

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Сіماشко Андрій Васильович

УДК 631.31

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРґАНІВ
ВАЖКОЇ БОРОНИ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ А.В. Сіماشко

Керівник роботи

Сукманюк О.М.

к.і.н., доцент

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Сімашко Андрій Васильович. Обґрунтування параметрів робочих органів важкої борони. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

В магістерській роботі на основі функціонально-морфологічного аналізу важкої широкозахватної борони визначено структурну форму нового зубопружного робочого органу, що має конусний пружинний підвіс з двома розпущеними кінцями, круглу форму прутка і шарнірне кріплення до рами борони.

У разі обробки ґрунту бороною, оснащеної типовими зубопружинними робочими органами діаметрами прутка $d = 14$ та 16 мм, виявлено відхилення від вимог стандарту: грудки розміром до $2,5$ см досягають $80,8$ % від загального обсягу обробленого ґрунту, а глибинність перевищує 10% . При обробітку ґрунту бороною до складу якого входять нові зубопружинні робочі органи діаметром прутка $d = 16$ мм, встановлено, що грудки розміром за найбільшим діаметром до $2,5$ см становлять не більше $72,0\%$ від загального обсягу обробленого ґрунту, а глибистість не перевищує $6,9\%$.

Запропоновано практичні рекомендації експлуатації борони з новими зубопружинними робочими органами: глибина обробки $h = 0,079$ м, кут атаки $\alpha = 89$ 41, швидкість машино-тракторного агрегату $V = 3,33$ м/с (12 км/год), а також з типовими, в залежно від виду оброблюваного ґрунту.

За результатами порівняльних виробничих випробувань визначено техніко-економічні показники використання машино-тракторного агрегату у складі трактора Т-150К та важкої широкозахватної борони КПШ-15, оснащеної новими зубопружинними робочими органами.

Ключові слова: зубопружинні робочі органи, борона, обробіток ґрунту, ефективність

ANNOTATION

Simashko Andrey Vasilyevich. Substantiation of Parameters of Heavy Harrow Working Bodies. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

In the master's thesis, based on the functional and morphological analysis of a heavy wide-reaching harrow, the structural shape of a new tooth-elastic working body with a conical spring suspension with two loose ends, a round rod shape and hinged attachment to the harrow frame is determined.

In the case of soil treatment with a harrow equipped with typical tooth-spring working bodies with bar diameters $d=14$ and 16 mm, deviations from the requirements of the standard were detected: lumps up to 2.5 cm reach 80.8% of the total tilled soil and depth exceeds 10% . When cultivating the soil with a harrow which includes new tooth-spring working bodies with a bar diameter $d = 16$ mm, it was found that lumps with a maximum diameter of up to 2.5 cm are not more than 72.0% of the total tilled soil and depth does not exceed $6...9\%$.

Practical recommendations for harrow operation with new toothed working bodies are proposed: working depth $h = 0.079$ m, angle of attack $\alpha = 89^\circ 41'$, speed of machine-tractor unit $V = 3.33$ m/s (12 km/h), as well as with standard, depending on the type of cultivated soil.

According to the results of comparative production tests, the technical and economic indicators of the use of the machine-tractor unit as part of the T-150K tractor and the heavy wide-reaching harrow KИИИИ -15, equipped with new toothed working bodies, were determined.

Key words: tooth-spring working bodies, harrow, tillage, efficiency

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА МЕТИ І ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	17
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗУБОПРУЖИННИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТЯЖКОЇ ШИРОКОЗАХВАТНОЇ БОРОНИ.....	26
ВИСНОВКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Обробіток ґрунту – найбільш трудомісткий процес у сільському господарстві. Існує безліч технологій обробітку ґрунту, найбільш поширені з них – це традиційна, мінімальна та нульова. У кожній з технологій у тій чи іншій мірі є поверхнева обробка ґрунту, представлена боронуванням. Боронування виступає або як самостійна (окрема) операція, або як додаткова – допоміжна.

Боронування виконується спеціальними машинами – боронами. Борони поділяються на дискові, зубні та дротяні (сітчасті). Основні завдання цих машин: розпушування та руйнування ґрунтової кірки з кришенням грудок, вирівнювання рельєфу поля із закладенням добрив, закриття вологи, рівномірний розподіл рослинних залишків поверхнею поля.

В даний час популярність набули важкі широкозахватні зубові борони, робочим органом яких є шарнірно закріплена на рамі пружина з одним або двома розпущеними кінцями (далі за текстом – зубопружний робочий орган). Вони поєднують виконання кількох технологічних операцій, є універсальними знаряддями, які крім перерахованих вище функцій, можуть виконувати і лушення стерні. Їхнє застосування стримується внаслідок недосконалості конструкційних та експлуатаційних недоліків робочих органів.

У зв'язку з цим, розробка нових зубопружних робочих органів для важких широкозахватних борін з обґрунтуванням параметрів та раціональних режимів роботи борони для виконання агротехнічних вимог є актуальним завданням.

Ступінь розробленості теми. Вплив різних варіантів змін зубопружних робочих органів та ступінь їх зносу, залежно від агрофізичних властивостей ґрунту при його обробітку, присвячені роботи таких вчених, як І. М. Бартенєва, С. М. Васильковського, В. П. Горячкіна, А. Н. Гудкова, С. Л. Дьомшина, РМ Жука, А. Г. Іванова, Д.Ф. Каминіна, А. В. Кирюшина, Х. Куіперса, А. Кулена, Ф. Ф. Мухамадьярова, П. Є. Никифорова, Ю. І. Полупарньова, Д. Д. Прокопенко,

Є.М. Прошкіна, В. Ф. Рубіна, В. Є. Саїтова, Р. Б. Сафарова, Л. М. Свирідова, А. Н. Седашкіна, Б.В. Суріна, В. В. Труфанова, І. Я. Федоренко Х. А. Хачатряна, М. М. Чаткіна, А. А. Цибаня та ін.

Аналіз робіт зазначених авторів показує відсутність єдиної думки щодо впливу параметрів зуборужного робочого органу (пружинної частини, поперечного перерізу прутка, кута установки, глибини обробки та швидкості руху МТА) на якісні агротехнічні та енергетичні показники роботи борони.

Мета та завдання дослідження Мета дослідження – підвищення ефективності поверхневого обробітку ґрунту за рахунок обґрунтування раціональних параметрів зубопружних робочих органів важкої широкозахватної борони.

Виходячи з вищевикладеного і відповідно до поставленої мети, були визначені такі завдання дослідження:

- обґрунтувати конструкторсько-технологічні параметри пружинної та технологічної частини робочого органу, довжину розпущеного кінця та діаметр прутка.

- обґрунтувати раціональні параметри роботи важкої широкозахватної борони з новими зубопружними робочими органами за результатами лабораторних та виробничих випробувань.

Об'єкт дослідження – важка широкозахватна борона із зуборужними робочими органами.

Предмет дослідження – взаємозв'язок робочого процесу тяжкої широкозахватної борони з параметрами зубопружних робочих органів.

Методи дослідження. Експериментальні дослідження проводилися в реальних умовах з урахуванням загальноприйнятих і приватних методик, розроблених автором. Аналіз літературних джерел здійснювався аналітико-монографічним методом. Обробку експериментальних даних виконували за допомогою методів математичної статистики з використанням прикладних програм.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Сіماشко А.В.** Результати експериментальних досліджень зубопружинних робочих органів важкої широкозахватної борони. Збірник тез VII-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 31 березня 2021 року. Житомир : ЖАТК. С. 202-203.

2. **Сіماشко А.В.** Методика експериментальних досліджень процесу роботи зубопружинних робочих органів важкої широкозахватної борони. Збірник тез VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 30-31 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 246-247.

3. Ярош Я.Д., **Сіماشко А.В.**, Свіжевський Є.В. Агротехнічні вимоги до боронування. Матеріали МНПК «Сучасна інженерія агропромислових і харчових виробництв». Харків: ДБТУ, 2021. С. 253-255.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для сільськогосподарських підприємств представляє конструкція зубопружного робочого органу борони з конічним пружинним підвісом та раціональні режими роботи важкої широкозахватної борони з новими зубопружинними робочими органами;

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 15 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 4 сторінки комп'ютерного тексту, містить 29 рисунків та 6 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА МЕТИ І ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

Боронування – це агротехнічний захід розпушування поверхні ґрунту боронами або ротаційними цапками (рис. 1.1). У процесі боронування відбувається наступне: кришення та розпушування ґрунту, перемішування добрив із ґрунтом та вирівнювання поверхні.



Рис. 1.1. Типи борін: 1 – навісна зубна «зигзаг»; 2 – причіпна сітчаста; 3 – навісна пружинна; 4 – навісна ножова обертова; 5 – навісна дискова болотна; 6 – причіпна дискова садова; 7 – причіпна важка широкозахватна із зубопружинними робочими органами.

Мета даної технологічної операції: руйнування ґрунтової кірки; розпушування верхнього шару ґрунту; захист ґрунту від висихання (закриття вологи); перемішування та вирівнювання зовнішнього шару ґрунту; знищення бур'янів та шкідливих організмів; активація зростання озимих культур (при весняному боронуванні); прорідження загущених сходів рослин; розподіл поживних залишків поверхнею поля.

Як вже зазначалося раніше, боронування, як окрема операція обробки ґрунту застосовується при передпосівному обробітку ґрунту, при догляді за

посівами та пасовищами. У той же час, як додаткова, дана операція застосовується при оранці з подальшим прикочуванням.

За термінами проведення боронування розрізняють:

- *раньовесняне боронування*. Боронування виконується з метою затримки вологи в ґрунті, роботи виконують у період настання фізичної стиглості ґрунту. При значній вологості ґрунту використовують борони із зубопружинними робочими органами, у безводних регіонах – борони з голчастими робочими органами.

- *боронування озимих культур та багаторічних рослин*. Боронування здійснюється з метою оживити чи розбудити мікробіологічні процеси у ґрунті. Застосовують легкі та середні борони або ротаційні мотики. Ї передпосівний обробіток. Боронування виконується після культивації ґрунту або паралельно з цим процесом. Залежно від регіону та типу ґрунту може використовуватися борона із зубоспружинними робочими органами або важка дискова. При осінніх польових роботах боронування виконується одночасно з посівом озимих культур.

- *післяпосівне боронування*. Поділяється на довсходове та післясходове. Мета довсходового боронування – знищення проростків бур'янів. Мета післясходового боронування – стимулювання та прискорення зростання сходів культури. В обох випадках застосовуються легкі зубопружинні, сітчасті або дротяні борони.

- *літнє боронування чистих парів*. До цього типу боронування вдаються при надмірному ущільненні поверхні поля або при активному проростанні бур'янів. Боронування поєднують з оранкою або культивацією, для поліпшення обробки та вирівнювання рельєфу поля роботи проводять упоперек спрямування оранки.

Незалежно від терміну боронування, виділяють три основні способи виконання робіт: загінний, фігурний і поперечно-діагональний.

Особливістю загінного боронування є те, що щоразу борона сходиться на край поля. При загінному боронуванні у два сліди, перший раз роботи виконують уздовж ріллі, другий – упоперек. Загінка при даному способі боронування має форму прямокутника.

При фігурному боронуванні загінка має форму квадрата. Загінка обробляють по колу, уникаючи неодружених прогонів. При фігурному боронуванні в два сліди другий прохід виконують діагонально першому.

Значним недоліком обох способів є те, що при боротьбі в два сліди, один із слідів неминуче збігається з напрямком оранки, як внаслідок поверхня поля гірше вирівнюється. Крім цього при загінному боронуванні неминучі холості проходи, а фігурне рекомендується виконувати тільки на полях вільних від бур'янів.

Найбільш ефективним методом розпушування ґрунту є поперечно-діагональне боронування. Даний спосіб передбачає прохід МТА, що не збігається з напрямком оранки, що підвищує якість обробітку ґрунту та забезпечує краще вирівнювання поверхні поля.

Оцінка якості обробітку ґрунту при боронуванні проходить у кілька етапів.

1. Проїхати 35...60 метрів, зупинити трактор та перевірити відповідність заданої глибини обробітку ґрунту, особливу увагу звернути на відсутність огривів та кількість знищених культурних рослин та бур'янів.

При невідповідності заданої глибини обробітку ґрунту, необхідно вжити ряд коригуючих заходів, що залежать від типу використовуваного боронувального агрегату: переконатися у правильному куті атаки робочих органів чи правильному напрямку скосів зубів, збільшити чи вкоротити довжину причіпного пристрою зчіпки, піднятий чи опустити секції з робочими органами тощо. Огриви усувають шляхом коригування руху МТА. Кількість пошкоджених культурних рослин не повинна перевищувати 4%, кількість знищених бур'янів повинна бути понад 90%.

2. Проїхати ще 50...80 метрів, виконати перераховані вище дії знову, при задовільному результаті розпочати основну роботу. Боронування виконувати з перекриттям 20...40 см, по закінченні обробки загінки обробити поворотні ділянки.

Якість виконуваних робіт проводиться у процесі боронування та складається з двох етапів.

I. Перший етап. Механізатор при кожному проході на ходу, не залишаючи кабіни, дивиться, як йде зчіпка за трактором і оглядає попередній прохід.

При контролі заборонена: 1. Наявність огріхів. 2. Перекриття проходів більш ніж на 40 см. 3. Швидкість МТА понад 15 км/год. 4. Криволінійність траєкторії боронування. 5. Наявність наволоків.

II. Другий етап. Агроном перевіряє ґрунт на відповідність агротехнічних вимог.

При контролі повинно виконуватися наступне:

1. Рівномірність заданої глибини обробітку ґрунту по всій поверхні поля.
2. Рівномірне вирівнювання всієї поверхні поля.
3. Якість обробленого шару ґрунту має відповідати вимогам ДСТУ: в обробленому шарі ґрунту грудки за найбільшим діаметром до 2,5 см не повинні перевищувати 80 % від загального об'єму ґрунту, а грудки діаметром від 5,0 до 10,0 см. не повинні перевищувати 10%. Кількість грудочок тієї чи іншої фракції визначається згідно з ДСТУ.

4. Не допускається наявність наволоків.

5. Якість обробки поворотних колій не повинна відрізнятись від основного об'єму поля.

6. Кількість пошкоджених і знищених бур'янів або культур рослин повинна бути в межах допустимих значень.

Якість боронування залежить від ваги борін, форми зубів, кута їх атаки, вологості землі, розміру тяг та швидкості руху МТА.

Процес боронування, як основа агротехнічних вимог до поверхневого обробітку ґрунту, виконується спеціальними машинами – боронами.

Борона – сільськогосподарське знаряддя для поверхневої обробки ґрунту та догляду за рослинами. Борони, зазвичай, агрегуються з тракторами в зчіпці з іншими сільськогосподарськими знаряддями, як-от культиватори, сівалки, плуги, котки. Але можуть виступати і як самостійна одиниця обробітку ґрунту.

Основними функціями борони у процесі боронування є: рівномірний розподіл по полю поживних залишків; руйнування поверхневої кірки; знищення бур'янів у фазі "білої нитки" (вичісування бур'янів); весняне закриття вологи; вирівнювання поверхні ґрунту після основного обробітку; суцільна обробка ґрунту при догляді за парами та підготовці до сівби.

Борона як сільськогосподарська машина класифікується за наступними ознаками (рис. 1.2).

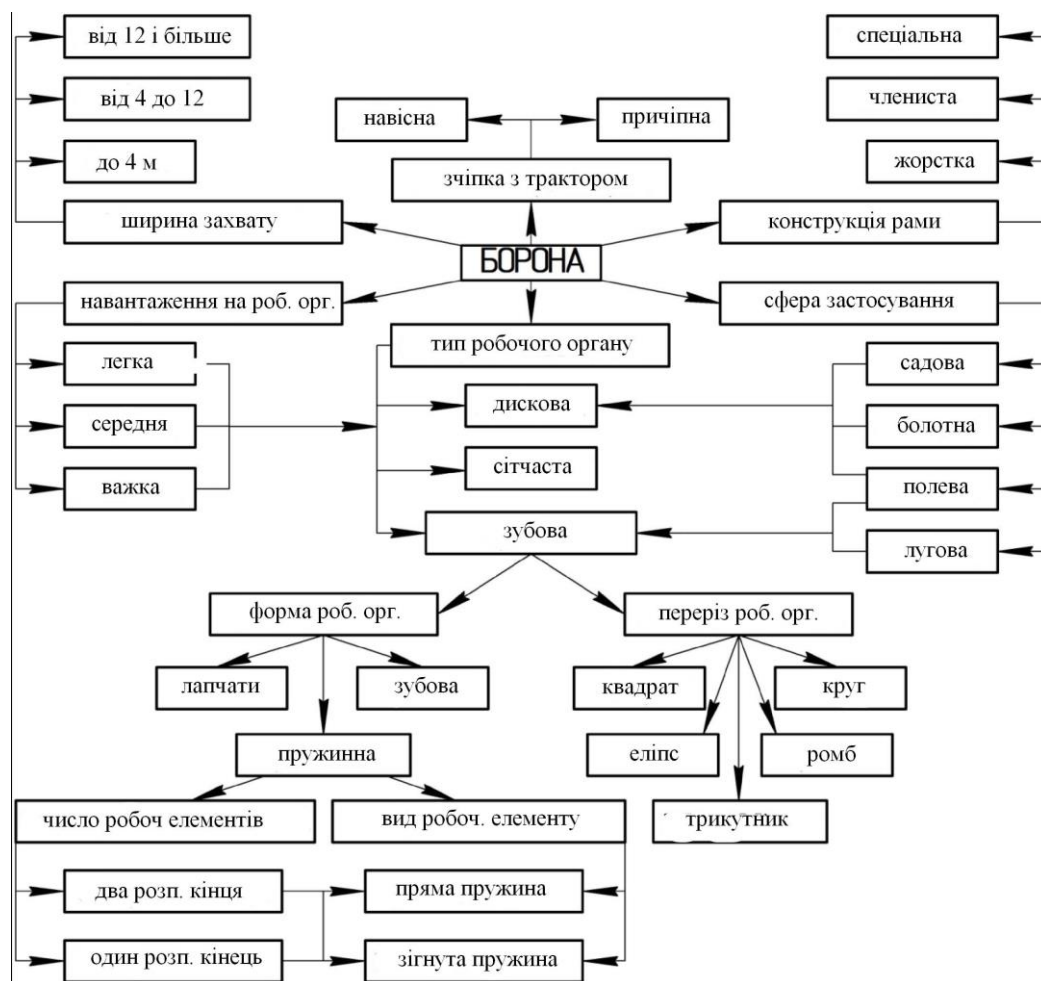


Рис. 1.2. Класифікація борін.

Якісне виконання всіх перерахованих вище функцій, а особливо закриття вологи у весняно-осінній період, найбільш ефективно виконують борони з зубопружними робочими органами. Такі борони є найпростішими, але досить ефективними ґрунтообробними знаряддями для поверхневої обробки ґрунту.

За призначенням дані борони поділяють на польові та лугові. Залежно від конструкції рами розрізняють – жорстку, шарнірну та зчленовану з окремими секціями. З огляду на різну масу борони мають і відповідну глибину обробітку ґрунту: важкі – 0,09...0,12 м, середні – 0,05...0,08 м, легкі – 0,02...0,04 м, при цьому ширину гребенів (відстань між серединами сусідніх борозенок) у легких борін прийнято вважати рівною 0,03 м, у середніх – 0,04...0,05 м та у важких – 0,05...0,08 м. Також класифікуються дані борони і за шириною захвату.

Найбільшим попитом серед сільгосптоваровиробників користуються важкі широкозахватні борони із зубопружними робочими органами завдяки своїй універсальності застосування, високої продуктивності та доступних цінових рамок.

Сучасні конструкції таких борін є результатом розробок, досліджень та випробувань багатьох дослідників та інженерів, нижче представлені деякі з них.



Рис. 1.3. Борона АБ-15-3.

Робочим органом борони є жорстко закріплений ромбоподібний стрижень.

Конструкція борони передбачає, що вона використовуватиметься на несучій системі, переведення якої у транспортне положення здійснюється поворотом несучого бруса на 90° за напрямком руху.

Велика глибина обробки ґрунту, знищення бур'янів і якість вирівнювання поверхні поля досягається установкою борін притупленою стороною назад. При використанні борони на досходовому та післясходовому боронуванні технічних та зернових культур слід орієнтувати робочі органи притупленою стороною вперед.

Оригінальний спосіб кріплення боронувальних секцій до рами дозволяє уникнути їх «ходіння» з боку в бік та підстрибування під час проходження перешкоди.

Технічні характеристики представлені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики борони серії АБ

Показник	АБ-12-3	АБ-15-3	АБ-18-3	АБ-21-3	АБ-24-3
Тип борони	Причіпний				
Маса борони, т	2,1	2,4	2,9	3,1	3,4
Ширина захвату, м	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0
Продуктивність, га/ч	до 13,4	до 18,4	до 23,0	до 27,4	до 32,0
Габарити у робочому стані					
Довжина, м	8,7 ± 0,2				
Ширина, м	12,4	15,4	18,4	21,4	24,4
Висота, м	1,1 ± 0,2				
Габарити у транспортному стані					
Довжина, м	11,2	12,8	14,3	15,8	17,3
Ширина, м	4,4				
Висота, м	2,6 ± 0,2				

Борона має два варіанти конструкцій: з малою (15 метрів і менше) шириною захвату та з шириною захвату понад 20 метрів. У першому випадку бічні бруси з секціями у транспортному положенні укладаються на подовжене дишло, у другому – бічні бруси згортаються за напрямком руху МТА та фіксуються в робочому положенні гнучкою тросовою розтяжкою.

Робочі органи борони представлені 9-дюймовими ромбоподібними зубами з високовуглецевої сталі, які ефективно справляються зі своїми завданнями.



Рис. 1.4. Борона McFarLane WDL 2060.

Особливістю борони є те, що кут нахилу зубів може регулюватися на 50° в одну сторону і на 38° в іншу. Відсутність жорсткого зв'язку між поперечками робочих секцій та ланцюговий підвіс самих секцій до рами забезпечують високий рівень копіювання рельєфу поля.

Технічні характеристики представлені у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики борони McFarLane.

Показник	WDL2040	WDL2050	WDL2060	WDL2070	WDL2080
Тип борони	Причіпний				
Маса борони, т	3,3	4,2	4,6	5,8	6,5
Ширина захв., м	12,2	15,2	18,3	21,0	24,4
Продукт., га/год	до 13,5	до 17,0	до 23,1	до 26,3	до 31,0
Габарити у робочому стані					
Довжина, м	4,2		10,0 ± 0,2		
Ширина, м	12,4	15,4	18,5	21,2	24,6
Висота, м	1,1 ± 0,2				
Габарити у транспортному стані					
Довжина, м	11,2	12,8	14,3	15,8	17,3
Ширина, м	4,7				
Висота, м	2,6 ± 0,2				

Висновки по розділу. Цілі та завдання дослідження

Розглянуто поверхневий обробіток ґрунту, зокрема, боронування та машини, що застосовуються для виконання даних операцій, зокрема, важкі широкозахватні борони із зубопружинними робочими органами.

Виявлено переваги та недоліки цих борін. Розроблено схему класифікації машин для боронування.

Використання в боронах існуючих зубопружних робочих органів, виготовлених із прутка діаметром 14 або 16 мм, не повною мірою задовольняє агротехнічним вимогам боронування. З розглянутих праць вчених встановлено відсутність єдиної думки впливу параметрів зубопружного робочого органу (пружинної частини підвісу, поперечного перерізу прутка, кута установки, глибини обробки та швидкості руху МТА) на якісні агротехнічні та енергетичні показники роботи борони.

Таким чином, наукова проблема полягає в обґрунтуванні раціональних параметрів зубопружних робочих органів важкої широкозахватної борони.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі задачі:

Обґрунтувати конструкторсько-технологічні параметри пружинної та технологічної частини робочого органу, довжину розпущеного кінця та діаметр прутка.

Обґрунтувати раціональні параметри роботи важкої широкозахватної борони з новими зубопружними робочими органами за результатами лабораторних та виробничих випробувань.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом досліджень є технологічний процес роботи зубопружних робочих органів важкої широкозахватної борони. Для цих цілей було спроектовано та виготовлено лабораторний стенд, 3D модель та габаритну схему, з основними розмірами якого наведено на рис. 2.1.

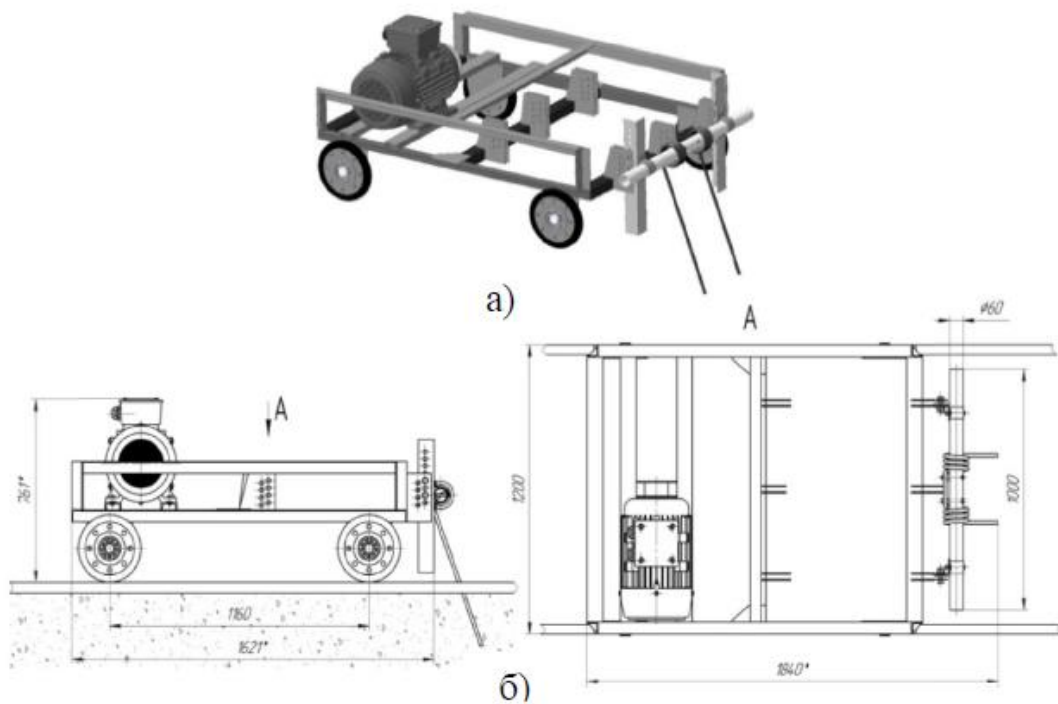


Рис. 2.1. 3d модель (а) та габаритна схема (б) лабораторного стенду

Для визначення якості обробки ґрунту та обчислення тягового опору було спроектовано та зібрано лабораторну установку, зовнішній вигляд та основні елементи якої представлені на рисунку 2.2.

Установка складається із рами 1; регулювальних куточків 2; настановної труби 3; зубопружинного робочого органу 4; двигуна постійного струму 5; троса 6; реєструючого динамометра 7; лабораторного автотрансформатора 8.

Мета даного пристрою - імітація роботи зубопружного робочого органу борони. Проведені дослідження наочно демонструватимуть не тільки процес кришення ґрунтової кірки, але й навантаження, що зазнає робочий орган під час роботи.

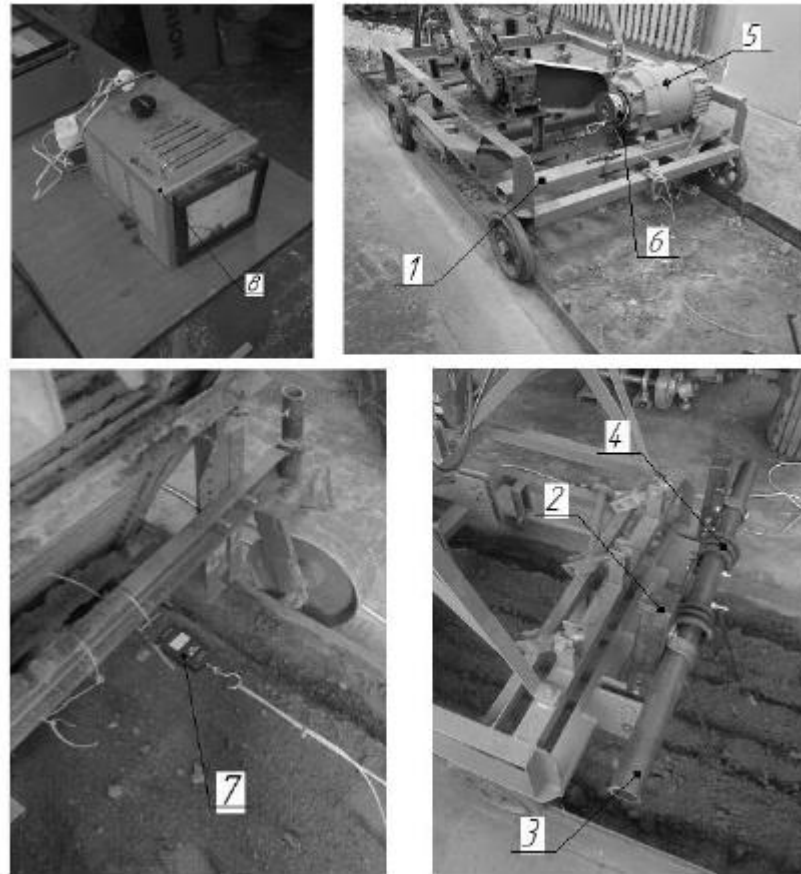


Рис. 2.2. Будова лабораторної установки

Як контрольний зразок були взяті типові зубопружні робочі органи діаметром 14 мм і 16 мм борони серії «КАМА».

Пристрій рухається завдяки двигуну постійного струму 5 і тросу, один кінець якого з'єднаний з динамометром 7, жорстко закріпленим до стійки, інший намотується на шків електродвигуна 6. Двигун постійного струму дозволяє змінювати швидкість руху платформи за рахунок зміни напруги на обмотці якоря за допомогою лабораторного автотрансформатора 8.

При готовності установки запускається двигун, трос починає намотуватися на шків, платформа 1 рухається вздовж ґрунтового каналу, робочий орган 4 робить коливання і розпушує ґрунт. На іншому кінці динамометр фіксує зусилля, яке долає зубопружний робочий орган.

Для підвищення діапазону вимірювання динамометра з межею вимірювання 50 кг (490,5 Н) було використано схему одинарного силового поліспасти з кратністю $a = 4$ (рис. 2.3). Через введення поліспасти змінилися

показання приладу, для точного результату довелося враховувати ККД поліспасту.

Коефіцієнт корисної дії обчислюється дослідним шляхом: на динамометрі спочатку зважується вантаж без використання поліспасту і той самий вантаж, але вже з використанням поліспаста. Відношення цих показань дає коефіцієнт корисної дії η .

$$\eta = \frac{F_1}{F_2 \times a}, \quad (2.1)$$

де F_1 , F_2 – показання динамометра без поліспасту та з поліспастом відповідно, Н.

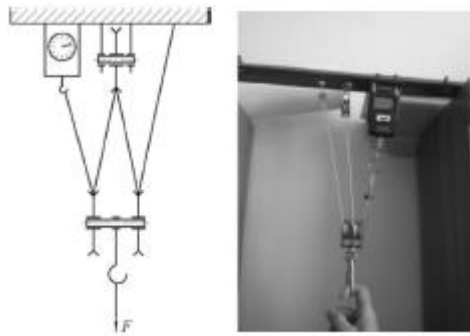


Рис. 2.3. Поліспаст для збільшення діапазону вимірювань динамометра

Щоб унеможливити вплив опору самого візка на показання динамометра, проводився контрольний пробіг візка лабораторної установки без робочих органів по ґрунтовому каналу, фіксувалися показання динамометра, і це значення віднімалося від показань динамометра під час експериментів.

Під час проведення експериментальних досліджень використовуються наступні прилади та обладнання: твердомір ґрунтовий (пенетрометр) моделі Ю.Ю. Ревякіна; тахометр цифровий ТЦ-34; кутомір КИ-13926; комплект вимірювальний К 505; секундомір СОПр-2а-3-000; автотрансформатор АОМН-40-220-75УХЛ4; лінійка металева; динамометр електронний WeiHengWH – А08; електричний двигун постійного струму П-31; канат сталевий за ГОСТ 3241-91 ($\varnothing = 4$ мм, $l = 20000$ мм); фотоапарат BenqDCC800; смартфон Apple iPhone SE; розривна машина УММ-50 (50 т розривне

навантаження); ноутбук SAMSUNG; комплект слюсарного інструменту Енкор 57055; ваги електронні.

Процес роботи зубопружних робочих органів борони заснований на їх взаємодії з ґрунтом з метою кришення ґрунтової кірки та грудок. Для повноцінної картини цього процесу необхідно знати механічні характеристики робочого тіла, тобто твердість та коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, від яких залежить тяговий опір робочого органу та здатність ґрунту руйнуватися під дією зовнішнього впливу. За цими характеристиками можна вказати механічний склад ґрунту.

Твердість ґрунту – це її здатність чинити опір проникненню під тиском твердого тіла. Вона кореляційно пов'язана з опором ґрунту, що виникає при обробці ґрунтообробних машин. Твердість ґрунту обов'язково визначають при державних випробуваннях ґрунтообробних машин. З цією метою використовують твердомір (рис. 2.4).

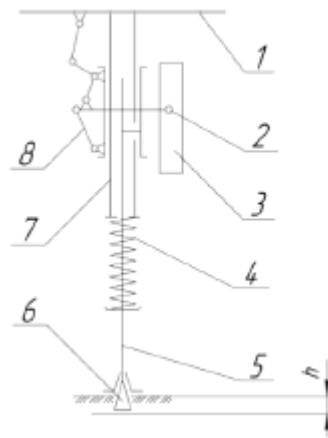


Рис. 2.4. Твердомір (пенетрометр) Ю. Ю. Рєвякіна: 1 – рукоятка; 2 – олівець; 3 – міліметровий папір; 4 – пружина; 5 – шток; 6 – наконечник; 7 – рамка; 8 – передавальний механізм.

У твердомірі при вдавлюванні в ґрунт наконечника 6 конічної форми одночасно фіксуються на діаграмі 3 значення зусилля, необхідного для подолання опору ґрунту і істотно залежущого від його щільності та вологості.

Відповідно до стандарту твердість ґрунту слід визначати за допомогою наконечника конічної форми, що має такі параметри: для твердих ґрунтів –

площа основи 100 мм^2 , кут при вершині $22^\circ 30'$, для пухких ґрунтів відповідно 200 мм^2 та 30° . При цьому на діаграмі (рис. 2.5) видно три характерні ділянки, що відповідають різним стадіям деформації ґрунту.

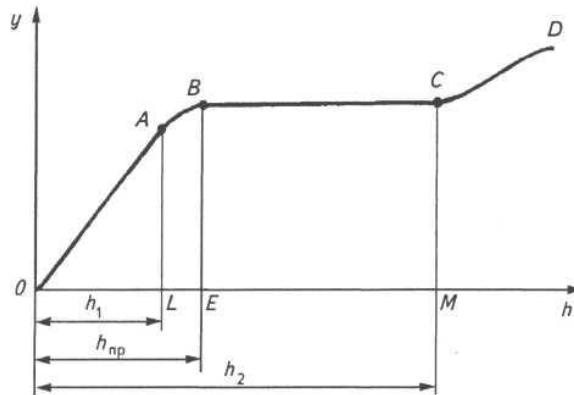


Рис. 2.5. Діаграма зміни деформації пружини твердоміра за глибиною занурення наконечника у ґрунт

Початкова фаза деформації ґрунту характеризується майже лінійним збільшенням сили F_1 (ділянка OA діаграми), малою тривалістю та незначною глибиною занурення наконечника h_1 . Необхідна для подолання опору ґрунту сила, H ,

$$F_1 = ky_1, \quad (2.2)$$

де k – жорсткість пружини, Н/мм;

y_1 – деформація пружини, мм.

Ознаки другої фази – уповільнене зростання опору ґрунту подальшому впровадженню в нього наконечника (ділянка AB діаграми) та утворення попереду наконечника конусоподібного наросту із сильно ущільненого ґрунту, що розклинає та ущільнює нижні його горизонти. Наприкінці цієї фази (точка) напруження досягає границі текучості ґрунту.

Третя фаза деформації ґрунту (ділянка BC діаграми) характеризується безперервним збільшенням глибини занурення наконечника при постійному значенні F . Після занурення наконечника на глибину орного шару h_2 починається підорний шар, і зусилля F швидко наростає (ділянка CD діаграми).

З урахуванням діаграми твердість ґрунту, P_a ,

$$P = F_1/s = y_1k/s, \quad (2.3)$$

де s – площа основи наконечника, мм^2 ;

y_1 – середнє значення ординати діаграми на ділянці ОАВ, мм .

В.А. Желіговський пропонує також визначати граничне значення тиску $p_{пр}$ на ґрунт та коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту. Граничне значення тиску, Па, обчислюють за максимальною ординатою (Рис.2.2).

$$p_{пр} = y_{\max}k/s, \quad (2.4)$$

Коефіцієнт об'ємного зминання, Н/мм^2 , характеризуючий опір ґрунту впровадженню протягом першої фази деформації, розраховують за формулою:

$$q = F_1(sh_1) = y_1k / (sh_1), \quad (2.5)$$

де h_1 – деформація ґрунту в межах прямої пропорційності діаграми (ділянка ОА), мм .

Як основний критерій оптимізації при постановці дослідів прийнято якість кришення ґрунту на відповідність вимогам ДСТУ, як найбільш значущий оцінюваний параметр при обробітку ґрунту.

Вміст в обробленому шарі ґрунту різного розміру визначається дослідним шляхом методом відбору проб ґрунту в чотирьох місцях, через рівні проміжки один від одного по всій довжині обробленої ділянки (Рис. 2.6).

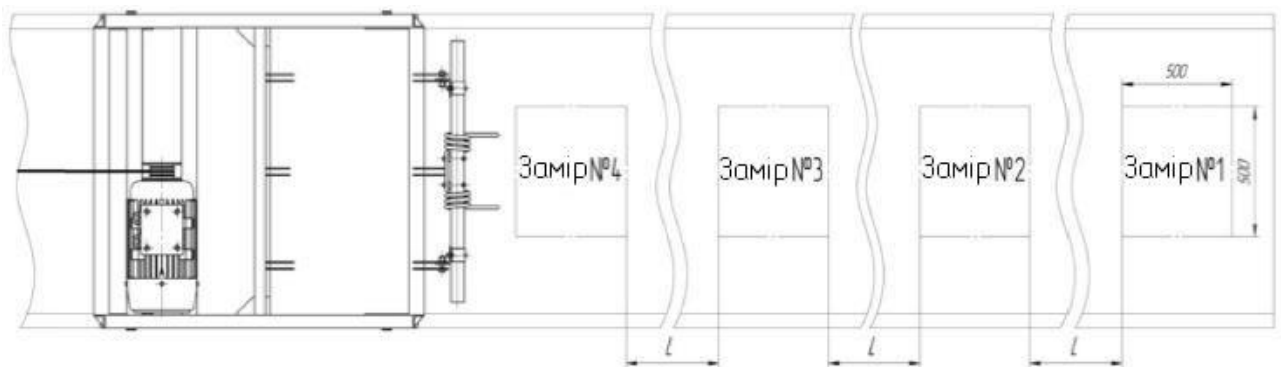


Рис. 2.6. Схема місць відбору проб на ґрунтовому каналі

Для визначення комковатості обробленого ґрунту застосовується рамка розміром 0,5 х 0,5 метра з набором змінних решіт діаметром отворів 2,5 см, 5,0 см, та 10,0 см (Рис. 2.7), а також ваги з похибкою взвішування не більше 50 г.

Рамка накладається на ґрунт, і з неї на глибину обробки ґрунту спочатку вибираються більші грудки, а потім менші і кладуть їх на відповідні їм розміру

решета. Решета в наборі розміщуються один під одним у порядку зменшення діаметра їх отворів. Під набір решіт встановлюється піддон, куди просіюється весь ґрунт, що залишився в рамці діаметром грудочок менше 2,5 см.



Рис. 2.7. Рамка з набором змінних решіт

Маса ґрунту кожної фракції зважується окремо з похибкою не більше 50 г, далі обчислюється їх масова частка по відношенню до всієї маси ґрунту у рамці у відсотках і округляється до цілих значень.

Принцип регулювання глибини обробки робочим органом полягає у вертикальному переміщенні регулювальних уголків (Рис. 2.8) щодо рами.

Фіксація у заданому положенні здійснюється за допомогою стопорних болтів. Значна кількість отворів, як на уголках, так і на провушинах рами, дозволяє здійснювати дискретне регулювання глибини обробки ґрунту робочими органами з малим кроком, з урахуванням регулювання кута атаки.

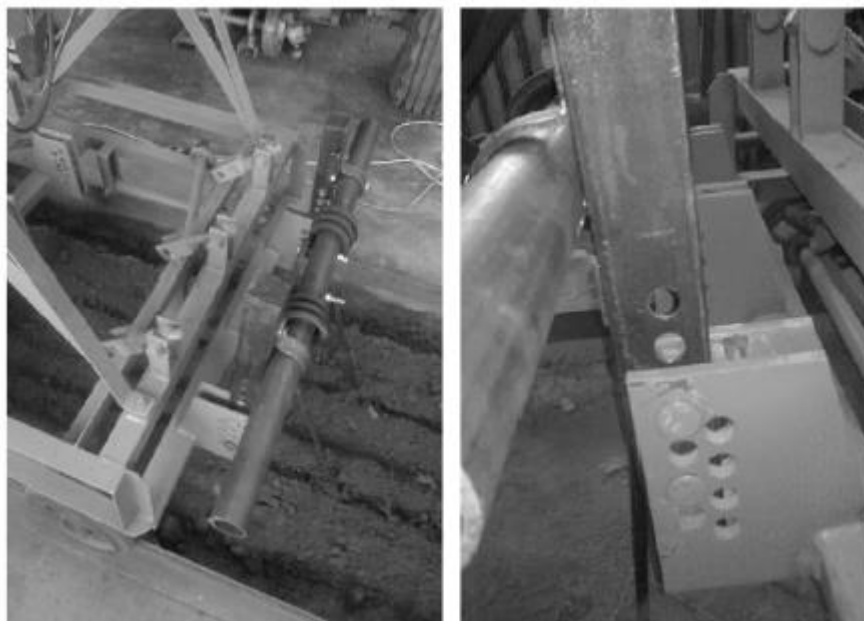


Рис. 2.8. Регулювання глибини обробітку ґрунту

Регулювання кута атаки полягає у повороті настановної труби навколо власної осі (рис. 2.9). На трубі просвердлені отвори для установки труби з наступною фіксацією болтом у потрібному положенні.

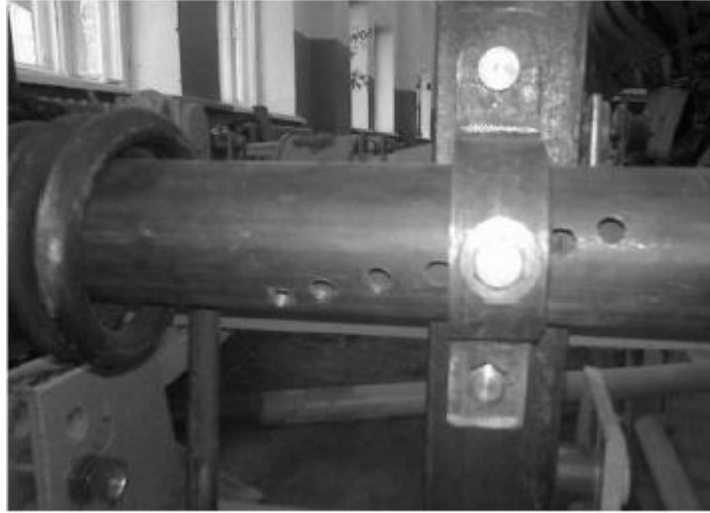


Рис. 2.9. Регулювання кута атаки робочого органу

Швидкість зубопружного робочого органу при роботі визначається швидкістю руху самої установки. Швидкість руху установки варіюється частотою обертання валу двигуна постійного струму та лабораторним автотрансформатором. Результати вимірювання швидкості фіксувалися двома способами. За показаннями секундоміра (час t), при подоланні лабораторною установкою тарованої ділянки ґрунтового каналу завдовжки $S = 5$ м

$$V = \frac{S}{t}, \quad (2.7)$$

Також вимірювалася частота обертання барабана n , встановленого на валу двигуна, на який намотувався канат:

$$V = \frac{\pi \times n \times D}{60}, \quad (2.8)$$

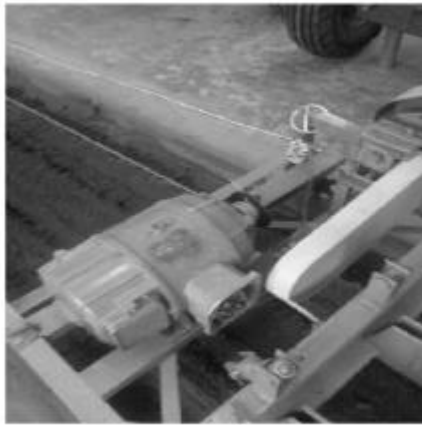
де D – діаметр барабана, на який намотувався канат, м.

Двигун та його схема підключення представлена на рис. 2.10.

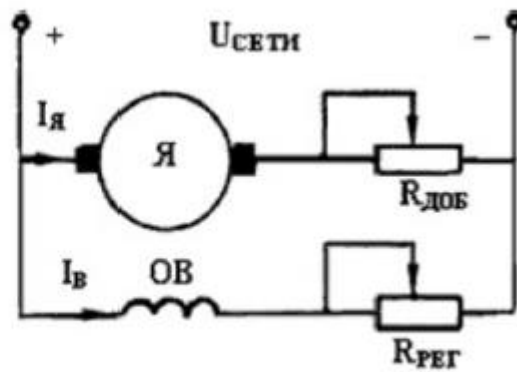
Для дослідження застосовано електричний двигун постійного струму змішаного збудження П-31 з характеристиками:

- номінальна потужність $N = 1,5$ кВт;
- номінальна частота обертання $n = 1500$ об/хв.;

- вхідна напруга $U = 220 \text{ В}$.



а)



б)

Рис. 2.10. Електродвигун постійного струму (а) та його схема підключення (б)

Висновки по розділу

В другому розділі магістерської роботи представлено методи, методика та обладнання для проведення досліджень.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗУБОПРУЖИННИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТЯЖКОЇ ШИРОКОЗАХВАТНОЇ БОРОНИ

Відповідно до матриці планування експериментів, а також рівням варіювання факторів були поставлені досліди для трьох зубопружних робочих органів: типовий зубопружний робочий орган, виготовлений з прутка діаметром $d = 14$ мм, типовий зубопружний робочий орган, виготовлений із прутка діаметром $d = 16$ мм, новий зубопружний робочий орган, виготовлений із прутка діаметром $d = 16$ мм. Для розрахунків визначався ККД поліспасту рис. 3.1).



Рис. 3.1. Визначення ККД поліспасту

Поліспаст з кратністю $a = 4$ дозволяє збільшити силовий діапазон застосування динамометра приблизно в 4 рази, але при цьому слід враховувати коефіцієнт корисної дії поліспасту.

На прилад без поліспасту навішується тарований вантаж масою m кг. Потім той самий вантаж навішується на динамометр за допомогою поліспасту.

Нові показання ваги фіксуються зі значенням m_1 . При використанні тарованого вантажу масою $m = 4,8$ кг показання динамометра були $m_1 = 0,92$ кг:

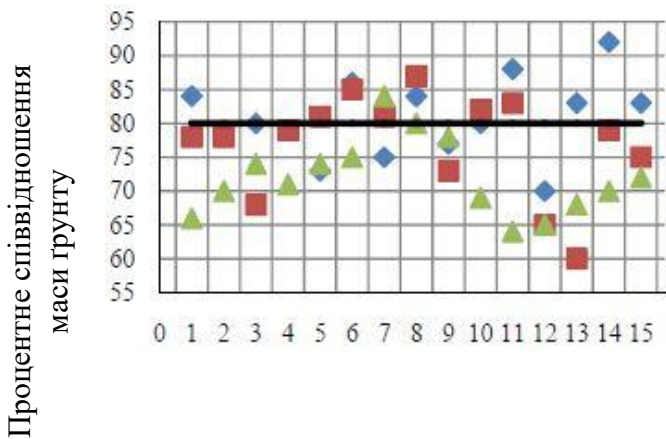
$$\eta = \frac{0,92 \times 4}{4,8} = 0,766,$$

Істинні значення навантаження (опір пружинних робочих органів) визначається F_c наступним чином:

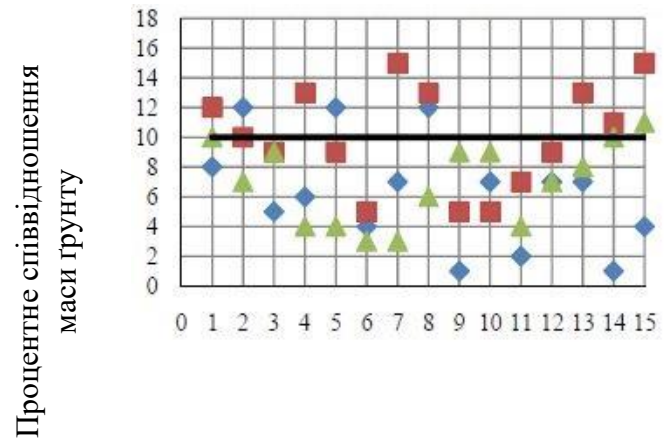
$$F_c = m_1 a g / \eta , \tag{3.1}$$

де g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Грудки до $d = 2,5 \text{ см}$



Грудки від $d = 5,0$ до $10,0 \text{ см}$



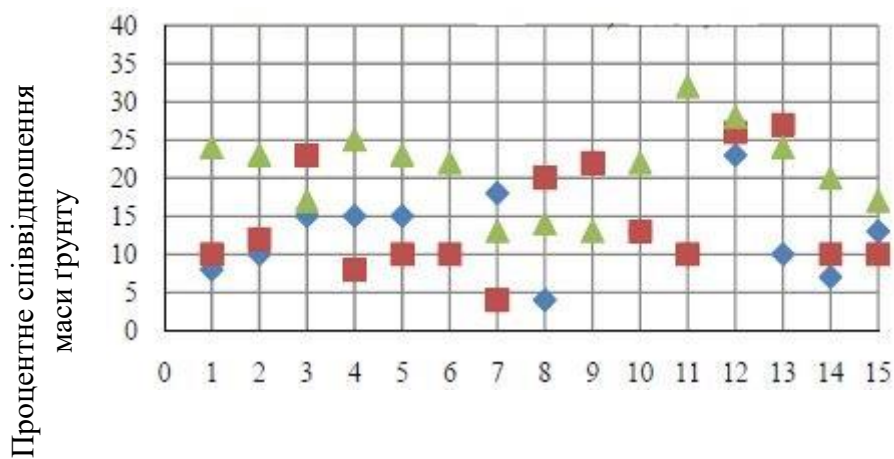
Номер заміру

- ◆ Типовий робочий орган діаметром прутка $d = 14 \text{ мм}$
- Типовий робочий орган діаметром прутка $d = 16 \text{ мм}$
- ▲ Новий робочий орган діаметром прутка $d = 16 \text{ мм}$

Номер заміру

- ◆ Типовий робочий орган діаметром прутка $d = 14 \text{ мм}$
- Типовий робочий орган діаметром прутка $d = 16 \text{ мм}$
- ▲ Новий робочий орган діаметром прутка $d = 16 \text{ мм}$

Грудки від $d = 2,5$ до $5,0 \text{ см}$



Номер заміру

- ◆ Типовий робочий орган діаметром прутка $d = 14 \text{ мм}$
- Типовий робочий орган діаметром прутка $d = 16 \text{ мм}$
- ▲ Новий робочий орган діаметром прутка $d = 16 \text{ мм}$

Рис. 3.2. Результати дослідження кришення ґрунту

«Холостий» прогін візка лабораторної установки без пружинних робочих органів дозволив знайти власний опір руху ґрунтовим каналом візка. Після обробки показань динамометра одержали опір платформи без пружинних робочих органів.

$$F_c^0 = 3,9 \times 4 \times 9,81/0,766 = 199,8 \text{ Н.}$$

Результати дослідів дозволили встановити вплив факторів на критерії оптимізації. Досліди проведені на ґрунтовому каналі за допомогою дослідної установки. Обробка даних наводилася за трирівневим планом Бокса-Бенкіна. В результаті експериментів отримаємо:

1. Численні показники кришення ґрунту, які вкажуть на якість обробітку ґрунту залежно від типу зубопружного робочого органу.
2. Чисельне значення критерію оптимізації, що кількісно вкаже на якість обробки.

Таблиця 3.1 – Середні значення комковатості ґрунту після обробки ґрунту різними зубопружинними робочими органами

	Комки в ґрунті,%		
	до 2,5 см	от 2,5 до 5,0 см	от 5,0 до 10,0 см
Типовий зубопружин- ний робочий орган діа- метром прутка $d = 14$ мм	80,8	12,9	6,3
Типовий зубопружин- ний робочий орган діа- метром прутка $d = 16$ мм	75,6	14,3	10,1
Новий зубопружинний робочий орган діамет- ром прутка $d = 16$ мм	72,0	21,1	6,9
Допустиме значення по ДСТУ, %	не більше 80,0	...	не більше 10,0

Розрахунок коефіцієнтів регресії здійснювався з допомогою програми «StatGraphicsPlus v5.0». В результаті розрахунку коефіцієнтів отримано математичну модель у закодованому вигляді, що пов'язує вплив трьох факторів на якість обробітку ґрунту.

Значимість коефіцієнтів регресії перевіряємо за критерієм Стюдента. Коефіцієнти регресії вважаються значущими, якщо розрахункове значення t_p більше $t_{\text{табл}}$. Табличне значення коефіцієнта Стюдента дорівнює $t_{\text{табл}} = 2,06$.

Графічне відображення значення коефіцієнтів математичних моделей представлено на рисунках 3.3-3.5 (діаграма Парето).

Рівняння математичної моделі для типового зубопружного робочого органу, виготовленого з прутка діаметром 14 мм, має вигляд:

$$K_{\text{опт}} = 11390 - 2745X_1 + 793X_2 + 1000X_3 - 2497X_1^2 + 419X_1X_2 - 1786X_1X_3 - 1038X_2^2 - 930X_2X_3 + 411X_3^2. \quad (3.2)$$

Таблиця 3.2 – Результати експериментів для типового зубопружного робочого органу, виготовленого з прутка діаметром 14 мм

№	Глибина X_1	Кут X_2	Швидкість X_3 ,	Показання динамометра*, кг	Оброблені показання F_c , Н	Критерій оптимізації, $K_{\text{опт}}$	Комки в ґрунті, %	
							до 2,5 см	5-10 см
1	1	0	1	6,28	188,76	6984,24	84	8
2	-1	0	1	7,95	238,96	15914,72	78	12
3	0	1	0	11,85	356,19	17809,27	80	5
4	-1	-1	1	7,61	228,74	11437,01	79	6
5	1	1	0	6,12	183,95	5109,83	73	12
6	0	0	0	10,61	318,91	11389,77	86	4
7	-1	1	1	5,96	179,14	4976,24	75	7
8	0	1	1	8,13	244,37	11625,04	84	12
9	0	0	0	10,91	327,93	11711,82	77	1
10	1	0	-1	8,02	241,06	8051,53	80	7
11	0	-1	1	6,72	201,99	9608,89	88	2
12	0	-1	-1	11,21	336,95	8038,63	70	7
13	0	0	0	10,31	309,90	11067,73	83	7
14	1	-1	-1	11,21	336,95	8038,63	92	1
15	-1	0	0	11,23	337,55	6263,42	83	4
Середнє значення комковатості, %							80,8	6,3

*Примітка: у показаннях динамометра вже віднято значення холостого прогону.

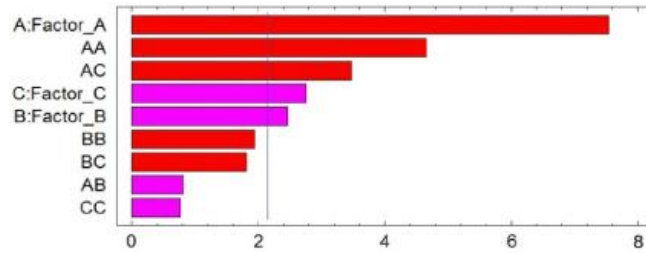


Рис. 3.3. Значення коефіцієнтів регресії (діаграма Парето) для типового зубопружного робочого органу, виготовленого з прутка діаметром 14 мм

Рівняння математичної моделі для типового зубопружного робочого органу, виготовленого з прутка діаметром 16 мм, має вигляд:

$$K_{\text{опт}} = 11299 - 1878X_1 + 1617X_2 + 4905X_3 - 367X_1^2 - 830X_1X_2 + 1831X_1X_3 + 1525X_2^2 + 461X_2X_3 - 1012X_3^2. \quad (3.3)$$

Таблиця 3.3 – Результати експериментів для типового зуборужного робочого органу, виготовленого з прутка діаметром 16 мм

№	Глибина X_1	Кут X_2	Швидкість X_3 ,	Показання динамометра*, кг	Оброблені показання F_c , Н	Критерій оптимізації, $K_{\text{опт}}$	Комки в ґрунті, %	
							до 2,5 см	5- 10 см
1	1	0	1	18,79	564,79	20893,54	78	12
2	-1	0	1	12,08	363,10	24183,68	78	10
3	0	1	0	13,85	416,30	14885,79	68	9
4	-1	-1	1	10,35	311,10	20701,65	79	13
5	1	1	0	10,62	319,21	8866,38	81	9
6	0	0	0	10,11	303,88	10847,25	85	5
7	-1	1	1	4,72	141,87	9451,23	81	15
8	0	1	1	11,86	356,49	16951,18	67	13
9	0	0	0	10,09	303,28	10839,91	73	5
10	1	0	-1	8,19	246,17	4559,04	82	5
11	0	-1	1	12,8	384,74	18284,54	83	7
12	0	-1	-1	9,5	285,55	6822,65	65	9
13	0	0	0	9,91	303,78	10849,24	60	13
14	1	-1	-1	10,22	313,20	5811,51	79	11
15	-1	0	0	4,99	153,00	7650,16	75	15
Середнє значення комковатості, %							75,6	10,1

*Примітка: у показаннях динамометра вже віднято значення холостого прогону.

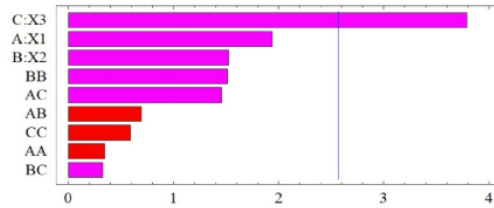


Рис. 3.4 Значення коефіцієнтів регресії (діаграма Парето) для типового зуборужного робочого органу, виготовленого з прутка діаметром 16 мм

Рівняння математичної моделі для нового зубопружного робочого органу діаметром 16 мм, має вигляд:

$$K_{\text{опт}} = 15573 + 3337X_1 + 3351X_2 + 5229X_3 - 3717X_1^2 - 337X_1X_2 + 671X_1X_3 + 134X_2^2 + 216X_2X_3 + 851X_3^2. \quad (3.4)$$

Таблиця 3.4 – Результати експериментів для нового зубопружного робочого органу, виготовленого з прутка діаметром 16 мм

№	Глибина X_1	Кут X_2	Швидкість X_3 ,	Показання динамометра*, кг	Оброблені показання F_c , Н	Критерій оптимізації, $K_{\text{опт}}$	Комки в ґрунті, %	
							до 2,5 см	5-10 см
1	1	0	1	19,92	598,674	22150,9	66	10
2	-1	0	1	6,91	207,7	13832,8	70	7
3	0	1	0	17,68	531,423	18979,4	74	9
4	-1	-1	1	5,12	153,896	10249,5	71	4
5	1	1	0	22,15	665,781	18493,9	74	3
6	0	0	0	14,61	439,145	15683,8	75	3
7	-1	1	1	9,26	278,336	18537,2	84	3
8	0	1	1	17,28	519,399	24708,6	80	6
9	0	0	0	14,27	428,925	15318,8	78	9
10	1	0	-1	18,12	544,648	10106,2	69	9
11	0	-1	1	12,65	380,232	18088,2	64	4
12	0	-1	-1	11,93	358,59	8554,93	65	7
13	0	0	0	15,10	453,873	16209,8	68	8
14	1	-1	-1	12,83	385,642	7155,8	70	10
15	-1	0	0	5,29	158,988	7949,4	72	11
Середнє значення комковатості, %							72,0	6,9

*Примітка: у показаннях динамометра вже віднято значення холостого прогону.

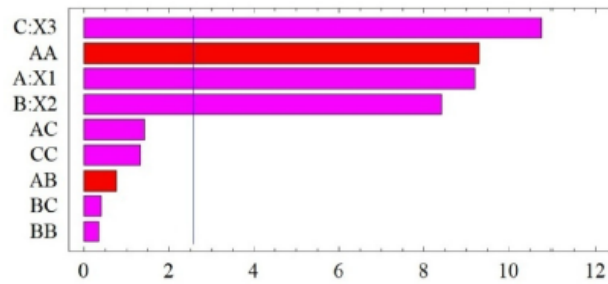


Рис. 3.5. Значення коефіцієнтів регресії (діаграма Парето) нового зуборужного робочого органу, виготовленого з прутка діаметром 16 мм

Рівняння моделей (3.2...3.4) після відсіву незначних коефіцієнтів значно спрощуються, але дають досить високу похибку (відхилення від дослідних даних). Тому подальший аналіз проводимо виходячи з повних рівнянь регресії.

Рівняння моделей (3.2 ... 3.4) показує, що вплив у заданих інтервалах варіювання факторів на параметр оптимізації надають всі три критерії однаковою мірою: глибина заглиблення пружинного робочого органу в ґрунт X_1 , кут атаки пружинного робочого органу X_2 , швидкість руху робочого органу X_3 . Негативний знак перед коефіцієнтом вказує на зменшення параметра оптимізації при зростанні параметра, що вивчається, а позитивний – на зростання параметра.

На рисунках 3.6 – 3.7 показані функціональні залежності критерію $K_{\text{опт}}$ від зазначених факторів (одиначні ефекти), отримані за допомогою програми StatGraphicsPlus v5.0.

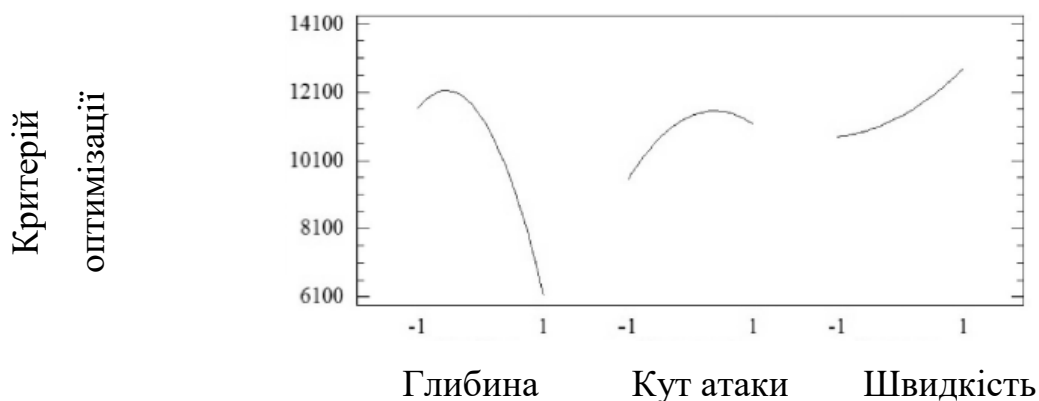


Рис. 3.6. Графік функціональної залежності критерію оптимізації від факторів (типовий зубопружний робочий орган діаметром 14 мм)

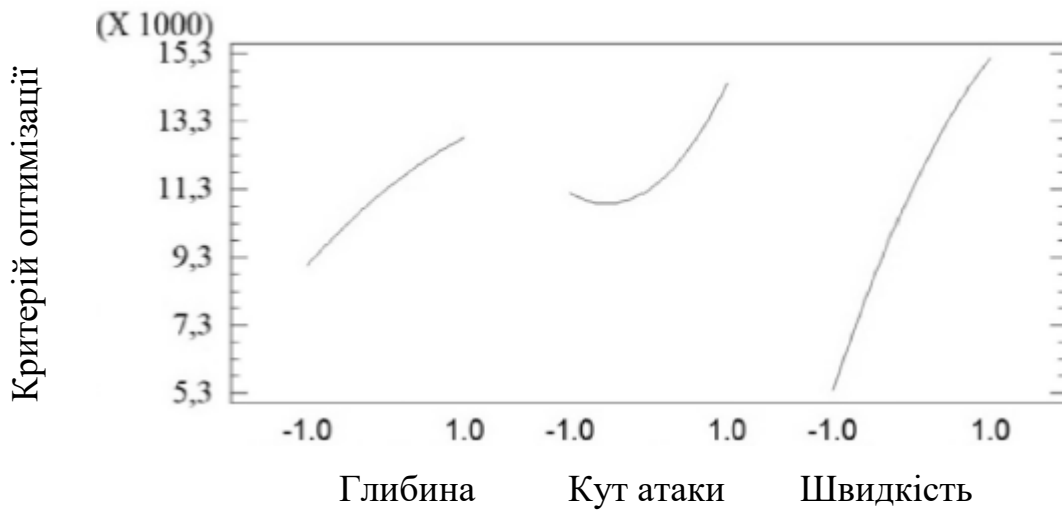


Рис. 3.7. Графік функціональної залежності критерію оптимізації від факторів (типовий зубопружний робочий орган діаметром 16 мм)

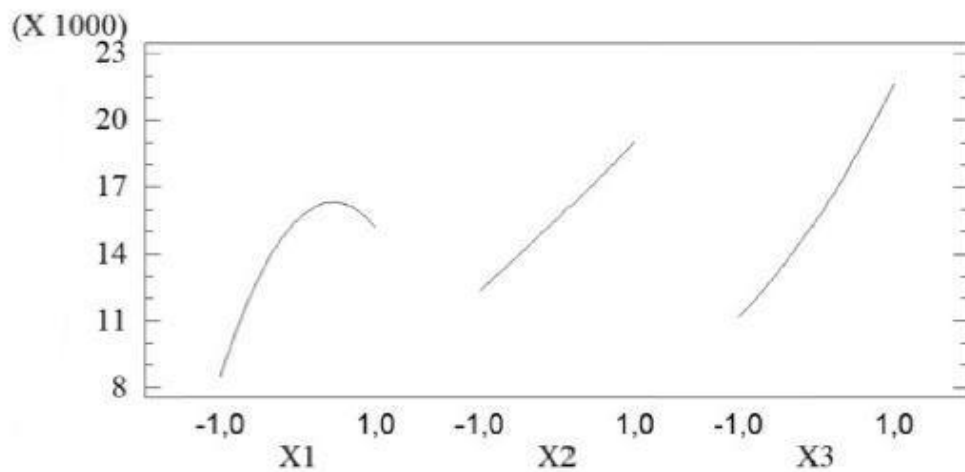
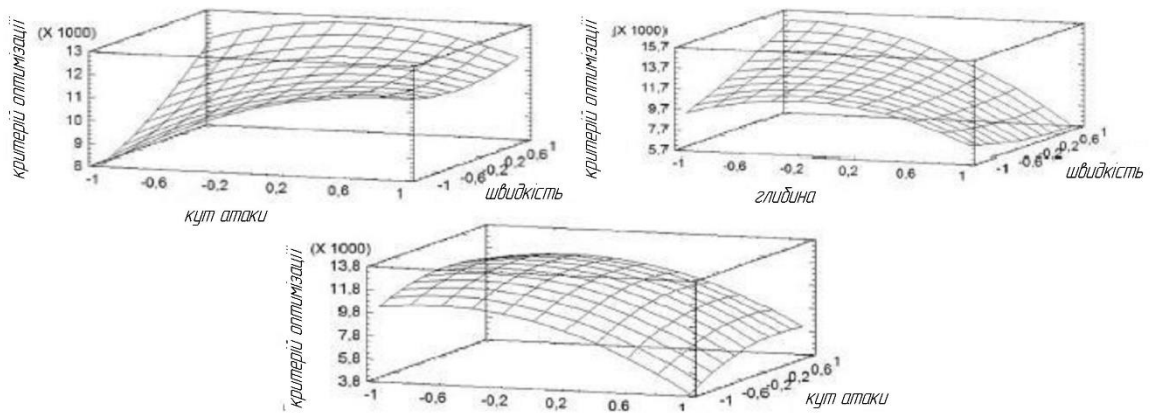
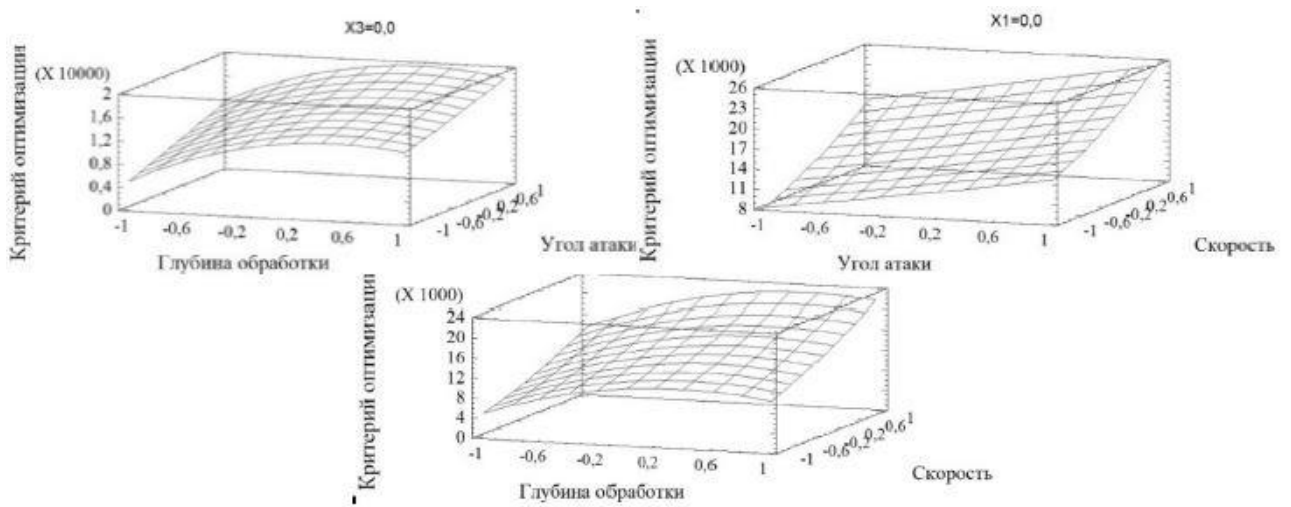
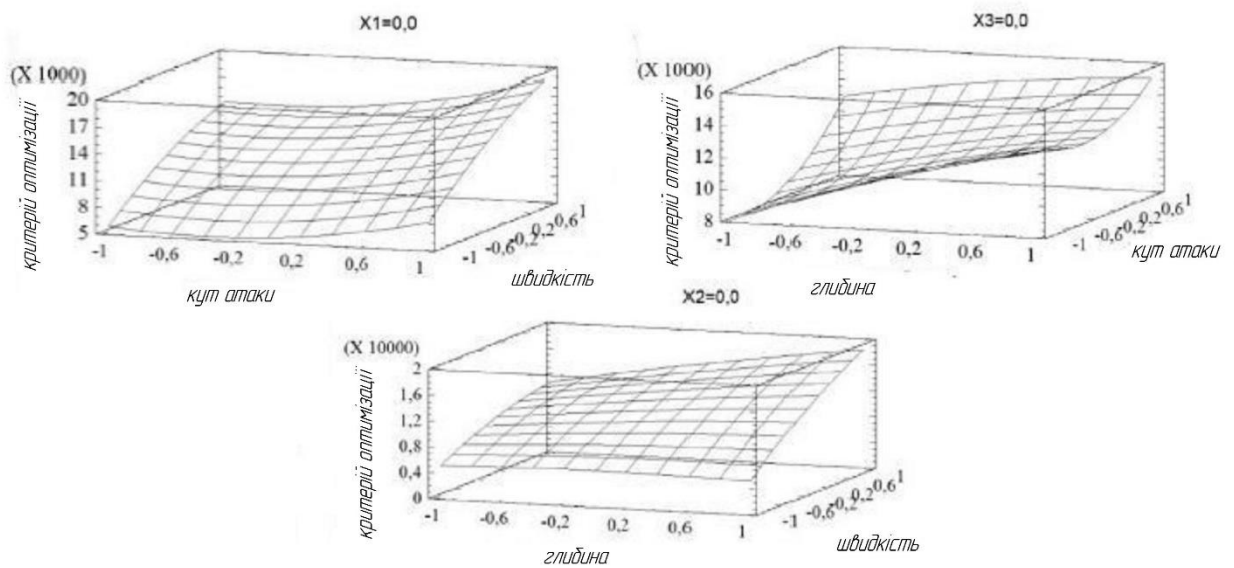


Рис. 3.8. Графік функціональної залежності критерію оптимізації від факторів для нового зубопружного робочого органу діаметром 16 мм

Отримано графічні зображення поверхні відгуків, що зображують залежність між критерієм оптимізації та двома незалежними змінними $K = f(h, V)$, $K = f(\alpha, V)$, $K = f(h, \alpha)$. Графічне зображення поверхонь відгуків представлено на рисунках 3.9 – 3.11.

Рис. 3.9. Поверхні відгуків (типовий робочий орган $d = 14$ мм)Рис. 3.10. Поверхні відгуків (типовий робочий орган $d = 16$ м)Рис. 3.11. Поверхні відгуків (новий робочий орган $d = 16$ м)

Для пошуку можливого екстремуму були побудовані у програмі «StatGraphicsPlus v5.0» двовимірні перерізи, що характеризують залежність коефіцієнта оптимізації $K_{\text{опт}}$ від керованих факторів (рис. 3.12-3.14).

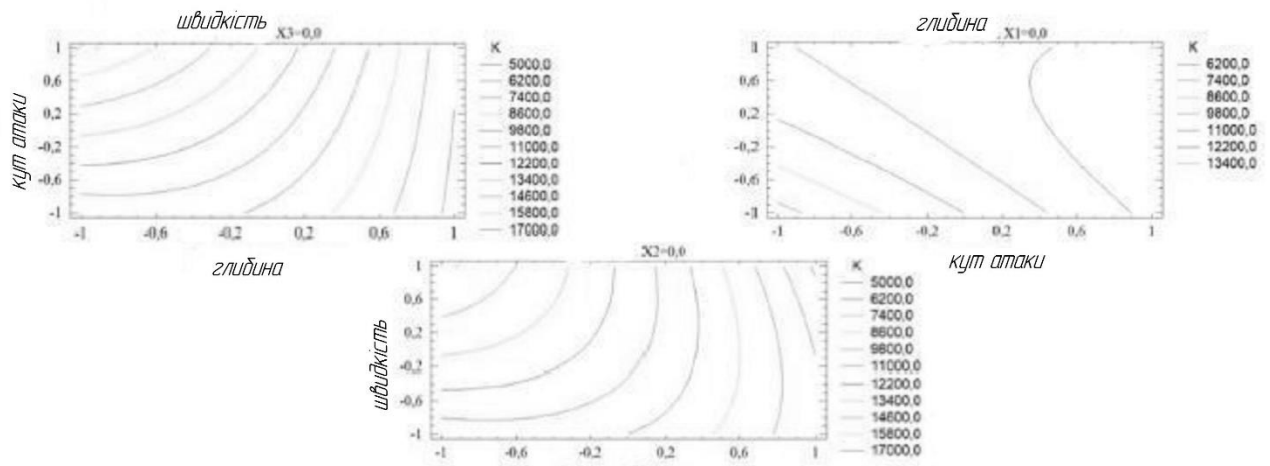


Рис. 3.12. Двовірні перерізи, що характеризують критерій оптимізації (типовий зубопружний робочий орган діаметром 14 мм)

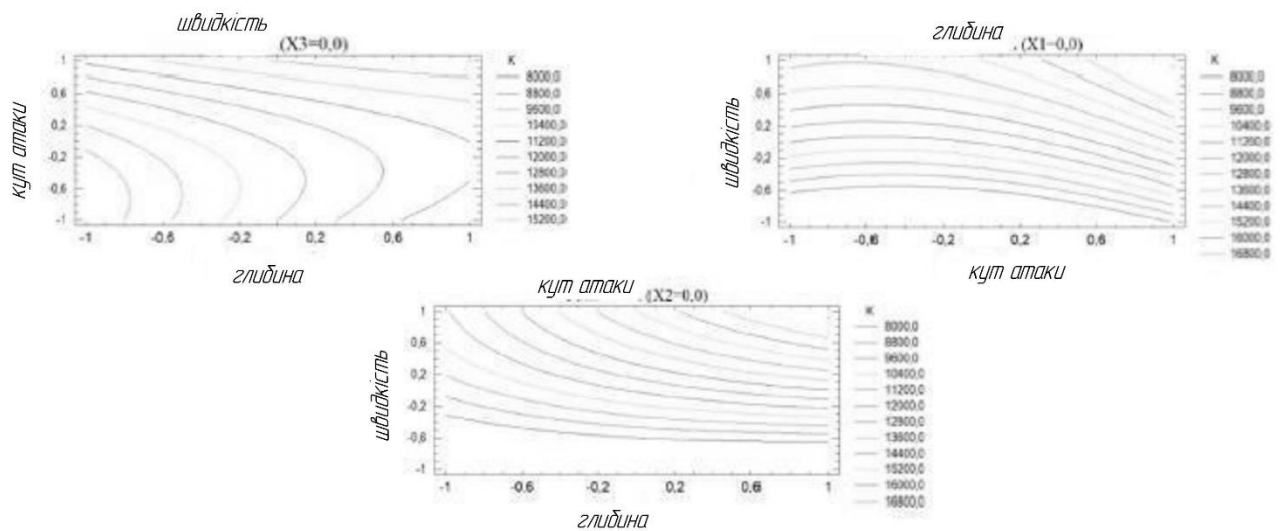


Рис. 3.13. Двовірні перерізи, що характеризують критерій оптимізації (типовий зубопружний робочий орган діаметром 16 мм)

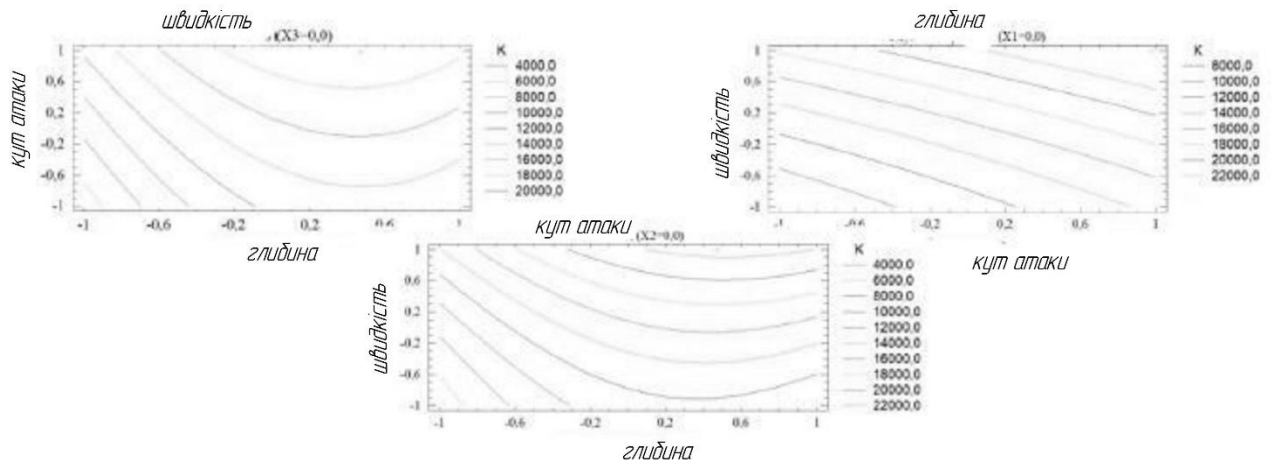


Рис. 3.14. Двомірні перерізи, що характеризують критерій оптимізації (новий зубопружний робочий орган діаметром 16 мм)

З аналізу отриманих даних випливає, що для факторів глибина обробки та кут атаки є центром поверхні відгуку, а для швидкості руху робочого органу в перерізах поверхні відгуку центр відсутній.

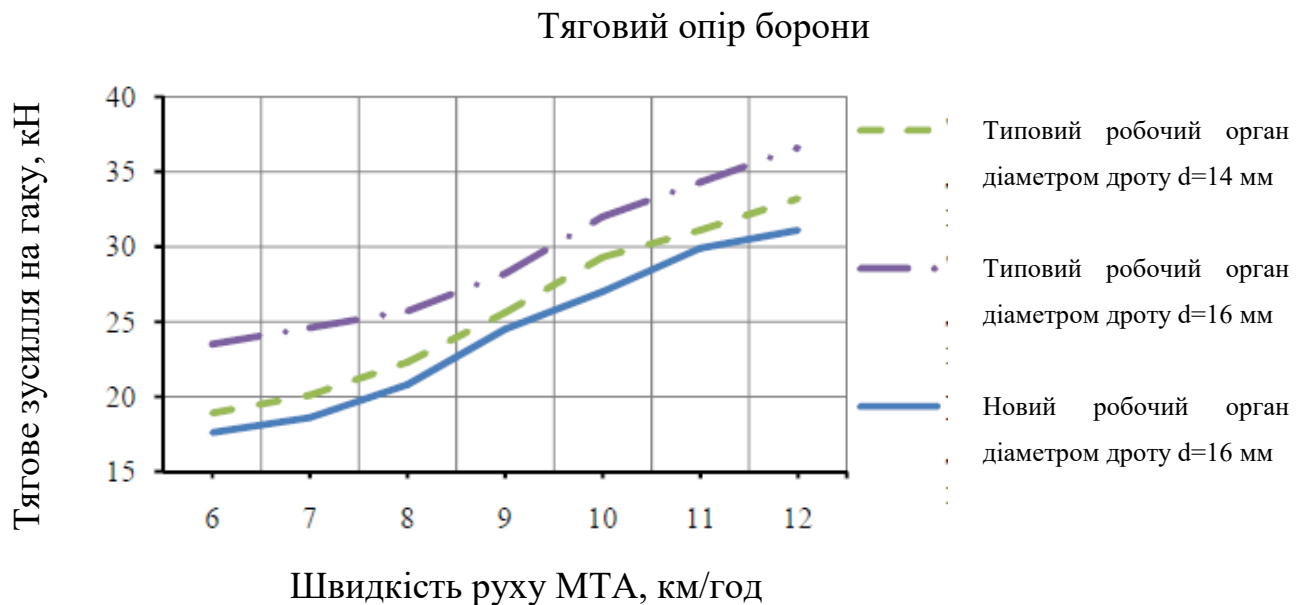


Рис. 3.15. Залежність тягового опору борони від швидкості МТА

Зі зростанням швидкості тягове зусилля борони лінійно збільшується, причому тяговий опір зубопружного робочого органу діаметром $d = 16$ мм значно перевищує опір такого ж робочого органу $d = 14$ мм, одночасно з цим

новий зубопружний робочий орган $d = 16$ мм має найменший опір із розглянутих варіантів.

Насамперед це обумовлюється тим, що новий робочий орган має більш жорстку конструкцію порівняно зі своїми попередниками, по-друге, даний робочий орган під час роботи зазнає автоколивальних рухів у всіх напрямках, що, у свою чергу, зменшує тяговий опір робочих органів за рахунок ефекту вібропластичного руйнування ґрунту.

У виробничих умовах програма досліджень передбачає виконання наступних пунктів:

- підтвердити якість обробітку ґрунту на відповідність вимогам ДСТУ для нових зубопружних робочих органів;
- порівняти паливно-енергетичні витрати МТА при роботі борін, укомплектованими різними типами зубопружних робочих органів;
- вивчити довговічність роботи нових зубопружних робочих органів, встановлених на бороні, і порівняти їх з існуючими конструкціями робочих органів.

Виробничі випробування нових зубопружних робочих органів проводилися на бороні «КПШ–15» протягом травня 2020 року з метою виявити показники надійності та довговічності нових робочих органів у бороні «КАМА-15» на полях протягом квітня-травня 2021 року з метою порівняння паливно-енергетичних витрат МТА, укомплектованих різними типами зубопружних робочих органів.

В обох випадках борона має центральне дишло з двома секціями зубопружних робочих органів по 15 шт. в кожній, і два бічні бруси з трьома секціями зубопружних робочих органів по 15 шт. в кожній. На кожному брусі та на центральному дишлі замінили в одній із секцій робочі органи на нові, виготовлені з прутка діаметром 16 мм, всього 45 штук.

За статистичними спостереженнями в процесі експлуатації борони відбувалася поломка 30...40 зубопружних робочих органів (25...33%) внаслідок

втомлених руйнувань. В результаті виробничих випробувань спостерігалися поломки зубопружних робочих органів контрольної групи (стара конструкція пружинних робочих органів, виготовлена з прутка з діаметром 16 мм) у кількості 12 штук з 80 (15 %). Нові робочі органи виявили стійкість до втомлених руйнувань.

За час випробувань жодної поломки внаслідок втомлених руйнувань не сталося, а також встановлено, що витрата палива при виконанні робіт типовими робочими органами з діаметром прутка 16 мм на глибину 0,09 м, за даними паливного витратоміра, становить 515...535 мл, що складає 2,71...2,85 кг/га відповідно. Для нового зубопружного робочого органу, виготовленого з прутка діаметром 16 мм, цей показник склав 410...420 мл або 2,47...2,57 кг/га.

Таким чином, витрата палива при використанні нових зубопружних робочих органів у складі важкої широкозахватної борони нижче на 8,86 ... 9,82%, ніж у типових робочих органів, виготовлених з прутка $d = 16$ мм.

В обох випадках поля підприємств представлені суглинистими ґрунтами, при цьому якість обробленого ґрунту новими робочими органами повністю відповідає вимогам ДСТУ. Борона працювала на глибині обробки ґрунту 0,05...0,09 м з кутом атаки 70...90°, на швидкостях 6...12 км/год і агрегувалася з трактором тягового класу 3 (Т-150К, ХТЗ-150К).

Висновки по розділу

За час випробувань жодної поломки нових робочих органів унаслідок втомлених руйнувань не сталося, при цьому якість обробленого ґрунту повністю відповідає вимогам ДСТУ. Борони в обох випадках працювали на глибині обробки ґрунту 0,05...0,09 м, кутом атаки робочих органів 70...90° та швидкістю 6...12 км/год.

ВИСНОВКИ

На основі функціонально-морфологічного аналізу важкої широкозахватної борони визначено структурну форму нового зубопружного робочого органу, що має конусний пружинний підвіс з двома розпущеними кінцями, круглу форму прутка і шарнірне кріплення до рами борони.

У разі обробки ґрунту бороною, оснащеної типовими зубопружинними робочими органами діаметрами прутка $d = 14$ та 16 мм, виявлено відхилення від вимог ДСТУ: грудки розміром до $2,5$ см досягають $80,8$ % від загального обсягу обробленого ґрунту, а глибинність перевищує 10% . При обробітку ґрунту бороною до складу якого входять нові зубопружинні робочі органи діаметром прутка $d = 16$ мм, встановлено, що грудки розміром за найбільшим діаметром до $2,5$ см становлять не більше $72,0\%$ від загального обсягу обробленого ґрунту, а глибистість не перевищує $6,9\%$.

Запропоновано практичні рекомендації експлуатації борони з новими зубопружинними робочими органами: глибина обробки $h = 0,079$ м, кут атаки $\alpha = 89$ 41, швидкість МТА $V = 3,33$ м/с (12 км/год), а також з типовими, в залежно від виду оброблюваного ґрунту.

За результатами порівняльних виробничих випробувань визначено економічні показники використання МТА у складі трактора Т-150К та важкої широкозахватної борони КПШ-15, оснащеної новими зубопружинними робочими органами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алферов А., Гринченко А. Методология обеспечения механической надежности почвообрабатывающих машин при проектировании. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin-Rzeszów. 2016.
2. Гринченко А. С., Алферов А. И. Модели прогнозирования прочностной надежности в условиях экстремальных нагрузок. Динаміка, міцність та моделювання в машинобудуванні: збірник тез доп. I Міжнар. наук.-техн. конф. 2018 р.
3. Алферов А. И. Основы прогнозирования и управления надежностью в условиях экстремальных нагрузок : монографія. Харьков : Планета-Принт, 2017.
4. Антощенко Р. В. Вимірювальна система динамічних та тяговоенергетичних показників функціонування мобільних машин. *Інженерія природокористування*. 2014.
5. Антощенко Р. В. Динаміка та енергетика руху багатоелементних машинно-тракторних агрегатів: монографія. Харків : Міськдрук, 2017.
6. Антощенко Р. В. Измерительная система динамических и энергетических параметров тракторов и машинно-тракторных агрегатов. Международный научный, научно-прикладной и информационный журнал «Механизация на земеделие». Варна, 2015.
7. Антощенко Р. В. Обработка данных мобильного измерительного комплекса для контролю за функціонуванням мобільних енергетичних засобів. Вібрації в техніці та технологіях. 2013.
8. Антощенко Р. В., Антощенко В. М. Спосіб та вимірювальна система для визначення енергетичних витрат мобільної машини. *Вісник Харків. нац. техн. ун-ту. сіл. госп-ва ім. П. Василенка*. Харків : ХНТУСГ. 2014. С. 45-53.
9. Бабицкий Л. Ф. Біонічні напрями розробки ґрунтообробних машин. Київ : Урожай, 1998. 119 с.

10. Базаров В. П. Дополнительный упругий элемент и его влияние на упругую подвеску. *Конструирование и технология производства сельскохозяйственных машин*. 1980. С. 18-25.

11. Балабуха О. В. Підвищення довговічності і ефективності роботи ріжучих елементів ґрунтообробних машин шляхом управління спрацюванням при дискретному зміцненні: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва». Кіровоград : КДТУ. 2001. 238 с.

12. Болотин В. В. Ресурс машин и конструкций. Москва : Машиностроение, 1990. 480 с.

13. Ветохин В. И. Системные и физико-механические основы проектирования рыхлителей почвы: дисс. д-ра техн. наук: спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва». Киев-Москва. 2010. 247 с.

14. Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Павх І.І. Машини сільськогосподарського виробництва Тернопіль : Наука. 2005. 457 с.

15. Гринченко А. С. Механическая надежность мобильных машин: Оценка, моделирование, контроль. Харків: Віровець А. П. «Апостроф», 2012. 236 с.