

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТЯГОВОГО ОПОРУ РОБОЧОГО ОРГАНУ ЗНАРЯДДЯ ДЛЯ ГЛИБОКОГО РОЗПУШЕННЯ ҐРУНТУ

Однією із основних проблем класичної системи землеробства, яка передбачає використання лемішного плуга, є формування переуцільненого підорного шару ґрунту – так званої «плужної підшви». Тому провідні виробники ґрунтообробної техніки пропонують на ринку широку гаму машин для глибокого розпушення ґрунту.

Аналіз конструкцій робочих органів у знаряддях для глибокого розпушення ґрунту вказує, що за основним конструктивним ознаками та виконуваним функціям їх можна об'єднати у 3 групи. До першої належать лапи типу зего-міх, які не виносять на поверхню розпушений шар ґрунту і зберігають непорушеним поверхневий рослинний шар. До другої групи належать робочі органи, які у більшості виробників називаються параболічними та забезпечують винесення на поверхню дрібно структурної фракції ґрунту. Третю групу представляють робочі органами, які обладнані розпушуючою полицею тієї чи іншої форми.

У той же час відсутня пропозиція глибокорозпушувачів або хоча б чизельних культиваторів для мінітракторів (потужністю двигуна до 20-25 кВт). Це не дозволяє реалізувати розпушення підорних переуцільнених шарів на невеликих дачних ділянках та огородах площею до 0,5 га. Як правило, обробляються на глибину у межах 15-20 см, а нижчі шари ущільнені до 30 і більше кг/см². Для цього може бути використаний модернізований культиватора для поверхневого обробітку ґрунту із ярусним розташуванням робочих органів. Але для зниження енергетичних затрат та якісного виконання розпушення потребує удосконалення робочий орган у вигляді стрілкової лапи.

Тому метою дослідження є обґрунтування конструкції робочого органу знаряддя для розпушення підорного шару ґрунту та встановленні експериментальної залежності тягового опору такого робочого органу від глибини обробітку та стану ґрунту. Для вирішення поставленої мети за методикою побудови робочої поверхні корпусу плуга розроблено форму полиці для модернізації стрілкової лапи у робочий орган для глибокого розпушення ґрунту. За отриманими у результаті побудови кривими ортогональних перерізів та розгорткою поверхні виготовлено дослідний взірць такої полиці.

Також, на основі математичного методу планування експерименту, розроблена методика дослідження тягового опору існуючого та удосконаленого робочих органів. Дана методика дозволяє отримати залежність тягового опору робочих органів від глибини обробітку та вологості ґрунту у вигляді рівняння регресії. Дослідження були реалізовані у лабораторному ґрунтовому каналі.

Аналіз отриманих рівнянь регресії та поверхонь відгуку виявив, що вплив вологості ґрунту та глибини ходу робочих органів є значущим. При цьому за глибини ходу робочих органів $h = 10$ см тяговий опір у обох варіантів практично однаковий і зростає за зростання вологості ґрунту. Очевидно, що таке явище має місце через те, що за вказаної глибини у модернізованій лапі додаткова полиця практично не взаємодіє із ґрунтом. Тому у випадку використання культиватора в режимі глибокого розпушення ґрунту перший ряд робочих органів не доцільно обладнувати полицями. У той же час за зростання глибини ходу робочих органів до 20 см і особливо 30 см спостерігається зростання тягового опору у модернізованого робочого органу у порівнянні із штатним у межах 10-40 Н. При цьому менший приріст відповідає глибині ходу 20 см та меншим значенням вологості. Таким чином використання модернізованого робочого органу не спричинює суттєвого зростання тягового опору у порівнянні із штатним, що створює передумови до встановлення таких робочих органів у другому та третьому ряді культиватора за його роботи в режимі глибокорозпушувача. Таке удосконалення значно покращить розпушування нижніх шарів ґрунту без їх винесення на поверхню. У той же час слід застосовувати попарне розташування лап із правосторонньою та лівосторонньою полицями.

Ключові слова: твердість ґрунту, глибоке розпушення, конструкція, робочий орган, тяговий опір, вологість, рівняння регресії, поверхня відгуку

ВСТУП

Однією із основних проблем класичної системи землеробства, яка передбачає використання лемішного плуга є формування переуцільненого підорного шару ґрунту – так званої «плужної підшви». Проте проблема деградації ґрунтів шляхом їх переуцільнення є надзвичайно актуальною для нашої країни не залежно від використовуваних систем землеробства [1]. Тому провідні виробники ґрунтообробної техніки пропонують на ринку широку гаму машин для глибокого розпушення ґрунту.

Використання знарядь для глибокого розпушення є не новим як для нашої країни так і за кордоном. Але звичайно сьогодні стало особливо актуальним. Для таких знарядь часто використовують назву чизель-культиватор або просто чизель.

До загальної характеристики цього знаряддя належить здатність глибокого розпушення ґрунту, який розташовується нижче орного шару але без перевертання шарів. Виконання вказаного

завдання виконує основний робочий орган глибокорозпушувача - лапа. Для покращення стану поверхні оброблюваного ґрунту такі знаряддя обладнують дисковими подрібнювачам та котками різних видів тощо [2].

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Форма основного робочого органу глибокорозпушувача, тобто лапи визначає результат у розпушенні ґрунту. Так фірма Grégoire Besson пропонує на ринку України глибокорозпушувач HELIOS із двома типами лап, які забезпечують кардинально різний результат у обробітку на поверхні поля [3]. У першому випадку це рихлення без порушення верхнього шару ґрунту (рис. 1, а), а у другому випадку рихлення на всю робочу глибину (рис. 1, б)



Рис. 1 - Фото результату глибокого обробітку на поверхні поля: а - без порушення верхнього шару ґрунту; б - рихлення на всю робочу глибину

Для випадку рихлення без порушення верхнього шару виробник пропонує «проміжне рихлення» на глибину від 25 до 35 см. Таке рихлення усуває плужну підшву або наслідки вирощування цукрового буряку із наступним його збиранням за несприятливих погодних умов шляхом формування тріщин в нижніх шарах ґрунту без перемішування шарів ґрунту. Завдяки цьому усі органічні речовини та рослинні рештки лишаються на поверхні і тим самим сприяють збереженню ґрунту. При цьому використовується лапа типу Michel (рис. 2, а)

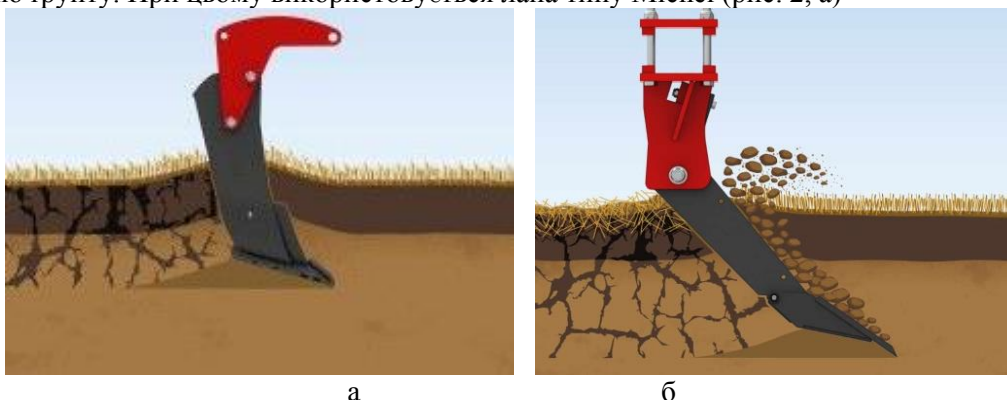


Рис. 2 - Схема роботи лапи типу Michel без винесення частинок ґрунту на поверхню (а) та із розпушенням поверхневого шару лапою типу Cracker

У випадку комплектації знаряддя Helios лапами типу Cracker забезпечується розпушення ґрунту на глибину до 60 см (рис.2, б). Завдяки цьому усувається ущільнення, що виникає через екстремальні погодні умови, випас худоби тощо. Таке розпушення забезпечує циркуляцію повітря та води у нижніх шарах ґрунту. У цьому випадку розпушення поверхні поля схоже на безполицеву оранку. Тут має місце перемішування рослинних залишків з ґрунтом і тим самим прискорюється мінералізація рослинних решток, що сприяє формуванню структури ґрунту.

Фірма Bednar також пропонує два типи робочих органів для обладнання глибокорозпушувачів [4]. У випадку використання лапи active-mix із видовженим долотом і бічними крилами (рис. 3, а) створюються умови для підрізання та розпушення ґрунту у зоні дії лапи. Така лапа, як і лапа Cracker від фірми Grégoire Besson, руйнує ущільнений підорний шар на глибину до 55-65 см і змішує ґрунт із поживними рештками. У цьому випадку суттєво зростає тяговий опір знаряддя та виникає потреба у тракторі більшої потужності. Обробітку ґрунту на глибину 55-65 см без його перемішування забезпечує лапа zero-mix із тупим кутом входження стійки у ґрунт (рис. 3, б). У цій лапі кут атаки мінімальний, але вона забезпечує активне розпушення нижніх ущільнених шарів та аерацію ґрунту.

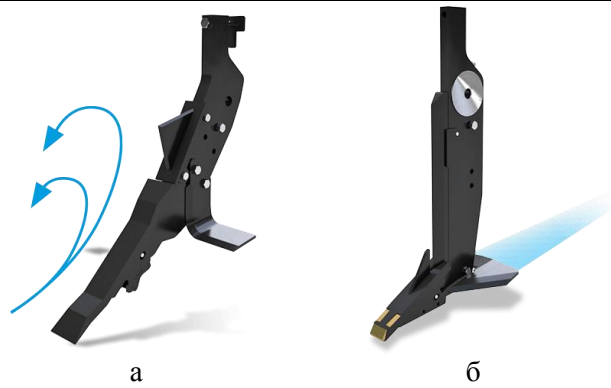


Рис. 3 - Типи лап глибокорозпушувачів фірми Vednar: а – лапа active-mix; б – лапа zero-mix

Фірма Great Plains пропонує на ринку чизельні культиватори Max-Chisel із параболічним та чизельним робочим органом (рис. 5) [5]. Згідно технічних характеристик обидва робочі органи призначені для вертикального обробітку ґрунту на глибину від 20 до 32 см. При цьому кріплення лап до рами забезпечує обмеження глибини ходу величиною опору ґрунту, що розпушується. Це здійснюється завдяки встановленню пружинного механізму. Максимальне зусилля за якого спрацьовує запобіжний пристрій та починає виглиблюватись параболічна лапа складає 1111 кГс, а для чизельної – 408 кГс.

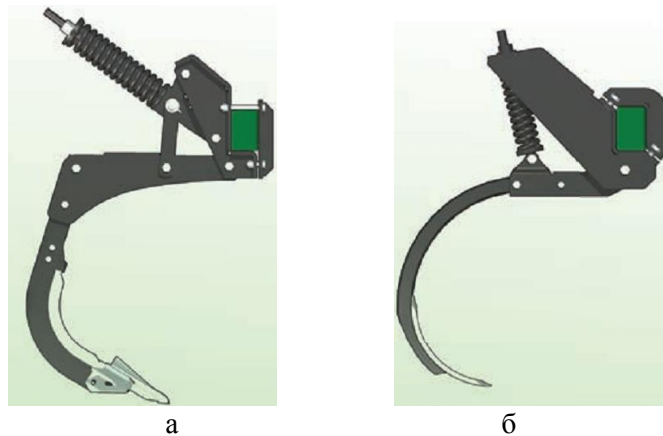


Рис. 4 - Робочі органи чизельного культиватора Max-Chisel фірми GreatPlains: а – параболічний; б – чизельний

З метою обробітку переущільнених шарів ґрунту на глибині до 41 см лінійка ґрунтообробної техніки фірми GreatPlains включає глибокорозпушувач VT1500 [5]. Для такого типу машин фірма пропонує робочі органи із шириною стійки 32 мм (рис.5, а) або робочі органи нульового циклу з шириною стійки 19 мм (рис.5, б). Робочий орган нульового циклу менш жорсткий, як стійка з прямими лапами. Тому його рекомендують використовувати там, де бажано менше деформувати ґрунт. У стандартній комплектації усіх видів робочих органів передбачено змінні накладки, котрі швидко зношуються.

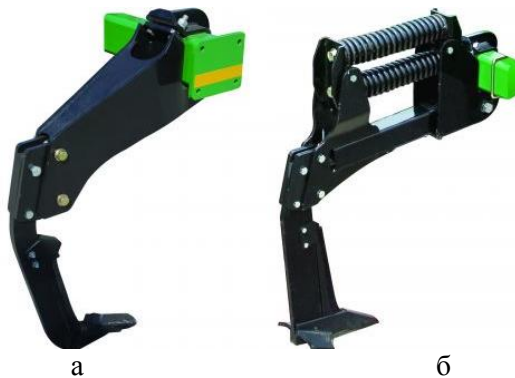


Рис. 5 - Робочі органи глибокорозпушувача VT1500: а – з прямою лапою; б – нульового циклу

Виробник пропонує для робочого органу з шириною стійки 32 лапи шириною 51 або 178 мм (рис. 6, а). Лапи можуть бути з плавником або без нього (плавник мінімізує зрушення поверхневого шару ґрунту).



Рис. 6 - Варіанти лап робочих органів глибокорозпушувача VT1500: а - ширина стійки 32 мм; б - стійка нульового циклу шириною 19 мм

Стійка робочих органів нульового циклу комплектується 254-міліметровими лапами для відстані між робочими органами 76 см і більше, або із 102 – міліметровими лапами для відстані між робочими органами 61 см (рис. 6, б). Робочий орган нульового циклу мінімізують розпушення поверхні ґрунту але максимально подрібнюють структуру ґрунту під поверхнею.

Аналогічний підхід до комплектування робочими органами глибокорозпушувачів має фірма Wil-Rich, яка входить до групи компаній Väderstad [6]. Вирбником передбачено параболічний робочий орган (рис. 7, а), який максимально розпушує поверхневий шар та робочий орган для мінімального зміщення ґрунту (рис. 7, б).



Рис. 7 - Робочі органи глибокорозпушувачів фірми Wil-Rich: а – параболічний, б – мінімальне зміщення ґрунту

Три основних типи робочих органів пропонує фірма Јупра у складі своїх глибокорозпушувачів. Для перших проходів на полях із переущільненим шаром ґрунту пропонуються машини модельного ряду RIGEL із долотоподібними робочими органами (рис.8, а) [7]. Долотоподібні параболічні лапи обладнані крилами встановлені на глибокорозпушувачах модельного ряду SIRIUS (рис. 8, б). Такі лапи, за інформацією виробника, забезпечують покращене подрібнення ґрунту.



Рис. 8 - Глибокорозпушувачі фірми Јупра модельного ряду: а - RIGEL; б - SIRIUS

Для використання у системі органічного землеробства фірма Јумра пропонує модельний ряд глибокорозпушувачів МІНТАКА із робочими органами у вигляді полиць (рис. 9, а) [7]. Таке знаряддя здійснює глибоке розпушення ґрунту (45-55 см) у тому числі і в підорних зонах, що сприяє покращенню фільтрації води та розвитку кореневої системи. Окрім цього знаряддя практично не зміщує верхні шари ґрунту. Для покращення розпушення ґрунту в якості опції до таких машин пропонується криловидний леміш (рис. 9, б)

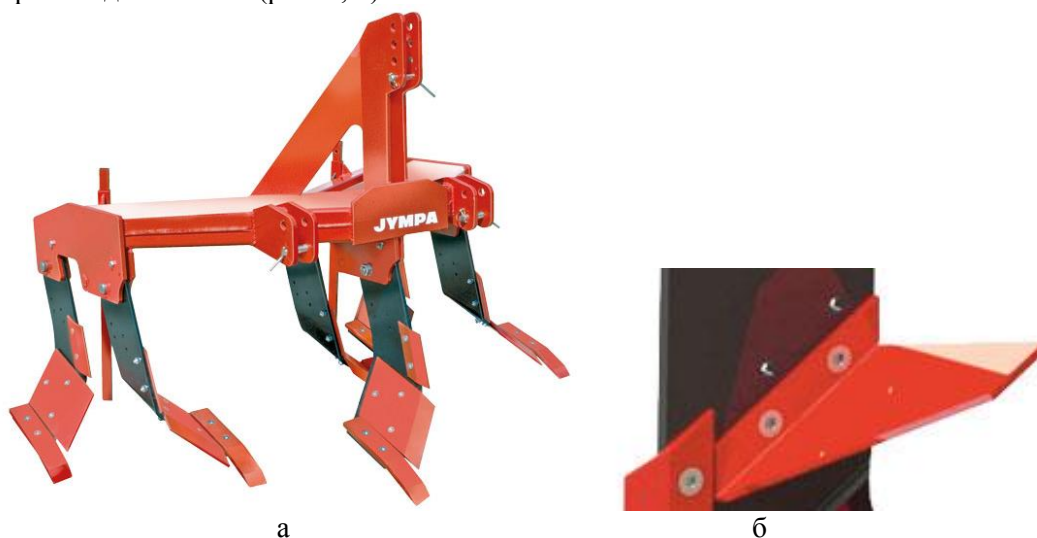


Рис. 9 - Плуг глибокорозпушувач МІНТАКА

Наведений аналіз конструкцій робочих органів у знаряддях для глибокого розпушення ґрунту вказує, що за основним конструктивним ознаками та виконуваним функціям їх можна об'єднати у 3 групи. До першої можна віднести лапи типу zero-till, яка не виносить на поверхню розпушений шар ґрунту і зберігає непорушеним поверхневий рослинний шар. До другої групи належать робочі органи, які у більшості виробників називаються параболічними та забезпечують винесення на поверхню дрібно структурної фракції ґрунту. Третю групу представляють робочі органи, які обладнані розпушуючою полицею тієї чи іншої форми. У цьому випадку винесення розпушеного ґрунту на поверхню не відбувається. Також варто звернути увагу на спосіб кріплення до рами через пружинний запобіжний пристрій у чизельних культиваторах Max-Chisel фірми GreatPlains. Такі запобіжні пристрої створюють передумови для заглиблення робочих органів у автоматичному режимі на глибину залягання саме ущільненого шару.

Аналіз технічних характеристик розглянутих глибокорозпушувачів вказує, що для їх використання потрібні трактори із потужністю двигуна від 40 кВт (найменший показник у ANTARES-1 фірми Јумра) [7]. Пропозиція глибокорозпушувачів або хоча б чизельних культиваторів для мінітракторів (потужністю двигуна 20-25 кВт) відсутня. Це не дозволяє реалізувати розпушення підорних переущільнених шарів на невеликих дачних ділянках та огородах площею до 0,5 га. Загальновідомим є те, що такі ділянки обробляються на глибину у межах 15-20 см, а нижчі шари ущільнені до 30 і більше кг/см².

На основі досліджень впливу на твердість ґрунту способів обробітку нами запропоновано схему модернізації культиватора для поверхневого обробітку ґрунту у чизельний культиватор для розпушення шарів ґрунту на глибину до 30 см [8]. У той же час в складі знаряддя передбачається використанні стандартного робочого органу культиватора у вигляді стрілкової лапи, яка не може якісно виконувати розпушення шару ґрунту на глибині понад 15 см.

Таким чином слід зазначити, що потребує вирішення проблема розпушення підорного шару ґрунту на невеликих дачних ділянках та огородах площею до 0,5 га у межах глибин 20-50 см. Для цього може бути використаний модернізований культиватора для поверхневого обробітку ґрунту із ярусним розташуванням робочих органів [8]. Але для зниження енергетичних затрат та якісного виконання розпушення оптребує модернізації робочий орган у вигляді стрілкової лапи.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є обґрунтування конструкції робочого органу знаряддя для розпушення підорного шару ґрунту та встановленні експериментальної залежності тягового опору такого робочого органу від глибини обробітку та стану ґрунту.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Обґрунтування конструкції робочого органу знаряддя. Проведений аналіз літературних джерел виявив потребу у розробці робочого органу для модернізованого культиватора [8]. Оскільки існуючий начіпний культиватор, який взято за основу при модернізації, комплектується стрілочними лапами із стандартною стійкою. У випадку його використання у першому ряду лап, згідно схеми розташування, він буде цілком задовільно розпушувати поверхневий шар ґрунту та зменшуватиме опір для наступних ряду. Проте уже для другого ряду лап, який працює на глибині 20 см з'явиться негативний вплив від лобового опору стійки, яка має ширину у фронтальній площині 16 мм. Те ж стосується, але ще більшою мірою, лап третього ряду. Адже їх глибина ходу складає 30 см. Тому для зменшення лобового опору стійки доцільно обладнати її ріжучим ножом за аналогією із плавником лапи робочого глибокорозпушувача VT1500 фірми GreatPlains (див. рис. 5). Також, для створення передумов до використання знаряддя для основного обробітку ґрунту, доцільно використати підхід фірми Лумра, який реалізований у плугах розпушувачах MINTAKA. Тобто обладнати робочий орган полицею для покращення розпушування підорного шару без винесення частинок ґрунту на поверхню.

У такому випадку лапи першого ряду розпушуватимуть поверхневий шар та зменшуватимуть опір руйнування шару ґрунту для лап другого та третього ряду. Лапи другого ряду розпушуватимуть шар ґрунту у межах глибин 10-20 см, створюючи умови для росту та розвитку кореневої системи сільськогосподарських культур, інтенсивно перемішуючи шари ґрунту без їх винесення на поверхню. Аналогічно буде дія і третього ряду лап, які окрім наведеного будуть руйнувати підорну підшву. Поєднання конструкції циліндроїдальної полиці із ріжучим плавником забезпечить збереження тягового опору знаряддя у допустимих межах. У пропонованому варіанті комплектації культиватора його ширина захвату складатиме 1200 мм, що узгоджується із шириною колі тракторів із потужністю двигуна до 25 кВт.

Для розробки форми робочої поверхні полиці було застосовано методику побудови робочої поверхні корпусу плуга. У результаті було отримано розгортку (заготовку металу) та криві ортогональних перерізів (шаблонні криві) (рис. 10) за якими і було виготовлено дослідний взірець полиці (рис. 11, а)

Для встановлення залежності тягового опору досліджуваних робочих органів від глибини обробітку та вологості ґрунту у вигляді рівняння регресії було застосовано математичний метод планування експерименту. Рівні варіювання досліджуваних факторів наведено у таблиці 1.

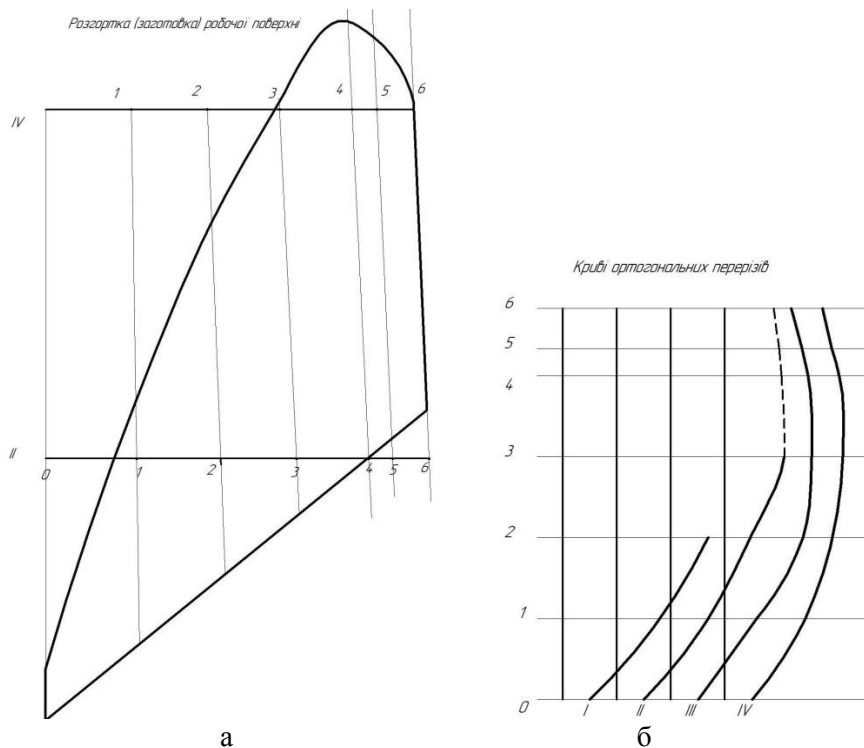


Рис. 10 - Розгортка (заготовку металу) (а) та криві ортогональних перерізів (шаблонні криві) (б) для виготовлення дослідного взірця полиці

Таблиця 1 - Фактори і рівні їх варіювання

Рівні варіювання	Фактори	
	Глибина обробітку (руху робочого органу) h , см	Вологість ґрунту у ґрунтовому каналі W , %
	x_1	x_2
Верхній (+1)	30	15
Основний (0)	20	10
Нижній (-1)	10	5
Інтервал варіювання, ε	10	5

Для проведення досліду було виготовлено кріплення для встановлення дослідно взірця полиці на культиваторну лапу із стандартною стійкою (рис. 11, б та в). Окрім цього у дослідженнях визначали тяговий опір звичайної стріччатої лапи якою обладнується машина аналог.



Рис. 11. Фото експериментального робочого органу: а – полиця із кріпленням; б – стійка з отвором під кріплення полиці; в – збірка

Дослідження тягового опору робочих органів проводили у ґрунтовому каналі, який складається безпосередньо із каналу 1 в який завантажено шар ґрунту товщиною 60 см (рис. 12). Зверху цього каналу зварена рама із швелера, які є направляючими 2 для коліс 4 рухомого візка 3. Рухомий візок 3 опирається на 4 колеса та має пристосування для кріплення робочих органів ґрунтообробних знарядь 5. Переміщення візка 3 забезпечується тросом від лебідки 6, яка у свою чергу приводиться у рух електродвигуном 7 через циліндричний редуктор 8, втулково-пальцеву муфту 9 та черв'ячний редуктор 10.

Для встановлення зусилля, яке затрачається на переміщення візка із робочим органом трос кріпиться до візка через динамометр 11. Для забезпечення максимальної глибини ходу досліджуваних робочих органів у механізм кріплення 5 встановлювали додаткове пристосування у вигляді стійки із додатковим кріпленням.

Процес вимірювання тягового опору полягав у встановленні визначеної планом експерименту глибини обробітку та вмиканні механізму приводу. Після досягнення сталих показів динамометра фіксували зусилля на початку руху візка, посередині ґрунтового каналу та за 20-30 см від завершення довжини каналу. Кожен із показів фіксувався і відповідав трикратній повторюваності експерименту (рис. 13).



Рис. 12 - Фото ґрунтового каналу та механізму переміщення робочих органів: 1- ґрунтовий канал; 2 – направляючі; 3 – візок; 4 – колеса; 5 - механізм кріплення; 6 - лебідка; 7 – електродвигун; 8 - циліндричний редуктор; 9 - муфта; 10 - черв'ячний редуктор; 11 – динамометр



а



б

Рис. 13 - Процес експерименту з визначення тягового опору: а – штатного робочого органу; б – удосконаленого робочого органу

Результати дослідження тягового опору.

Обробка результатів двофакторного експерименту забезпечила отримання рівняння регресії де функцією відгуку є тяговий опір робочих органів культиватора. Таким чином реалізовано мету експерименту, яка полягала у встановленні залежності тягового опору робочих органів від зміни таких факторів як вологість ґрунту та глибина ходу робочих органів.

Обробка результатів експерименту проводили на ПК у середовищі Mathcad. При цьому однорідність ряду дисперсій встановлювали за критерієм Кохрена. Оскільки, для випадку штатного робочого органу $G^{розр.} = 0,146 < G^{табл.} (0,05; 15; 2) = 0,335$ і для удосконаленого робочого органу $G^{розр.} = 0,156 < G^{табл.} (0,05; 15; 2) = 0,335$ то процес відтворюється для обох випадків.

На основі встановлених за критерієм Ст'юдента довірчих інтервалів провели перевірку значущості коефіцієнтів регресії. Не значущим виявився коефіцієнт парної взаємодії між факторами тобто вологістю ґрунту та глибиною ходу робочого органу для обох досліджуваних варіантів. Рівняння регресії у кодованих значеннях для варіанту штатного робочого органу набрало вигляду

$$\bar{y}_1 = 229,333 + 19,958x_1 + 67,958x_2 + 8,625x_1^2 + 24,625x_2^2. \quad (1)$$

А для випадку удосконаленого робочого органу

$$\bar{y}_2 = 238 + 21,958x_1 + 80,958x_2 + 8,542x_1^2 + 25,708x_2^2. \quad (2)$$

Перевірку адекватності отриманих рівняння регресії (1 та 2) здійснили за критерієм Фішера. Розрахункове значення даного критерію для першого рівняння при дисперсії неадекватності $S_{неад.}^2=17,537$ і дисперсії відтворюваності дослідів $S_y^2=1$ становило: $F^{розп.}=17,537$. Для другого рівняння при дисперсії неадекватності $S_{неад.}^2=10,438$ і дисперсії відтворюваності дослідів $S_y^2=1,444$ розрахункове значення даного критерію становило: $F^{розп.}=7,226$. Табличне значення критерію Фішера за прийнятого 5-% значущості, згідно [9], для обох рівнянь склало:

$$F^{табл.}(0.05; f_2; f_1)=19,33,$$

де $f_2 = 6$ - значення числа ступенів вільності дисперсії неадекватності;

$f_1 = 2$ - значення числа ступенів вільності дисперсії відтворюваності дослідів.

Оскільки для обох рівнянь $F^{розп.} < F^{табл.}(0.05; f_2; f_1)=19,33$, то гіпотеза адекватності обох отриманих рівнянь регресії підтверджується.

Після переведення рівнянь регресії із форми з кодованим факторами до факторів у натуральному вигляді отримали:

- для штатного робочого органу

$$P_1 = 186,501 - 2,9084W - 3,0542h + 0,345W^2 + 0,24625h^2 \quad (3)$$

- для удосконаленого робочого органу

$$P_1 = 169,168 - 2,442W - 2,1874h + 0,34168W^2 + 0,25708h^2 \quad (4)$$

де W - вологість ґрунту у ґрунтовому каналі, %;

h - глибина ходу робочого органу, см.

За отриманими рівнянням регресії (3) та (4) побудовано тривимірні поверхні відгуку (рис. 14) для аналізу впливу досліджуваних факторів на величину тягового опору обох варіантів робочих органів.

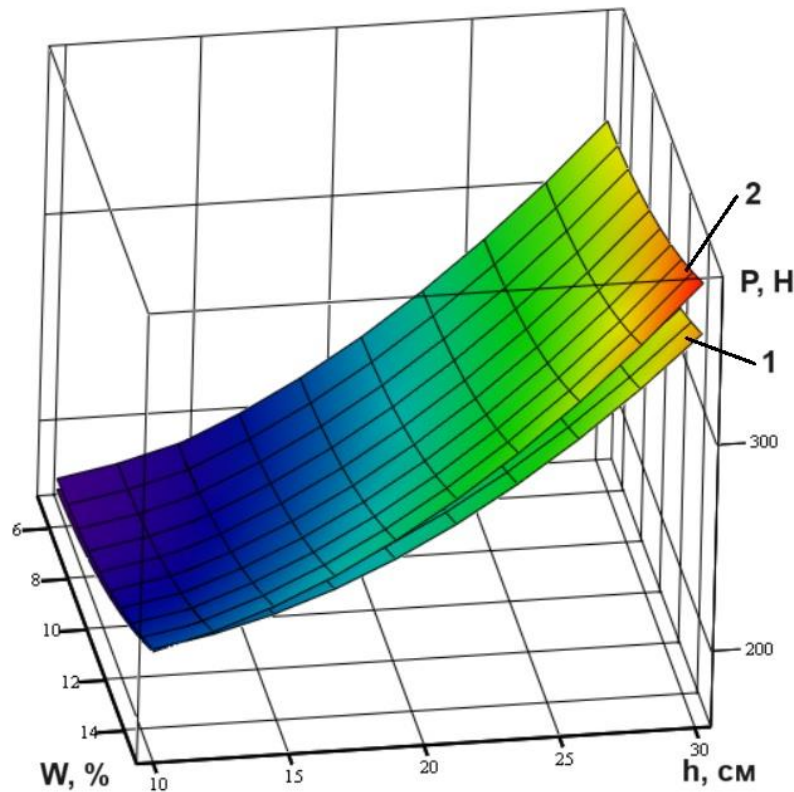


Рис. 14 - Залежність зміни тягового опору штатного (1) та удосконаленого (2) робочих органів культиватора від вологості ґрунту у ґрунтовому каналі W та глибини ходу h цих робочих органів

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз отриманих рівнянь регресії у кодованих факторах та поверхонь відгуку виявив, що обидва досліджувані фактори є значущими. При цьому за глибини ходу робочих органів $h=10$ см тяговий опір у обох варіантів практично однаковий і однаково зростає за зростання вологості ґрунту. Очевидно, що таке явище має місце через те, що за вказаної глибини у модернізованій лапі додаткова полиця практично не взаємодіє із ґрунтом. Тому у випадку використання культиватора в режимі глибокого розпушення ґрунту перший ряд робочих органів не доцільно обладнувати полицями.

У той же час за зростання глибини ходу робочих органів до 20 см і особливо 30 см спостерігається зростання тягового опору у модернізованого робочого органу у порівнянні із штатним у межах 10-40 Н. При цьому менший приріст відповідає глибині ходу 20 см та меншим значенням вологості. Таким чином використання модернізованого робочого органу не спричинює суттєвого зростання тягового опору у порівнянні із штатним, що створює передумови до встановлення таких робочих органів у другому та третьому ряді культиватора за його роботи в режимі глибокорозпушувача.

ВИСНОВОК

Аналіз конструкції робочих органів глибокорозпушувачів виявив, що їх можна об'єднати у 3 групи. До першої належать лапи типу zero-mix, які не виносять на поверхню розпушений шар ґрунту і зберігають непорушеним поверхневий рослинний шар. До другої групи належать робочі органи, які у більшості виробників називаються параболічними та забезпечують винесення на поверхню дрібно структурної фракції ґрунту. Третю групу представляють робочі органами, які обладнані розпушуючою полицею тієї чи іншої форми. При цьому винесення розпушеного ґрунту на поверхню не відбувається.

Встановлено, що потребує вирішення проблема розпушення підорного шару ґрунту на невеликих дачних ділянках та огородах площею до 0,5 га. Для цього потрібне знаряддя здатне якісно розпушити ґрунт у шарі, що розташований на глибині 20-30 см та для його використання достатньо було б трактора із потужністю межах 20-25 кВт (тяговим зусиллям у межах 5-6 кН).

Розроблена методика експериментального дослідження тягового опору робочих органів культиватора, заснована на використанні плану реалізації експерименту другого порядку, забезпечила отримання математичної моделі даного процесу у вигляді рівняння регресії. Функцією відгуку цього рівняння є тяговий опір у першому рівнянні штатного робочого органу, а у другому - модернізованого робочого органу. Аналіз отриманих рівнянь регресії та поверхонь відгуку виявив, що вплив вологості ґрунту та глибини ходу робочих органів є значущим. При цьому за глибини ходу робочих органів $h=10$ см тяговий опір у обох варіантів практично однаковий і однаково зростає за зростання вологості ґрунту. Таке явище має місце через те, що за вказаної глибини додаткова полиця практично не взаємодіє із ґрунтом. Тому у випадку використання культиватора в режимі глибокого розпушення ґрунту перший ряд робочих органів не доцільно обладнувати полицями.

За зростання глибини ходу робочих органів до 20 см і особливо 30 см спостерігається зростання тягового опору у модернізованого робочого органу у порівнянні із штатним у межах 10-40 Н. Тому використання модернізованого робочого органу не спричинює суттєвого зростання тягового опору у порівнянні із штатним, що створює передумови до встановлення таких робочих органів у другому та третьому ряді культиватора за його роботи в режимі глибокорозпушувача. Таке удосконалення значно покращить розпушування нижніх шарів ґрунту без їх винесення на поверхню. У той же час слід застосовувати попарне розташування лап із правосторонньою та лівосторонньою полицями.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1.Балюк С.А., Медведєв В.В., Воротинцева Л.І., Шимель В.В. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня // Вісник аграрної науки, 2017, № 8. С. 5-11

2.Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2004. 544 с.

3.Gregoire-besson [Електронний ресурс]: офіційний сайт. Режим доступу: <https://www.gregoire-besson.com/ua/machines/helios>

4.Bednar [Електронний ресурс]: офіційний сайт. Режим доступу: <https://www.bednar.com/uk/terraland-tn/>

5.Greatplain [Електронний ресурс]: офіційний сайт. Режим доступу: <https://www.greatplainsag.com/uk/products/709/sub-soiler>.

6. Wil-rich [Електронний ресурс]: офіційний сайт. Режим доступу: <https://www.wil-rich.com/primary-tillage/rippers/357-inline-ripper/>
7. Jympa [Електронний ресурс]: офіційний сайт. Режим доступу: <https://jympa.com/en/products/agriculture/subsoilers/>
8. Цизь І.Є., Голій О.В., Хвесик В.О., Оласюк Я.В., Деміх І.В. Дослідження процесу та знаряддя для глибокого розпушення ґрунту. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, 2023, №1(20), 290-302 с.
9. Аністратенко В.О., Федоров В.Г. Математичне планування експерименту в АПК. - К.: Вища школа, 1993. 375 с.

REFERENCES

1. Balyuk S.A., Medvedev V.V., Vorotyntseva L.I., Shimel V.V. Suchasni problemy degradatzii gruntiv i zahodi shodo dosiagnennya neitralnogo ii rivnia // Visnik agrarnoi nauky. - 2017, № 8. - S. 5-11
2. Silskogospodarski ta melioratyvni mashyny: Pidruchnyk / D.G. Voytyuk, V.O. Dubrovin, T.D. Ishchenko ta in.; Za red. D.G. Voytyuk. - K.: Vusha osvita, 2004. - 544 s.
3. Gregoire-besson [Elektronnyi resurs]: ofitsiyni sait. Rezhym dostupu: <https://www.gregoire-besson.com/ua/machines/helios>
4. Bednar [Elektronnyi resurs]: ofitsiyni sait. Rezhym dostupu: <https://www.bednar.com/uk/terraland-tn/>
5. Greatplain [Elektronnyi resurs]: ofitsiyni sait. Rezhym dostupu: <https://www.greatplainsag.com/uk/products/709/sub-soiler>.
6. Wil-rich [Elektronnyi resurs]: ofitsiyni sait. Rezhym dostupu: <https://www.wil-rich.com/primary-tillage/rippers/357-inline-ripper/>
7. Jympa [Elektronnyi resurs]: ofitsiyni sait. Rezhym dostupu: <https://jympa.com/en/products/agriculture/subsoilers/>
8. Tszі I.E., Holii O.V., Khvesik V.O., Olasiuk Ya.V., Demikh I.V. Doslidzhennia protsesu ta znariaddia dlia hlybokoho rozpushennia ґрунту. Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti, №1(20), 290-302 s.
9. Anistratenko V.O., Fedorov V.G. Matematychnе planuvannia eksperymentu v APK. - K.: Vyshcha shkola, 1993. 375 s.

I. Tszі, V. Holii. Justification of the design and research of the driving resistance of the working body of the tool for deep soil dissolution

One of the main problems of the classical farming system, which involves the use of a plow, is the formation of an over-compacted subsoil layer - the so-called "plow sole". Therefore, the leading manufacturers of tillage machinery offer a wide range of machines for deep loosening of the soil on the market.

The analysis of the structures of the working bodies in the tools for deep loosening of the soil indicates that they can be grouped into three groups according to the main design features and the functions performed. The first includes zero-mix type paws, which do not bring the loosened soil layer to the surface and keep the surface plant layer intact. The second group includes working bodies, which most manufacturers call parabolic and ensure that the fine structural fraction of the soil is brought to the surface. The third group is represented by working bodies that are equipped with a loosening shelf of one form or another.

At the same time, there is no offer of deep looseners or at least chisel cultivators for minitractors (with an engine power of up to 20-25 kW). This does not allow the loosening of over-compacted sub-soil layers to be implemented on small country plots and gardens with an area of up to 0.5 ha. Which, as a rule, are processed to a depth of 15-20 cm, and the lower layers are compacted to 30 or more kg/cm². For this, a modernized cultivator for surface cultivation of the soil with tiered arrangement of working bodies can be used. But in order to reduce energy costs and perform high-quality loosening, the working body in the form of a dart paw needs to be improved.

Therefore, the purpose of the research is to substantiate the design of the working body of the tool for loosening the subsoil layer and to establish the experimental dependence of the traction resistance of such a working body on the depth of cultivation and soil condition. In order to solve the set goal, a shelf shape was developed for the modernization of the arrow foot into a working body for deep loosening of the soil according to the method of construction of the working surface of the plow body. According to the curves of

orthogonal sections obtained as a result of the construction and the surface sweep, a test sample of such a shelf was made.

Also, on the basis of the mathematical method of planning the experiment, a method of researching the traction resistance of the existing and improved working bodies was developed. This technique allows you to obtain the dependence of the traction resistance of the working bodies on the clay of the cultivation and soil moisture in the form of a regression equation. The research was carried out in a laboratory soil channel.

The analysis of the obtained regression equations and response surfaces revealed that the influence of soil moisture and the depth of travel of the working bodies is significant. At the same time, the traction resistance of both options is almost the same for the depth of travel of the working bodies in $h=10$ cm and increases with the increase in soil moisture. It is obvious that this phenomenon occurs due to the fact that at the specified depth in the modernized foot, the additional shelf practically does not interact with the soil. Therefore, in the case of using the cultivator in the mode of deep loosening of the soil, it is not advisable to equip the first row of working bodies with shelves. At the same time, with an increase in the depth of travel of the working bodies up to 20 cm and especially 30 cm, an increase in the traction resistance of the modernized working body in comparison with the regular one is observed in the range of 10-40 N. At the same time, a smaller increase corresponds to a depth of travel of 20 cm and lower humidity values. Thus, the use of a modernized working body does not cause a significant increase in traction resistance compared to the regular one, which creates prerequisites for the installation of such working bodies in the second and third row of the cultivator during its operation in the deep loosener mode. This improvement will significantly improve the loosening of the lower layers of the soil without bringing them to the surface. At the same time, pairwise arrangement of paws with right and left shelves should be used.

Keywords: soil hardness, deep loosening, construction, working body, traction resistance, moisture, regression equation, response surface.

ЦИЗЬ Ігор Євгенович, кандидат технічних наук, доцент кафедри аграрної інженерії ім. проф. Г.А. Хайліса Луцького національного технічного університету, e-mail: tsizigor@lutsk-ntu.com.ua, <https://orcid.org/0000-0002-9916-8174>

ГОЛІЙ Валентин Олександрович, аспірант кафедри аграрної інженерії ім. проф. Г.А. Хайліса Луцького національного технічного університету, e-mail: valikgoliy@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-7056-4353>

Igor TSIZ, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Agrarian Engineering named after Prof. G. Hylis, Lutsk National Technical University, e-mail: tsizigor@lutsk-ntu.com.ua, <https://orcid.org/0000-0002-9916-8174>

Valentyn HOLII, Postgraduate of the Department of Agrarian Engineering named after Prof. G. Hylis, Lutsk National Technical University, e-mail: valikgoliy@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-7056-4353>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1377