн. наук, С.Н. Лещенко, доц., канд. техн. наук, Д.І. Петренко, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Оценка энергоёмкости глубокой обработки почвы комбинированными чизельными глубокорыхлителями

В работе проводится оценка энергоёмкости основной обработки почвы комбинированными чизельными глубокорыхлителями. Доказывается, что несмотря на значительное количество исследований в направлении сокращения затрат энергии на основную обработку почвы, вопрос остается актуальным, а с учетом необходимости внедрения почвозащитных технологий, наиболее целесообразным является оптимизация энергозатрат при проведении безотвальной обработки почвы комбинированными чизельными глубокорыхлителями.

В результате проведенных исследований, доказана возможность сокращения энергозатрат на основную обработку почвы при использовании комбинированных чизельных глубокорыхлителей с дополнительными деформаторами, при условии их эффективного агрегативания с энергетическими средствами. Опираясь на результаты практического использования таких агрегатов, разработаны рекомендации по их дальнейшему использованию и усовершенствованию.

энергоёмкость обработки почвы, комбинированный чизельный глубокорыхлитель, расход топлива, тяговое сопротивление, почвозащитные технологии

Постановка проблеми. Актуальним питанням сьогодення є зменшення витрат на вирощування сільськогосподарської продукції. Зважаючи на той факт, що витрати енергії є найвищими на операціях основного обробітку ґрунту, а під час вирощування окремих культур, таких як соняшник, кукурудза, картопля, цукрові буряки, ріпак та ін., витрати на проведення основного обробітку ґрунту можуть досягати 25...35% загальних енерговитрат на технологію вирощування, проблема енергозбереження стає ще більш гострою. Ще більшої актуальності енергетика процесу глибокого обробітку

грунту набуває під час впровадження технологій безполицевого розпушування, оскільки ці операції позиціонуються не лише як основи ґрунтозахисного землеробства, а й мають забезпечувати принципи зниження енергоємності процесу. З іншої сторони, під час комплектування агрегатів для основного обробітку ґрунту у складі енергетичних засобів та глибокорозпушувачів, до цих пір відсутні чіткі рекомендації відносно узгодженості тягового класу трактора та ширини захвату машини, витрат пального на обробіток ґрунту, диференціації набору робочих органів та загальної компоновки агрегату в залежності від зміни типу ґрунту та його фізико-механічних властивостей тощо. Тому оцінка енергоємності обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами є початковим етапом вирішення означеного переліку проблем.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Відомо, що найбільш вагомим фактором, який забезпечує створення оптимальних умов росту і розвитку рослин є механічний обробіток ґрунту. Проте, часті і глибокі обробітки щорічно призводять до втрати органічної речовини від 1 до 2%, яка має важливе значення для формування необхідних фізико-механічних властивостей, структури ґрунту та інших факторів родючості [1].

Ряд дослідників доводять [2-6], що проведення багатократного механічного обробітку ґрунту, з однієї сторони, дозволяє забезпечити максимальне знищення бур'янів, але з іншої – суттєво погіршує структуру і сприяє загальному ущільненню орного горизонту, що вимагає здійснення додаткових операцій обробітку, а отже, супроводжується збільшенням витрат енергії. На основі цього П.Г. Семихненко робить висновок про те, що чим більше ґрунт обробляється, тим більше він потребує обробітку [2]. Тому при виборі виду обробітку ґрунту, типу машини чи знаряддя, конструктивних особливостей робочих органів та їх поєднань, параметрів налаштувань ґрунтообробних агрегатів і режимів роботи, насамперед необхідно виходити із умов, що забезпечують агрофізичні та інші властивості ґрунтів.

Сьогодні відвальна оранка хоч і відноситься до найбільш ерозійно небезпечних та енергозатратних операцій обробітку ґрунту, все ж залишається найпоширенішою операцією основного обробітку на теренах нашої держави. Незважаючи на значну кількість досліджень, що спрямовані не лише на вдосконалення технологічного процесу оранки, але й зниження енергоємності цієї операції, та після аналізу шляхів вдосконалення плугів В.А. Сакун [3] дійшов до висновку щодо необхідності створення принципово нових ґрунтообробних машин і знарядь. Виходячи з міркувань збереження родючості ґрунтів, зменшення втрат органічної речовини, покращення інфільтраційних властивостей та зниження проявів вітрової і водної ерозій поступовий перехід від традиційних способів обробітку у вигляді відвальної оранки до технологій глибокого безполицевого обробітку можуть служити початком впровадження системи ґрунтозахисного енергоощадного землеробства.

З практичної точки зору, витрати енергії на обробіток ґрунту виражаються витратами пального. Проте витрати пального на ґрунтообробку в значній мірі залежать не тільки від типів робочих органів і знарядь, але і від типу та фізико-механічних властивостей ґрунту. Так, наприклад, питома робота (кДж/м³) під час оранки полицевим плугом складає: на піщаних ґрунтах – 30±5, на важкоглинистих 120±20; для чизельних знарядь при тих самих умовах – 20±4 та 80±10 кДж/м³, що фактично підтверджує факт зниження витрат під час глибокого безполицевого обробітку ґрунту у 1,5 рази порівняно із оранкою [7].

В залежності від спеціалізації господарств витрати дизельного пального на оранку під час виробництва продукції рослинництва знаходяться в межах 20...60% від

загальної річної потреби на здійснення польових робіт [7]. При цьому на підготовку ґрунту і посів припадає 62...64% загальних енерговитрат. Витрати дизельного пального на ґрунтообробку для різних машин і знарядь зведено в таблицю 1.

Таблиця 1 – Витрати дизельного пального на ґрунтообробку для різних машин і знарядь

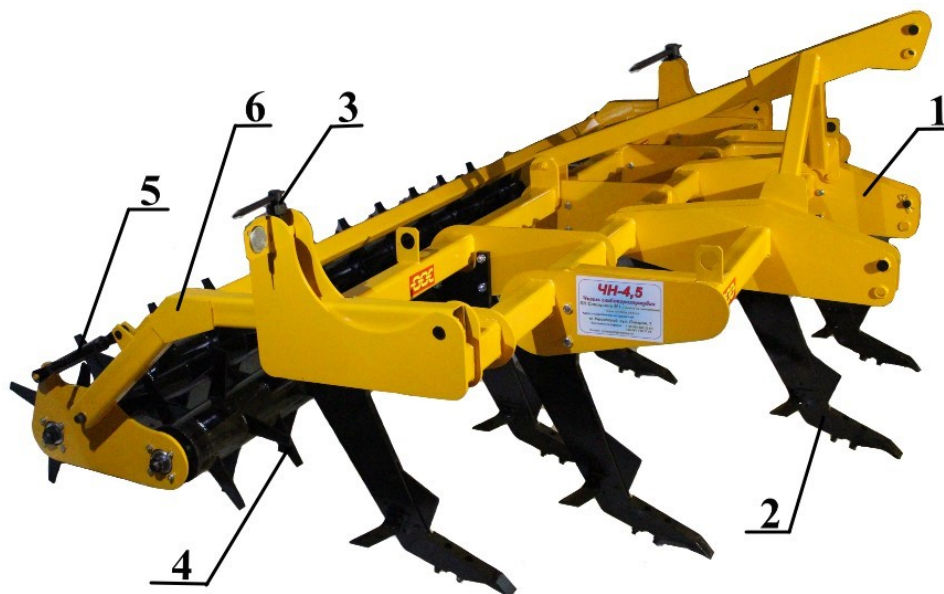
Машина, знаряддя	Витрати, л/га	Машина, знаряддя	Витрати, л/га
Плуг полицевий	25±7	Культиватор легкий	8±1
Плуг дисковий	22±5	Культиватор важкий	10±2
Чизельні глибокорозпушувачі:		Дискова борона:	
- з прямими стояками	15±2	- важка	9±3
- з похилими стояками	12±2	- легка	7±2
Віброкультиватор	6±1	Культиватор роторний	20±4
Голчаста борона (типу БИГ-3)	4±1	Комбінований агрегат для оранки і передпосівного обробітку	24±6

Зміна геометричних параметрів робочих органів неминуче пов'язана із дилемою «тяговий опір – якість обробітку». Цілком очевидно, що зниження тягового опору, як правило, приводить до погіршення якості обробітку ґрунту і навпаки, а тому при проектуванні ґрунтообробних робочих органів необхідно чітко визначитися з їх домінуючими характеристиками. Поєднання високої якості обробітку при низькому тяговому опорі досягається досить рідко, а вирішенням даної проблеми пов'язано із комбінуванням окремих робочих поверхонь на одному стояку чи рамі на стадіях проектування [8].

Робочі органи щілинорізів працюють в умовах блокованого різання, а чизельних глибокорозпушувачів і культиваторів – блокованого, напіввільного і вільного різання. Якраз вид різання ґрунту робочими органами і спосіб їх розстановки на рамі машин має вирішальний вплив на тяговий опір, а отже і на витрати пального. Під час розміщення робочих органів на рамі чизельного знаряддя необхідно виходити з того, щоб якомога менша кількість лап працювала в умовах блокованого різання. Енергоємність роботи чизельних лап в умовах блокованого, напіввільного і вільного різання відносяться як 100:70:50% [9]. Тому раціональне розміщення робочих органів на рамі чизельного знаряддя дозволяє значно зменшити витрати пального за умови забезпечення необхідної якості операцій.

Постановка завдання. Виходячи із наведеного, метою даної роботи є оцінка енергоємності глибокого обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами, шляхом аналітичного дослідження силової взаємодії запропонованого знаряддя і практичного аналізу витрат пального в залежності від компоновки агрегату та набору робочих органів.

Виклад основного матеріалу. Для проведення оцінки енергоефективності чизельного обробітку ґрунту на кафедрі сільськогосподарського машинобудування Центральноукраїнського національного технічного університету після аналізу існуючих конструктивних рішень робочих органів і схем компоновки глибокорозпушувачів, враховуючи основні сучасні тенденції вдосконалення ґрунтообробних агрегатів, запропоновано вдосконалену схему комбінованого чизельного глибокорозпушувача (рис. 1).



1 – рама; 2 – лапа чизельна; 3 – регулювальний механізм; 4 – спарений зубчастий коток; 5 – гвинт;
6 – механізм кріплення котка

Рисунок 1 – Комбінований чизельний глибокорозпушувач

Основним робочим органом розробленої машини є чизельна лапа 2 (рис. 1), що складається з стояка, до якого закріплені долото, зуб та крила. Допоміжним робочим органом, який виконує опорну функцію та забезпечує заробку рослинних решток з їх перемішуванням на глибину 15-20 см, може бути спарений зубчастий коток. Залежно від зовнішніх умов, наявності і кількості крупних брил та рослинних решток за рахунок зміни положення гвинта 5 регулюється інтенсивність перемішування і подрібнення часток ґрунту та органіки після чизелювання.

Під час рихлення ґрунту чизельною лапою долото сколює моноліти ґрунту, зуб інтенсивно подрібнює брили і відводить їх від стояка, а крила, крім підрізання бур'яну, додатково кришать ґрунт, та залежно від їх місця розміщення на стояку, можуть зменшувати нерівності дна борозни. Відносно дна борозни зміна положення крил відбувається шляхом фіксації останніх гвинтами у відповідному місці на стояку [3-6].

Попередні випробування, експериментальні та теоретичні дослідження доводять, що запропонований глибокорозпушувач, незважаючи на свою просту конструкцію, є більш адаптованим до дійсних умов роботи, а саме важких чорноземів центральної України, проте енергетична оцінка його роботи, як і роботи інших подібних знарядь, потребує вивчення та пошуку шляхів оптимізації енерговитрат [12-21].

Аналізуючи зони розпушування ґрунту у фронтальній площині (рис. 2), можна встановити залежність окремих геометричних параметрів робочих органів, виходячи із їх розміщення (рис. 3). Враховуючи кут сколювання ґрунту (у середньому $\psi_{ск} = 45^\circ$) при $B < 2H$ коли $H < H_2$, висота незруйнованих підґрунтових гребнів $h_{зр} = H_2 - H_1 = 0,5 \cdot B$, а товщина суцільного розпушування верхнього шару $H_1 = H_2 - 0,5B$.

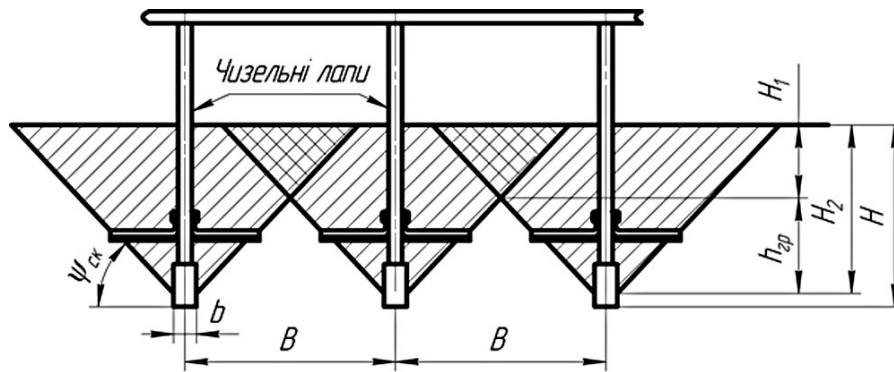


Рисунок 2 – Профіль зони деформації ґрунту робочими органами чизеля

Отже, зміною відстані між робочими органами по ходу машини можна домогтися значного поліпшення якісних показників процесу розпушування. Все це дає змогу виконувати різні види обробітку ґрунту: при $B > 2H$ виконуються роботи по щільюванню поля та утворенню кротодренажних мереж, при $B < 2H$ – для основного безполицевого обробітку із заданою товщиною суцільного розпушування верхнього шару, а у поєднанні з попереднім поверхневим обробітком – для розпушування підорного шару.

Тяговий опір плугів прийнято визначати за формулою В.П. Горячкіна [11]:

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

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 $f = 0,4$ [10];

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 – $k_0 = 4 \dots 5$ Н/см² (40...50 кПа) [10];

a та b – відповідно глибина обробітку 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 $\varepsilon = 1500 \dots 2000$ Н·с²/м⁴ [10];

V – швидкість операції.

Дослідники відмічають [7-11], що чизель здійснює принципово інший технологічний процес обробітку ґрунту у порівнянні із плугом. Відмінність технологічного процесу полицевого плуга полягає в тому, що він забезпечує суцільне рихлення на повну глибину ходу робочих органів з обертанням скиби, в той час як чизельні глибокорозпушувачі проводять розпушування ґрунту без обертання скиби з утворенням незруйнованих гребенів над дном борозни (недоріз скиби). Саме ця принципова різниця і ускладнює використання раціональної формули В.П. Горячкіна (1) для визначення тягового опору глибокорозпушувачів, так як плуг повністю обробляє частину поля з площею поперечного перерізу $a \times b$. Якщо ж визначити площу поперечного перерізу скиби, яку обробляє безполицевий робочий орган, у даному випадку чизельна лапа, то підставивши її в формулу В.П. Горячкіна, можна розрахувати тяговий опір чизельного глибокорозпушувача.

Формулу (1) можна записати наступним чином

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

де F – площа перерізу обробленого ґрунту у поперечно-вертикальній площині.

Оброблена площа ґрунту чизельною лапою є сумою площ прямокутника від проекції виступаючої частини долота на поперечно-вертикальну площину та трапеції, обмеженої проекціями бокових крил чизельної лапи (рис. 3):

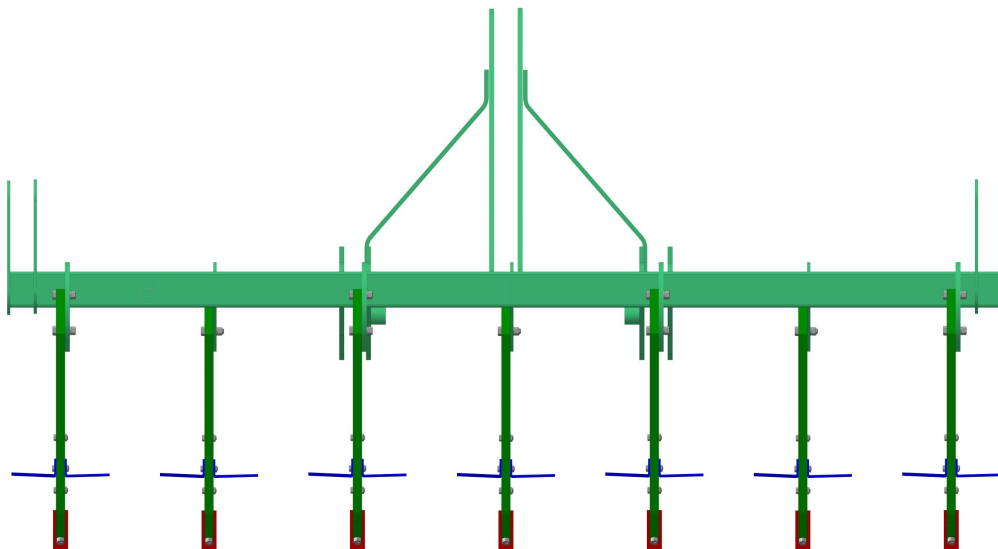


Рисунок 3 – Розміщення чизельних лап на рамі глибокорозпушувача у фронтальній площині

$$F = l_\delta \cdot b_\delta + \frac{1}{2}(b_\delta + b_k)(l_k - l_\delta), \quad (3)$$

де l_δ , l_k , b_δ , b_k – 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:

$$R_x = f \cdot G + \left(l_\delta \cdot b_\delta + \frac{1}{2}(b_\delta + b_k)(l_k - l_\delta) \right) (k_0 \cdot n + \varepsilon \cdot n \cdot V^2). \quad (4)$$

Результати практичного вимірювання тягового опору, зафіксовані традиційним динамометруванням, представлені у вигляді тримірної графіки взаємного впливу глибини обробки і відстані між робочими органами на питомий опір (рис. 4). Отримані результати дозволяють підтвердити, що збільшення глибини обробки неминуче приводить до зростання питомого опору, останнє спостерігається при будь-якій відстані між робочими органами. Однозначно можна констатувати, 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. Ці практичні рекомендації стосовно взаємозв'язку глибини обробки та відстані між робочими органами з їх взаємним впливом на питомий опір і були враховані при проектуванні сімейства комбінованих чизельних глибокорозпушувачів.

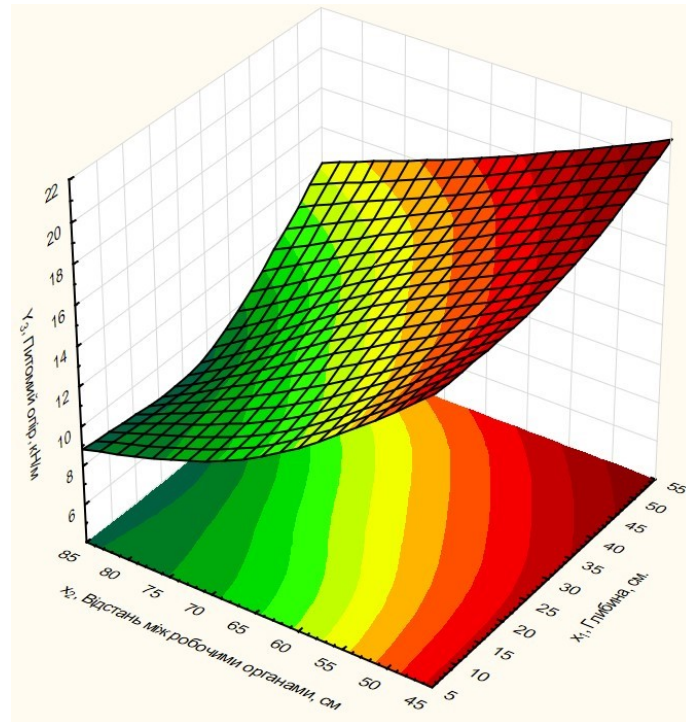


Рисунок 4 – Графік впливу глибини обробки і відстані між робочими органами на питомий опір

Дійсні витрати пального на основний безполицевий обробіток ґрунту глибокорозпушувачами оцінювали протягом 2012-2017 років під час роботи агрегатів на полях Кіровоградської, Черкаської, Вінницької та Полтавської областей. Переважний механічний склад ґрунту – важкий і середній суглинок. Твердість ґрунту за глибиною розміщення горизонтів в середньому складала 0...10 см – 15-30 кг/см²; 10...20 см – 25-60 кг/см²; 20...30 см – 50-95 кг/см². За показник оцінки ефективності роботи глибокорозпушувачів прийнято коефіцієнт якості кришення ґрунту, а тяговий опір оцінювали питомим опором. Інформація за даними виробників сільськогосподарської продукції в регіонах центральної України зведена в табл. 2.

Таблиця 2 – Витрати дизельного пального при обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами

№ п/п	Характеристика трактора	Потужність двигуна, к.с	Ширина захвату робочої машини, м	Глибина обробітку, см	Витрати пального, л/га
Глибокорозпушувачі ЧН вітчизняного виробництва (Набір робочих органів – чизельні лапи з плоскими крилами і зубами та спарені зубчасті котки)					
1	John Deere 7530	180	3,5	35	14...16
2	ХТЗ-2021	130	2,3	40	18...20
3	ХТЗ-240	240	2,5	55	18
4	К-700	300	3,5	40	19
5	МТЗ	105	1,5	55	15

Продовження таблиці 2

6	К-700 (двигун Renault)	400	3,5	35	17...20
7	New Holland	350	4,5	45	16...18
8	T-150 (двигун МАЗ)	238	2,5	35	20
9	К-700	300	3,5	35	19...20
Середні витрати пального					17,88
Глибокорозпушувачі Gaspardo Artiglio . За комплектацією робочих органів аналогічні з вітчизняними					
1	John Deere 8400	270	3,5	30...35	18...22

Аналіз даних за витратами пального (табл. 2), дозволяє відмітити, що незважаючи на складні ґрунтові умови, переущільнення ґрунту та наявність ущільненої підорної підшви, використання агрегатів на базі глибокорозпушувачів вітчизняного виробництва дозволить проводити обробіток ґрунту із середніми витратами пального близько 18 л/га, при глибині роботи 35 і більше см. Слід відмітити, що такі агрегати в змозі забезпечити середній якісний показник кришення ґрунту 70...75%. В свою чергу, ґрунтообробні агрегати на базі глибокорозпушувачів Gaspardo Artiglio при глибині роботи 30...35 см. витрачали до 22 л/га пального, якісний показник їх роботи не перевищував 55...60%. Якщо ж проводити аналогії із операціями традиційної відвальної оранки, то крім створення сприятливих умов для виникнення вітрової і водної ерозій та утворення ущільненої підорної підшви, витрати пального сягали 30...34 л/га. Суттєва відмінність у фактичних витратах пального (табл. 2) і витрат, встановлених попередніми дослідниками (табл. 1), що були актуальними на 2000-2010 рр., зайвий раз доводять, що відбувається стрімке переущільнення орного горизонту з утворенням ущільненої підорної підшви, а отже швидка деградація ґрунту, яка і призводить до втрати родючості і ускладнення механічного обробітку загалом.

Висновки. 1. Витрати пального на обробіток ґрунту можуть сягати 25...35% загальних витрат на реалізацію технологічних процесів у рослинництві. Зважаючи на необхідність збереження родючості ґрунтів, зменшення проявів ерозій, поліпшення інфільтраційних властивостей та зниження витрат енергії на основний обробіток ґрунту, доцільно проводити безвідвальне рихлення комбінованими чизельними глибокорозпушувачами, робота яких потребує оптимізації енерговитрат.

2. З метою використання раціональної формули В.П. Горячкіна (1) для визначення тягового опору глибокорозпушувачів, доцільно визначати площу поперечного перерізу скиби, яку обробляє чизельна лапа з врахуванням її додаткових конструктивних елементів (долота і крил).

3. На основі проведених досліджень 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 відстанню між робочими органами 50...60 см.

4. Глибокорозпушувачі типу ЧН вітчизняного виробництва, робочі органи яких мають в своєму складі чизельні лапи з плоскими крилами і зубами та спарені зубчасті котки, при роботі на ускладнених ґрунтах центральної України із середніми витратами пального близько 18 л/га, при глибині роботи 35 см і більше забезпечують якісний показник кришення ґрунту 70...75%.

Список літератури

1. Пашенко В.Ф. Теория воздействия рабочих органов орудий на почву [Текст]: Монография / В.Ф. Пашенко, С.И. Корниенко, Н.П. Гусаренко. – Харьков : ХНАУ, 2013. – 90 с.
2. Семихненко П.Г. Возделывание пропашных культур с минимальным числом оборотов [Текст] / П.Г. Семихненко // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1972. – № 2. – С. 31-36.
3. Машины для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей [Текст] / В.М. Сало, С.М. Лещенко, П.Г. Лузан, Ю.В. Мачок, Д.В. Богатирьов – Х.: Мачулін, 2016. – 244 с.
4. Сало В.М. Вітчизняне технічне забезпечення сучасних процесів у рослинництві [Текст] / В.М. Сало, Д.В. Богатирьов, С.М. Лещенко, М.І. Савицький // Техніка і технології АПК – Дослідницьке: УКРНДППВТ ім. Л. Погорілого, 2014 – № 10 (61) – С. 16-19.
5. Панов И.М. Физические основы механики почв [Текст] : Монография / И.М. Панов, В.И. Ветохин – К.: Феникс, 2008. – 266 с.
6. Сало В.М. Аналіз процесів чизелювання ґрунтів з застосуванням різних комбінацій робочих органів [Текст] / В.М. Сало, С.М. Лещенко, В.А. Пашиньський, Р.В. Ярових // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2015. – Вип. 45, Ч.1 – С. 126-132.
7. Борисенко И.Б. Совершенствование ресурсосберегающих и почвозащитных технологий и технических средств обработки почвы в остросушливых условиях нижнего Поволжья [Текст] : дис...доктора техн. наук: 05.20.01 / Борисенко Иван Борисович. – Волгоград, 2006. – 402 с.
8. Дроздов С.Н. Использование вынужденных колебаний для снижения тягового сопротивления почвообрабатывающих машин [Текст] / С.Н. Дроздов, И.З. Аширов, А.А. Сорокин, О.Я. Набокина // Известия ОГАУ. – 2013. - №1. – С. 46-48.
9. Руденко Н.Е. Механизация обработки почвы: Учебное пособие [Текст] / Н.Е. Руденко – Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС». – 2005. – 112 с.
10. Божко, И.В. Особенности безотвальной послойной обработки почвы в засушливых условиях [Текст] / И.В. Божко, Г.Г. Пархоменко // Агротехника и энергообеспечение: Научно-практический журнал – Орел. – 2014. – № 1(1). – С. 25 – 30.
11. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини : теоретичні основи, конструкція, проектування [Текст] : підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машины та обладнання с.-г. вир-ва». Кн. 1: Машины для рільництва./ За ред. М.І. Чорновола / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропівний. – К.: Урожай, 2001. – 384 с.
12. Лещенко С.М. Технічне забезпечення збереження родючості ґрунтів в системі ресурсозберігаючих технологій [Текст] / С.М. Лещенко, В.М. Сало // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2013. – Вип. 43, ч.1 – С. 96-102.
13. Лещенко С. Состояние вопроса и перспектива интенсификации работы чизельных орудий с целью сохранения естественного плодородия [Текст] / С. Лещенко, В. Сало, А. Васильковский // 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.
14. Leschenko S. Experimental estimate of the efficiency of basic tilling by chisel equipment in the conditions of soil [Text]/ S. Leschenko, V. Salo, D. Petrenko // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2014. – Вип. 44 – С. 237-243.
15. Лещенко С.М. Експериментальна оцінка якості роботи комбінованого чизеля з додатковими горизонтальними та вертикальними деформаторами [Текст] / С.М. Лещенко, В.М. Сало, Д.І. Петренко // Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка. – Харків, 2015. – Вип. 156 – С. 25–34.
16. Лещенко С.М. Вплив конструктивних параметрів чизельної лапи глибокорозпушувача на деформацію ґрунту [Текст] / С.М. Лещенко, В.М. Сало, Д.І. Петренко, І.О. Лісовий // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти – Вип. 4. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. – С. 115-124.
17. Сало В. Технічне забезпечення процесів глибокого розпушування ґрунту [Текст] / В. Сало, С. Лещенко // Пропозиція: український журнал з питань агробізнесу. Інформаційний щомісячник. – 2015. – № 10. – С.122-124.
18. Лещенко С.М. Обґрунтування доцільності проведення глибокого чизельного рихлення на переуцільнених та ерозійно-небезпечних ґрунтах [Текст] / С.М. Лещенко, В.М. Сало // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в

- сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Вип. 28. – Кіровоград: КНТУ, 2015 р. – С. 181-186.
19. Vasytkovska K.V. Improvement of equipment for basic tillage and sowing as initial stage of harvest forecasting [Text]/ Vasytkovska K.V.; Leshchenko S.M.; Vasytkovskyi O.M.; Petrenko D.I. // INMATEH-Agricultural Engineering. –Vol.50 No.3, 2016 – P.13-20 ref.18.
 20. Лещенко С. М. Шляхи підвищення ефективності роботи комбінованих чизельних ґрунтообробних знарядь з додатковими деформаторами [Текст] / С.М. Лещенко, В.М. Сало // Механізація та електрифікація сільського господарства: [загальнодержавний збірник]. – 2016. – Вип. №4 (103) / [ННЦ «ІМЕСГ»]. – Глеваха, 2016. – С. 31-37.
 21. Сало В.М. Нова конструкція чизельного глибокорозпушувача-удобрювача [Текст] / С.М. Лещенко, В.М. Сало, О.І. Шевченко // Сільськогосподарські машини: Зб. наук .ст. – Вип. 36. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2017. – С. 150-157.

References

1. Pashhenko, V.F., Kornienko, S.I. & Gusarenko, N.P. (2013). *Teorija vozdeystvija rabochih organov orudij na pochvu [Theory of impact of the working bodies of guns on the soil]*. Har'kov : HNAU.
2. Semihnenko, P.G. (1972). *Vozdelyvanie propashnyh kul'tur s minimal'nym chislom oborotov [Cultivation of row crops with a minimum number of revolutions]*. *Vestnik sel'skohozejstvennoj nauki – Herald of Agricultural Science*, 2, 31-36.
3. Salo, V.M., Leschenko, S.M., Luzan, P.H., Machok, Yu.V. & Bohatyrov, D.V. (2016). *Mashyny dlia obrobittu ґruntu ta vnesennia dobryv [Machines for soil tillage and fertilization]*. Kharkiv: Machulin.
4. Salo, V.M., Bohatyrov, D.V., Leschenko, S.M. & Savyts'kyj, M.I. (2014). *Vitchyzniane tekhnichne zabezpechennia suchasnykh protsesiv u roslynnytstvi [Domestic engineering support of modern processes in plant growing]*. *Tekhnika i tekhnologii APK – Engineering and technology APC*, 10 (61), 16-19.
5. Panov, I.M. & Vetohin, V.I. (2008). *Fizicheskie osnovy mehaniki pochv [Physical bases of soil mechanics]*. Kiev: Feniks.
6. Salo, V.M., Leschenko, S.M., Pashyns'kyj, V.A. & Yarovykh, R.V. (2015). *Analiz protsesiv chyzeliuvannia ґruntiv z zastosuvanniam riznykh kombinatsij robochykh orhaniv [The analysis of the processes of soil chiseling with the application of various combinations of working parts]*. *Zaghaljnoderzhavnyj mizhvidomchyj naukovo-tekhnichnyj zbirnyk. Konstruivannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil's'kogohospodars'kykh mashyn – National Interagency Scientific and Technical Collection of Works. Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*, Vol. 45, part.1, 126-132.
7. Borisenko, I.B. (2006). *Sovershenstvovanie resursosberegajushchih i pochvozashhitnyh tehnologij i tekhnicheskikh sredstv obrabotki pochvy v ostrozashchivnykh uslovijah nizhnego Povolzh'ja [Improvement of resource-saving and soil-protective technologies and technical means of tillage in the harsh conditions of the lower Volga region]*. *Doctor's thesis*. Volgograd.
8. Drozdov, S.N., Ashirov, I.Z., Sorokin, A.A. & Nabokina, O.Ja. (2013). *Ispolzovanie vynuždennykh kolebanij dlja snizhenija t'jagovogo soprotivlenija pochvoobrabatyvajushchih mashin [The use of forced vibrations to reduce traction resistance of tillage machines]*. *Izvestija OGAU – News OSAU*, 1, 46-48.
9. Rudenko, N.E. (2005). *Mehanizacija obrabotki pochvy: Uchebnoe posobie [Mechanisation of Soil treatment]*. Stavropol': Izd-vo StGAU «AGRUS».
10. Bozhko, I.V. & Parhomenko, G.G. (2014). *Osobennosti bezotval'noj poslojnoj obrabotki pochvy v zasushlivykh uslovijah [Features of the soilless layered tillage in arid conditions]*. *Agrotehnika i jenergoobespechenie: Nauchno-prakticheskij zhurnal – Agrotechnology and energy supply: Scientific and practical journal*, 1(1), 25-30.
11. Sysolin, P.V., Salo, V.M. & Kropivnyj, V.M. (2001). *Agricultural machines: theoretical foundations, design, design*. M.I. Chornovola (Ed.). Kyiv: Urozhaj.
12. Leschenko, S.M. & Salo, V.M. (2013). *Tekhnichne zabezpechennia zberezhenia rodiuchosti ґruntiv v systemi resursozberihaiuchykh tekhnologij [The technical providing maintainance of fertility soils is in the system of keepings technologies]*. *Zaghaljnoderzhavnyj mizhvidomchyj naukovo-tekhnichnyj zbirnyk. Konstruivannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil's'kogohospodars'kykh mashyn – National Interagency Scientific and Technical Collection of Works. Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*, Vol. 43, part.1, 96-102.
13. Leshchenko, S., Salo, V. & Vasil'kovskij, A. (2014). *Sostojanie voprosa i perspektiva intensifikacii raboty chizel'nyh orudij s cel'ju sohraneniya estestvennogo plodorodija [The state of the issue and the prospect of intensifying the work of chisel tools in order to preserve 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.
14. Leschenko, S., Salo, V. & Petrenko, D. (2014). *Experimental estimate of the efficiency of basic tilling by chisel equipment in the conditions of soil [Experimental Estimate of the Efficiency of Basic Tilling by Chisel Equipment in the Conditions of Soil Compaction]*. *Zaghaljnoderzhavnyj mizhvidomchyj naukovo-*

- tekhnichnyj zbirnyk. Konstruivannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil's'koghospodars'kykh mashyn – National Interagency Scientific and Technical Collection of Works. Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines, Vol.44 – C. 237-243.*
15. Leschenko, S.M., Salo, V.M. & Petrenko, D.I. (2015). Eksperymental'na otsinka iakosti roboty kombinovanoho chyzelia z dodatkovyimi horizontal'nymy ta vertykal'nymy deformatoramy [Experimental performance evaluation chisel combined with extra horizontal and vertical warp]. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho tekhnicnoho universytetu im. P. Vasylenka – Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture. Petro Vasilenko, Vol. 156, 25–34.*
 16. Leschenko, S.M., Salo, V.M., Petrenko, D.I. & Lisovyj, I.O. (2016). Vplyv konstruktivnykh parametriv chyzel'noi lapy glybokorozpushuvacha na deformatsiiu gruntu [Influence of structural parameters of the chisel kneecap on the deformation of the soil]. *Visnyk Ukrain's'koho viddilennia Mizhnarodnoi akademii ahrarnoi osvity – Bulletin of the Ukrainian Branch of the International Academy of Agrarian Education, Vol. 4, 115-124.*
 17. Salo, V. & Leschenko, S. (2015). Tekhnichne zabezpechennia protsesiv hlybokoho rozpushuvannia gruntu [Technical maintenance of processes of deep loosening soil]. *Propozytsiia: ukrains'kyj zhurnal z pytan' ahrobiznesu. Informatsijnyj schomisiachnyk – Suggestion: Ukrainian magazine on agribusiness. Information Monthly, 10, 122-124.*
 18. Leschenko, S.M. & Salo, V.M. (2015). Obgruntuvannia dotsil'nosti provedennia hlybokoho chyzel'noho rykhlennia na pereuschil'nenykh ta erozijno-nebezpechnykh gruntakh [Justification feasibility of deep loosening on chisel compaction and erosion-hazardous soils]. *Zbirnyk naukovykh prats' Kirovohrads'koho natsional'noho tekhnicnoho universytetu. Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnyctvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia – Collected Works of Kirovohrad National Technical University. Machinery in agricultural production, industry machine building, automation, Vol. 28, 181-186.*
 19. Vasylykova, 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, 3, 13-20.*
 20. Leschenko, S.M. & Salo, V.M. (2016). Shliakhy pidvyschennia efektyvnosti roboty kombinovanykh chyzel'nykh gruntoobrobnykh znariad' z dodatkovyimi deformatoramy [Ways to increase the efficiency of combined chisel soil cultivating tools with additional deformer]. *Mekhanizatsiia ta elektrifikatsiia sil's'koho hospodarstva: zahal'nodержavnyj zbirnyk – Mechanization and electrification of agriculture: national collection, Vol. 4 (103), 31-37.*
 21. Salo, V.M., Leschenko, S.M. & Shevchenko, O.I. (2017). Nova konstruktsiia chyzel'noho hlybokorozpushuvacha-udobriuvacha [New design of chisel deep-spreader-fertilizer]. *Sil's'kohospodars'ki mashyny: Zb. nauk .st. – Agricultural machines: Collection of scientific articles, Vol. 36, 150-157.*

Sergiy Leshchenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Vasyl Salo, Prof., DSc, Dmytro Petrenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Assessment of Energy Intensity of Deep Cultivation of Soil by Combined Chisel Deep Tillers

The work presents the assessment of energy intensity of the basic soil cultivation with combined chisel deep tillers. It is proved that despite a significant amount of research in the sphere of reducing energy consumption for basic soil cultivation, the issue remains relevant, and taking into account the necessity to apply soil protection technologies, the optimization of energy consumption in the process of subsoil tillage with combined chisel deep tillers becomes most significant.

At the stage of the analysis of the conducted studies it has been confirmed that the most effective indicator of the assessment of energy expenditure for soil cultivation is the consumption of fuel, and the change in the geometrical parameters of the working parts is inevitably connected with the dilemma "traction resistance - quality of cultivation". It is clear that reducing traction resistance, as a rule, leads to the deterioration in the quality of soil cultivation and vice versa. Therefore, when designing soil cultivating machines it is necessary to clearly define their principal characteristics.

As a result of the conducted research the possibility of reduction of energy consumption for the basic tillage with the application of combined chisel deep tillers with additional deformer is proved. This happens under the condition of effective aggregation with energy means. Based on the results of practical use of such units, recommendations for their further use and improvement were developed.

Chisel tillers CHN of domestic production, working bodies of which have chisel paws with flat wings and teeth and dual gears, while working on complicated soils of central Ukraine with an average fuel consumption of about 18 l/ha, at a depth of 35 cm or more ensure the qualitative index of soil crush is 70 ... 75%. **energy intensity of soil tillage, combined chisel deep tiller, fuel consumption, traction resistance, soil protection technologies**

Одержано (Received) 18.06.2018