

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів ротаційної
борони**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-3-24 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»
_____ Панкратов Максим Володимирович

Керівник: _____ Пономаренко Наталія
Олександрівна

Рецензент: _____

Дніпро – 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин
Освітній ступінь: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
ТСГМ _____.

(назва кафедри)

доцент _____.

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище,

ініціали)

« _____ » _____ 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

_____ Панкратов Максим Володимирович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

керівник роботи _____ Пономаренко Наталія Олександрівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом вищого навчального закладу від
«24» жовтня 2025 року № 3182 _____

2. Строк подання студентом роботи 22.11.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Огляд стану питання в галузі машинобудування та існуючих засобів обробітку ґрунту. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Стан механізації обробітку ґрунту при вирощуванні картоплі. Теоретичні дослідження процесу роботи ротаційної борони. Програма експериментальних досліджень ротаційної борони. Результати досліджень ротаційної борони. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Економічна ефективність впровадження ротаційної борони. Висновки. Бібліографічний список.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі, об'єкт, предмет досліджень. 2,3. Аналіз комбінованих ґрунтообробних машин. 4, 5 Теоретичні дослідження. 6. Програма експериментальних досліджень. 7,8. Результати досліджень. 9. Економічні показники впровадження у виробництво експериментальної машини АГРО-3. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пономаренко Н.О.		
2	Пономаренко Н.О.		
3	Пономаренко Н.О.		
4	Пономаренко Н.О.		
5	Пономаренко Н.О.		
6	Пономаренко Н.О.		
нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання: 30.10.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 30.05.2025 р.	
2	Теоретичний	до 10.07.2025 р.	
3	Експериментальний	до 29.09.2025 р.	
4	Охорона праці	до 15.10.2025 р.	
5	Економічний	до 22.10.2025 р.	
6	Демонстраційна частина	до 29.10.2025 р.	

Студент

(підпис)

Панкратов М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Пономаренко Н.О.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Стан механізації обробітку ґрунту при вирощуванні картоплі.....	10
1.1. Особливості вирощування картоплі.....	10
1.2. Особливості фізико-механічних властивостей ґрунту при вирощуванні картоплі.....	15
1.3. Технології обробітку картоплі.....	17
1.4. Технічне забезпечення досходового боронування при обробітку картоплі грядовій технології.....	23
1.5. Висновки до розділу.....	26
2 Теоретичні дослідження процесу роботи ротаційної борони.....	27
2.1. Технологічний процес роботи ротаційної борони при поверхневому обробітку гряди.....	27
2.2. Дослідження сил, діючих на робочі органи ротаційної борони в процесі розпушування ґрунту.....	30
2.3. Залежність сили опору коченню опорних дисків від конструктивних параметрів борони.....	33
2.4. Закономірності силової взаємодії зуба з ґрунтом в процесі роботи ротаційної борони.....	38
3 Програма експериментальних досліджень ротаційної борони	42
3.1. Методика визначення нерівностей профілю бічної поверхні гряди опорними дисками ротаційної борони.....	43
3.2. Методика експериментальних лабораторних досліджень.....	45
3.3. Методика визначення експериментальних коефіцієнтів.....	48
3.4. Методика визначення довжини борозни утвореної зубом.....	52
3.5. Методика дослідження ширини обробленої зубом борозенки.....	53
3.6. Методика дослідження площі обробленої зубом борозенки.....	54
3.7. Методика порівняльних польових досліджень дослідного зразка ротаційної борони з серійними робочими органами.....	55
4 Результати досліджень ротаційної борони.....	59
4.1. Результати досліджень фізико-механічних властивостей ґрунту.....	59

4.2. Результати досліджень нерівностей ґрунту під опорними дисками ротації борони.....	59
4.3. Результати планованого експерименту.....	63
4.3.1. Результати дослідження впливу конструктивних і технологічних параметрів на силу опору опорних дисків.....	63
4.3.2. Результати дослідження впливу параметрів робочих органів на пл розпушування залежно від режимів роботи.....	64
4.3.3. Дослідження впливу параметрів робочих органів на ширину борозен залежності від конструктивних і технологічних параметрів.....	68
4.3.4. Дослідження впливу параметрів робочих органів на площу розпушування залежно від конструктивних і технологічних параметрів.....	70
4.3.5. Результати дослідження впливу конструктивних і технологічних параметрів на силу опору зубів.....	71
4.3.6. Обґрунтування параметрів опорних дисків і проміжних кілець ротації борони.....	72
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	75
5.1. Охорона праці при обслуговуванні техніки, яка застосовується в використанні ґрунтообробних машин.....	75
5.2. Розрахунок кількості засобів пожежогашіння для боксу, де обслуговується техніка.....	79
5.3. Прогнозування інженерної обстановки при аварії з вибухом.....	83
6 Економічна ефективність впровадження ротаційної борони.....	87
6.1. Оцінка технічного рівня виробу.....	87
6.2. Економічна оцінка культиватора обладнаного ротаційною бороною.....	88
6.2.1. Визначення заробітної плати механізатору.....	90
6.2.2. Визначення відрахувань на ремонт і амортизацію по трактору.....	90
6.2.3. Визначення відрахувань на ремонт та амортизацію сільськогосподарському знаряддю	90
6.2.4. Визначення вартості паливо-мастильних матеріалів.....	91
6.2.5. Питомі капітальні вкладення.....	91
6.2.6. Річний економічний ефект.....	91
6.2.7. Строк окупності розробки.....	92

Загальні висновки.....	93
Список використаної літератури.....	95
Додатки.....	100

АНОТАЦІЯ

Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки, що містить 98 сторінок машинописного тексту та 24 слайди ілюстративної частини.

Метою роботи є підвищення ефективності застосування поверхневого обробітку ґрунту шляхом вдосконалення параметрів ротаційної борони.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішено наступні задачі досліджень:

- проведено аналіз відомих технічних засобів для досходового боронування картоплі по грядовій технології;
- теоретично досліджено та обґрунтовано вплив параметрів ротаційної борони на якість обробітку ґрунту гряди в залежності від його профілю;
- експериментально досліджено та обґрунтовано раціональні конструктивно-технологічні параметри ротаційної борони з кріпленням робочих органів за допомогою циліндричних пружин;
- дано експлуатаційно-технологічну та агротехнічну оцінку експериментального зразку модернізованої ротаційної борони;
- визначено техніко-економічну ефективність запропонованої ротаційної борони.

ВСТУП

Застосовані в даний час ґрунтообробні машини не в повній мірі забезпечують необхідний якісний обробіток ґрунту і не для всіх ґрунтово-кліматичних зон вони ефективні. Це наочно видно на багатьох прикладах. Навіть машина, що ми розробляємо, не може однаково експлуатуватися в одному й тому ж господарстві. Тому розробки високоефективної техніки для конкретних умов є однією з найважливіших задач сільськогосподарського виробництва.

Удосконалення сільськогосподарської техніки, використання передових технологій, приводить до покращення умов праці, збереження родючого шару ґрунту і підвищення якості одержуваної продукції з мінімальними витратами.

Отже, розробка нових технічних засобів для поверхневого обробітку гребенів, які забезпечать найкращий водно-повітряний режим і ефективно знищення бур'янів, що призводить до підвищення врожайності сільськогосподарських культур і зниження витрат на їх виробництво, є актуальною народногосподарським завданням.

1 СТАН МЕХАНІЗАЦІЇ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ КАРТОПЛІ

1.1. Особливості вирощування картоплі

Картопля (*Solanum tuberosum* L.) - багаторічна трав'яниста рослина з родини пасльонових (*Solanaceae* L.), яка об'єднує до 150 диких і культурних бульбоплідних видів [18, 32]. У культурі її вирощують як однорічну рослину - щороку висаджують бульби, з яких протягом одного вегетаційного періоду одержують урожай нових стиглих бульб. Можна вирощувати картоплю також з насіння, що застосовується переважно у селекційній практиці. Види, що належать до роду *Solanum tuberosum* L., утворюють поліплоїдний ряд з основною кількістю хромосом – $2n-12$, $2n-24$, $3n-36$, $4n-48$, $5n-60$, $6n-72$.

Коренева система у картоплі, яку вирощують з насіння, має спочатку стрижневу будову - у вигляді зародкового стрижневого кореня з бічними корінцями. Потім в основі стебельця, у його вузлах, які знаходяться у ґрунті, формується вторинна коренева система, яка разом із зародковою утворюють мичкувате коріння [48].

Близько 70% коріння картоплі розміщується на глибині до 30 см, а окремі корені досягають глибини 1,5 м. Стебла трав'янисті, заввишки 30-150 см, у поперечному розрізі ребристі, 3-4-гранні, рідше округлі, опушені. У деяких сортів вздовж стеблових ребер є прямі або хвилясті, вузькі чи широкі крила. У пізньостиглих сортів стебла гілкуються в основному у нижній частині, скоростиглих - у середній. За забарвленням вони можуть бути зеленими, червоно-фіолетовими або червоно-коричневими. Причому антодіанова пігментація залежно від сорту може проявлятися тільки в основі стебла, вздовж більшої його частини або на всій довжині. Інколи спостерігається досить інтенсивна пігментація, при якій стебла стають майже чорними.

З однієї бульби виростає у середньому 4-8 стебел, з яких утворюється кущ. За виглядом і будовою кущі бувають прямостоячі, розлогі та

найгіврозлогі, мало- і багатостеблі, з рівними або ярусними стеблами.

У листових пазухах підземної частини стебел утворюються бічні пагони - столони завдовжки 5-20 см, іноді до 35-40 см. Ростуть вони у ґрунті більш-менш горизонтально, утворюють у вузлах корінці й здатні самостійно укорінюватися. На кінцях столонів з невеликих спочатку потовщень розвиваються бульби. Листки складні - переривчасто-непарнопірчасторозсічені. Складаються з центрального черешка (стрижня), кількох пар листків або часток, верхівкової непарної частки, між якими розташовані невеликі за розміром частинки і зовсім маленькі часточки. Частки бувають сидячими або розміщеними на коротких черешках. За формою вони округлі, овальні, видовжені, яйцеподібні, ромбічні, гострокінцеві чи овально-гострокінцеві, опушені. Частки, частинки і часточки можуть бути симетричними (рівновеликими) і несиметричними [18, 32].

У деяких сортів верхня пара часток і верхівкова непарна частка зростаються основами, утворюючи трилопатеву верхівку. Називають таке явище плющелистістю. За кількістю частинок і часточок у листку розрізняють три ступені його розсіченості: незначну - листок має лише одну пару частинок, а часточки відсутні; середню - у листку є до двох пар частинок та одна-дві пари часточок; сильну - листок з двома-трьома парами частинок і багатьма часточками.

Залежно від щільності розміщення часток листки можуть бути густо-, середньо- та рідкочастковими. У густочасткових листків частки розміщені щільно, часто налягають своїми поверхнями одна на одну, у середньочасткових вони лише торкаються краями, у рідкочасткових між частками є проміжки. З нижнього боку часток помітна сітка жилок, які бувають пігментованими.

Листки розміщені на стеблах спіральне. В своїй основі мають два серпоподібні або листкоподібні прилистки. Квітки п'ятичленні: чашечка складається з п'яти гостро-зубчастих, зрослих в основі чашолистків, віночок - з п'яти зрослих пелюсток. У квітці розміщуються п'ять тичинок, пиляки яких на коротких ніжках щільно складені у циліндричну або конусоподібну

колонку, та маточка з верхньою зав'яззю із стовпчиком з приймочкою, який пронизує центральну внутрішню частину колонки і видається над пиляками або рівний з ними, а іноді нижчий за них.

Віночок білий, синій, синьо-фіолетовий, рожевий, червоно-фіолетовий. Пиляки оранжеві, жовті, жовто-зелені. Якщо у квітках утворюються оранжеві або жовті пиляки, пилок яких здатний до нормального запліднення, то при рясному цвітінні на рослинах розвивається багато плодів; у сортів, які мають квітки з стерильними жовто-зеленими пиляками, плоди не утворюються [18, 32].

Квітки на рослинах зібрані у суцвіття - завійки, яких на одному квітконосі буває від 2 до 4 . Плід - багатонасінна двогнізда ягода. Вона округла або округло-овальна, жовто-зелена. Насіння дрібне, яйцеподібносплюснуте, блідо-жовте або кремове. Маса 1000 насінин - 0,5-0,6 г. Морфологія бульб. Бульба - вегетативний орган, який утворюється на кінці підземного стебла - столона. Про вегетативне походження бульби свідчить наявність на молодій бульбі недорозвинених листочків у вигляді лусочок. Після їх відмирання на поверхні бульби залишаються дугоподібні рубці - брівки, у пазухах яких розміщуються три бруньки. Брівки разом з бруньками називають вічками. Вони бувають глибокими - при заляганні бруньок у заглибленнях бульби, неглибокими - з розміщенням бруньок майже на рівні з поверхнею бульби та поверхневими, коли бруньки виступають над поверхнею бульби, утворюючи горбик.

Вічка розміщуються на бульбах спіральне. Кількість їх на бульбах середнього розміру - 6-12, на великих - до 15-20. Найменше вічок у нижній частині бульби, найбільше - у верхній. Життєздатність бруньок у вічку неоднакова, найвища - у середньої бруньки. При садінні бульб або, коли їх пророщують перед садінням, проростають не всі бруньки.

Паростки, які утворюються з бруньок бульб, бувають світловими, напіветіольованими та етіольованими. Світлові паростки з'являються на бульбах, які проростають на денному світлі. Залежно від сорту вони можуть бути зеленими, червоно-фіолетовими, синьо-фіолетовими або синіми.

Етіольовані паростки утворюють бульби, які проростають у темряві. Забарвлення їх біле або жовто-біле. Напіветіольовані паростки бувають у бульб, які проростають при недостатньому денному освітленні. Вони бувають синьо-фіолетовими або червоно-фіолетовими.

На поверхні бульби є багато сочевичок - невеликих світлих отворів, через які здійснюються дихання і транспірація води.

Нижня частина бульби, яка ще називається пуповиною, основою, столонним заглибленням, або впадиною, та якою бульба з'єднується з столоном; протилежна від неї - верхня частина, або верхівка бульби з верхівковою брунькою. За формою бульби бувають округлими, овальними або видовженими. В округлих бульб в усіх напрямках розміри майже однакові, в овальних - один з напрямів перевищує інші в 1,5 раза, у видовжених - у 2 рази і більше. Є сорти з проміжною формою бульб - яйцеподібною, плоскоовальною, бочкоподібною та ін. Вкриті бульби гладенькою, лускуватою або сітчастою шкіркою. Забарвлення м'якуша бульб різне - біле, жовте, світло-рожеве, синє. Поверхня бульб також має різне забарвлення - біле, рожеве, червоне, синьо-фіолетове тощо.

Анатомічна будова бульби. На поздовжньому розрізі стиглої бульби під мікроскопом виразно видно такі елементи: шкірку (у молодій бульби епідерміс), кору, камбій, судинні пучки, серцевину [48].

Шкірка - зовнішній захисний шар бульби, складається з кількох рядів опробкованих клітин вторинної покривної тканини - перидерми. Під шкіркою розміщується кора, яка складається з паренхімних клітин, заповнених крохмальними зернами, та провідних елементів лубу - ситоподібних трубок флоєми. За корою знаходиться шар клітин камбію, з якого до центру бульби утворюються елементи ксилеми. Центральна частина бульби заповнена паренхімними клітинами серцевини, яка радіальними променями розходить до вічок у місцях їх розміщення.

У паренхімних клітинах бульб містяться крохмальні зерна. Найбільша кількість їх знаходиться у внутрішніх клітинах кори і зовнішніх - серцевини, найменша - у складі водянистих клітин центральної серцевини.

Біологічні особливості. Розмножується вегетативно - бульбами, а також насінням (для одержання нових сортів та інколи в сучасних технологіях). Має надземне трав'янисте стебло і підземні пагони-столони, які на кінцях потовщуються і утворюють бульби. Картопля досить вимоглива до клімату, проте велика різноманітність сортів дає змогу вирощувати її майже на всій території України. Бульби картоплі починають проростати при температурі 8-10°C. Картопля не витримує низької температури і при мінус 1 -2°C гине. Найкраще рослини ростуть при температурі 20°C, а бульби - при 15-18°C. Якщо тривалий час стоїть спекотна погода (температура понад 30°C), то бульби не утворюються. В умовах високої температури якість бульб погіршується, вони передчасно старіють, а після випадання дощів з їхніх вічок починають рости столони, на яких утворюються нові бульби. Тому для утворення бульб оптимальною є температура ґрунту близько 20°C, за якої асиміляція вуглецю відбувається найбільш інтенсивно. Після формування бульб рослинам потрібна температура ґрунту 15-18°C. Ці особливості покладені в основу боротьби з виродженням картоплі за допомогою літнього садіння.

Картопля досить вимоглива до вологи [32]. Оптимальним запасом вологи в ґрунті для неї є 70-85% найменшої вологості (НВ). Протягом вегетаційного періоду потреба рослин у волозі змінюється. У першій фазі росту картоплі потрібно значно менше вологи, ніж у період бутонізації, цвітіння і бульбоутворення. Але надмірна кількість опадів (вологи) саме у період бульбоутворення призводить до розростання бульб і утворення на них наростів (діток), насамперед на передчасно достиглих бульбах. Транспіраційний коефіцієнт картоплі значною мірою залежить від метеорологічних умов і коливається в межах 300-600 г води на 1 г сухої речовини. За своїми біологічними особливостями вона потребує хорошої аерації ґрунту, оскільки коренева система і столони поглинають багато кисню з ґрунтового повітря. У надмірно зволоженому, щільному ґрунті вміст кисню знижується до 2% і нижче, а вміст вуглекислоти зростає до такого рівня, що бульби задихаються і загнивають. Першою ознакою нестачі повітря є поява на

поверхні шкірочки бульб (на сочевичках) білих горбочків. У таких випадках слід вжити заходів для поліпшення аерації - провести глибоке розпушування.

Картопля - культура "пухких" ґрунтів. Найбільш придатні для неї легкі та супіщані, суглинкові ґрунти, в які легко проникає волога та повітря і які містять достатню кількість поживних речовин. Щільність ґрунтів для гарного росту і розвитку рослин повинна бути в межах 1-1,2 г/см.куб. На щільних, важких ґрунтах поява сходів затримується на 5-6 днів, рослини відстають у рості, мають меншу асиміляційну поверхню, знижується врожайність, а бульби деформуються, коренева система поверхнева і погано розвивається. Картопля найкраще росте при слабокислій і нейтральній реакції ґрунтового розчину (рН 5,2-7). Важкі карбонатні ґрунти мало придатні для картоплі.

Сорти картоплі. Залежно від використання розрізняють чотири основні групи сортів: столові, технічні, кормові та універсальні.

Найпоширеніші в культурі столові сорти, бульби яких відзначаються найвищими смаковими якостями - мають ніжну м'якоть, не темніють, містять 12-16% крохмалю, багаті вітаміном С. Їх бульби здебільшого округлі або овальні, з поверхневим розміщенням вічок.

В Україні вирощують такі сорти: столові - Астерікс, Березиня, Бородянська рожева, Водограй, Гарт, Віра, Карлена, Корона, Кобза, Либідь, Поран, Молодіжна, Посвіт, Пролісок та ін.; технічно-столові - Воловецька, Древлянка, Зарево, Ласунак, Ікар, Темп та ін.

1.2. Особливості фізико-механічних властивостей ґрунту при вирощуванні картоплі

Картопля більше інших культур потребує глибоко розпушеному, добре проникною для води, повітря та тепла ґрунті. Картопля пред'являє високі вимоги до повітряного режиму ґрунту, добова потреба коренів в кисні становить приблизно 1 мг / 1г сухої речовини. А в ґрунтовій суміші на частку повітря має припадати не менше 15-20% за обсягом [42, 23].

Для хорошого розвитку стolonів і молодих бульб необхідна пухкий

грунт, яка не робить значного механічного опору їх зростання [55]. В іншому випадку бульби виходять дрібні і часто деформовані. Як показали дослідження відділу агротехніки ВНІКХ, на щільних ґрунтах коріння картоплі розвиваються лише в поверхневому шарі (0-15 см). У такі ґрунти погано проникає атмосферне повітря, тому життєдіяльність мікрофлори в них буває уповільнена. При пухкому складенні дерново-підзолисті, важко-глинисті ґрунти недоступні для рослин вологи було 7,25%, а при щільному - 11,64% [8, 26].

Оптимальна щільність ґрунту для вирощування картоплі змінюється в залежності від її механічного складу і вологості. Чим вище вологість, тим менший обсяг залишається для повітря, в результаті чого на надмірно зволжених ділянках складається незадовільний повітряний режим для рослин, на більшості ґрунтів картопля добре розвивається при щільності ґрунту 1,0-1,2 г/см [33]. Але при відповідній агротехніці його можна вирощувати майже на будь-яких ґрунтах. Ґрунтова реакція (рН) в інтервалі 4,5-7,5 найбільш придатна для обробітку картоплі, якщо ґрунт має хорошу буферну ємність [54].

Слід зазначити, що і занадто пухкий ґрунт не завжди корисна для рослин. У районах недостатнього зволоження при настанні посухи такий ґрунт втрачає багато вологи шляхом дифузії і конвенції водяної пари. В результаті пухкий ґрунт швидко просихає і не забезпечує рослинам достатньо вологи.

На середніх і важких суглинках (а це більшість ґрунтів в зоні Лісостепу) картопля накопичує вищий урожай бульб при щільності ґрунту 1,1-1,2г/см, на легких піщаних і супіщаних ґрунтах - 1,4-1,5 і на середньо глинистих чорноземах - 0,9-1,1 г/см. Отримати оптимальне складання тих чи інших ґрунтів можна шляхом відповідної їх обробітку і цілеспрямованого окультурення [8].

Щоб зберегти краще для картоплі складання ґрунту, необхідно правильно організувати систему її обробітку і догляду за рослинами [34, 28]. Тим самим пояснюється висока чуйність картоплі на глибоку обробку ґрунту, дрібну посадку з подальшим підгортанням допомогою нарізки гребенів або гряд [40,

15].

Вміст повітря в ґрунті залежить від її скважності або порозності, що становить на добре оброблених ґрунтах 60-65% загального обсягу ґрунту. У зв'язку з підвищеними вимогами до якості забирається картоплі зростають вимоги і до обробітку ґрунту, її структурі та запобігання утворенню грудок, особливо на важких ґрунтах.

До ґрунту під посадку картоплі пред'являються досить високі вимоги в плані її водно-повітряного режиму. Глибина основного обробітку ґрунту під посадку картоплі повинна бути рівною 25-28 см. Вона може бути зменшена тільки в тому випадку, коли посадку планується проводити на ділянці, де величина ґрунтового пласта менше зазначеної. Крім прямого впливу на зростання картоплі, водно-повітряний режим визначає діяльність мікроорганізмів, за допомогою яких здійснюється перехід поживних речовин ґрунту в форми, доступні для рослин. Картопля дуже чутливий до надлишкової щільності ґрунту. В даному випадку справедливим є твердження про те, що чим більше пухкої підтримується ґрунт в вегетаційний період, тим вище можна очікувати урожай. Це обумовлено деякими біологічними особливостями картопляного рослини. На відміну від багатьох інших сільськогосподарських культур він формує свій урожай в глибині ґрунтового пласта. Молодим бульб під час зростання доводиться долати опір з боку ґрунту. На ущільненій ґрунті, де опір росту бульб велике, часто можна спостерігати під час збирання деформовані бульби.

1.3. Технології обробітку картоплі

Картопля пред'являє певні вимоги до ґрунті. Її необхідно постійно утримувати в пухкому стані, щоб вона не чинила значного механічного опору росту коренів, столонів і бульб [18]. В іншому випадку бульби виходять дрібні і потворні. Це особливо часто спостерігається на погано підготовлених суглинних і глинистих ґрунтах, які відрізняються високою зв'язністю. На таких ґрунтах бульби утворюються близько до поверхні, іноді навіть виходять

назовні. При цьому вони нерідко набувають зелене забарвлення і стають непридатними для використання на продовольчі цілі [18, 31, 32].

Поверхневі обробітку здійснюють неодноразово в залежності від застосовуваних технологій обробітку і складаються виробничих і метеорологічних умов. Це призводить до багаторазових проходах агрегатів по полю, ущільнення нижніх і розпорошення верхніх шарів ґрунту, інтенсивної мінералізації гумусу і деградації ґрунту, особливо в умовах дефіциту добрив.

При ущільненні ґрунт перешкоджає поширенню коренів по ґрунтовому профілю, і вони розвиваються лише в поверхневому шарі 0-15 см, а поглинальна здатність їх знижується. У ущільнену ґрунт погано проникає атмосферне повітря, тому життєдіяльність мікрофлори в ній уповільнена. У сильно ущільненому і тим більше зайве зволоженому ґрунті коріння відмирають, урожай різко знижується [11,32].

Слід зазначити, що і занадто пухкий ґрунт не завжди корисна для рослин. У районах недостатнього зволоження при настанні посушливих періодів такий ґрунт втрачає багато вологи шляхом дифузії і конвекції водяної пари. В результаті пухкий ґрунт швидко просихає і не забезпечує рослини достатньою кількістю вологи. Вона вимагає частого поливу. Протягом вегетації на картопляному полі необхідно створити таку щільність ґрунту, при якій потреба рослин у воді, поживних речовинах і повітрі задовольняється найкращим чином [42].

Обробка ґрунту протягом вегетації виконує функції знищення бур'янів, підтримання оптимальної щільності водного і повітряного режимів, формування об'ємної гряди. Застосовувані технології вирощування картоплі різняться головним чином принципами міжрядної обробітку. Найважливішими критеріями вимірювання вибору технології підготовки ґрунту є врожайність бульб, їх екологічна чистота і економічні показники [29].

Традиційна технологія обробітку картоплі передбачає проведення оранки в осінній період, внесення і закладення органічних і мінеральних добрив до посадки, переорювання або дискування, нарізку гребенів, посадку з міжряддями 70 см, проведення 1-2 обробок ґрунту до сходів, внесення

гербицидів і підгортання перед змиканням бадилля . Така схема ефективна на типових землях з невисоким вмістом гумусу. В роки з надлишком опадів розпушування міжрядь проводяться часто, навіть перед прибиранням, щоб уникнути ядухи бульб, в посушливі роки - рідше [18].

Дослід обробітку картоплі за традиційною технологією в ряді господарств показує, що там, де сповна використовують науковий і виробничий дослід, отримують щорічно врожайність 300-350 ц / га і вище.

Ширина міжрядь 70 см не стримує отримання врожаю до 400 ц / га, але успіх забезпечується тільки при правильному комплектуванні агрегатів на відходах і переобладнанні тракторів на вузьку просапну шину шириною 9,5 дюйма для проведення всіх робіт протягом вегетації. Стандартні універсальні шини шириною 15,5 дюйма на тракторах класу 1,4 призводять до переущільнення ґрунту, і їх застосування є грубим порушенням технології. Для міжрядних обробок використовуються культиватори КОН-2,8; КРН-4,2; КНО-2,8 колишніх років випуску. На жаль, за останні роки так і не освоєний серійний випуск культиваторів, здатних за якістю і комплектації порівнюватися з перерахованими марками. Робочі органи, які необхідні для якісного догляду за картоплею, не можна обмежувати тільки підгортати корпусами, що, на жаль, часто має місце у виробництві і пропонується машинобудівними заводами республіки. Перелік їх значно ширше: дво- і триярусні стрічасті лапи, підгортальники дискові, розпушувальні долота, ротаційні і сітчасті борони і т.д. Застосування тих чи інших комбінацій робочих органів залежить від конкретних ґрунтових умов, засміченості, застосовуваної технології.

Широкорядні технології. Перехід на застосування важких енергонасичених тракторів зумовлює збільшення ширини міжрядь до 90-140 см. Багаторічними дослідженнями вчених встановлено, що на широкорядних посадках створюються кращі умови для реалізації потенційної продуктивності інтенсивних сортів, зменшується щільність ґрунту, підвищується товарність бульб за рахунок зниження травмування, створюється більш сприятлива вологість повітря в посівах, знижується ураження рослин фітофторою [21, 45].

Урожайність при цьому підвищується незначно, енерговитрати за комплексом робіт на виробництво 1 ц бульб знижуються на 7%. Вченими розроблені стрічково-градуйовані технології з різними схемами посадки (ПО + 30; 70 + ПО; 60 + 80 см). Мета пропонованих технологій - отримання сталих врожаїв на важких за механічним складом ґрунтах в умовах підвищеного і недостатнього зволоження. Система підготовки ґрунту при вирощуванні на грядках не відрізняється від гребневих технологій. Досходові обробітку проводять культиватором КРН-4,2Г, комплектуючи його триярусними лапами, ротаційними розпушувачами, пружними борінками або сітчастою бороною. При підгортанні застосовують сферичні диски і триярусні лапи. Формують гряди поступово після появи сходів, присипаючи рослини ґрунтом. Така обробка сприяє швидкому зростанню стелонів картоплі, розвитку кореневої системи, утворення великої кількості бульб [55].

Потенціал широкорядних і грядкових технологій розкривається тільки при використанні високоякісного насіннєвого матеріалу інтенсивних сортів, що характеризуються багатоклубневий [55]. Саме по собі збільшення ширини міжрядь або зміна конфігурації площі живлення рослин не має принципового значення для картоплі.

Але в несприятливих умовах грядковий спосіб вирощування, наприклад, дозволяє підвищити урожайність на 17-25% і полегшити комбайнове збирання за рахунок зменшення обсягу сепарованого ґрунту на 44-38% [50]. Модифікацією відомих варіантів грядкових технологій є розташування за схемою 60 + 120 см і формування гряди фрезерної машиною МРП-2,1.

У Харківському національному технічному університеті сільського господарства ім. Петра Василенка вивчався гребневий спосіб обробітку з шириною гребенів 90 см і грядковий спосіб з шириною гряди 140 см. По відношенню до традиційної гребневий технології з шириною міжрядь 70 см останні мають цілий ряд переваг. По-перше, гніздо формується в верхньому шарі орного горизонту. По-друге, збільшена ширина гребенів дозволяє при підгортання формувати їх більш потужними. По-третє, широкі міжряддя дозволяють провести додаткову механічну обробку до змикання бадилля, при

цьому засміченість посадок бур'янами знижується в 3 ... 4 рази в порівнянні з гребенями 70 см. За даними деяких досліджень, масивні гребені виступають в ролі свого роду гідроакумуляторів, з їх поверхні менш інтенсивно випаровується волога, під час дощів її надлишки накопичуються в борознах. Основним же перевагою є те, що на гребнях шириною 90 см і грядках, за даними багаторічних спостережень, в дослідях ХНТУСГ ім. Петра Василенка врожайність в середньому на 60 ц/га вище, ніж на гребнях 70 см. Застосування грядкової технології дозволяє підвищити продуктивність праці при міжрядної обробці на 30...35%, при цьому витрати праці на посадці знижуються на 15...20%, міжрядної обробітку - більш ніж на 35% і на прибиранні - більш ніж на 25% в порівнянні з посадкою на гребнях 70 см.

Заворівська технологія. У 80-ті роки під ВНПКГ була розроблена «заворівська» технологія. Відмінними рисами її є: локальне внесення добрив, використання ротаційних розпушувачів, пружних борінок, дво - і триярусних стрілчастих лап на відходах. Використання різноманітних пасивних робочих органів дозволяє на відносно бідних ґрунтах підтримувати оптимальну щільність і глевкість в зоні клубне утворення, стримувати смітну рослинність протягом усієї вегетації за допомогою 5 - 6 обробок. Технічно це найбільш оснащена технологія, але вона має істотні недоліки: ущільнення ґрунту колесами тракторів, пошкодження рослин при відходах, позеленіння бульб. Змінився видовий склад бур'янів вже неможливо придушити тільки механічним способом. Застосування гербіцидів стає обов'язковим, що, в свою чергу, забезпечує можливість скорочення кількості міжрядних обробок при традиційній і «заворівській» технологіях [39].

Голландська технологія. Основою «голландської» технології є високоякісне насіння, фрезерні робочі органи, обов'язкова обробка полів гербіцидами, стислі терміни виконання окремих робіт [45, 54, 55]. Її відмінності виявляються в фрезеруванні перед посадкою на глибину 15-18 см, досходовим формуванні гребенів за один прохід Гребне утворень. Така схема неефективна при надмірній кількості опадів, оскільки фрезерні машини не можна застосувати в період вегетації рослин. Застосування активних робочих

органів в республіці стримується недостатнім родючістю ґрунтів, наявністю каменів, відсутністю пропозиції необхідних машин. З іншого боку, на вирівняних ділянках з вмістом гумусу понад 2,5%, вільних від каменів, технологія може забезпечити хороші результати за все при одній обробці ґрунту після посадки в поєднанні із застосуванням гербіциду, що значно знижує енерговитрати на проведення доглядів.

Слов'янська технологія. В окремих господарствах України впроваджується «слов'янська» технологія, заснована на застосуванні культиватора – Гребне утворень КМО-3, ультра мало об'ємного протруювання насіння обладнанням ОПС-1А, використання захисно-стимулюючих речовин протягом вегетації рослин [45, 54]. Конструкція дискового підгортальника близька до уже використовувалася при комплектуванні культиватора КНО-2,8, що випускається з середини 80-х років. Такий тип робочого органу добре працює на супіщаних ґрунтах, але погано - при перезволоженні суглинних ґрунтів. Терміни проведення робіт протягом вегетації аналогічні традиційною технологією: 1-2 обробітку до сходів, гербіцид, підгортання перед змиканням рядків.

Механічна боротьба з бур'янами пов'язана зі створенням добре оформлених гряд. Це пов'язано з інтенсивним переміщенням ґрунту при їх формуванні та обробкою ротаційними боронами вершини і укосів поверхні гряди [45].

В результаті багаторічних досліджень по вивченню грядової технології з посадкою по схемі 110 + 30 см, проведених в ГНУ СіБНІСГ встановлено, що для створення оптимальних умов для росту рослин і підвищення якості роботи картоплезбиральних комбайнів на важких суглинних ґрунтах необхідне прийомом перед нарізкою гряд, переобладнаним культиватором КРН-5,6, є проведення фрезерування ґрунту фрезерними культиваторами КВФ-2,8 [40, 50].

Широкорядні технології в порівнянні з гребневими більш стійкі до несприятливих впливів навколишнього середовища. У зонах з надлишковим зволоженням на грядках менше небезпека пошкодження бульб в результаті

задухи, гряди менше розмиваються зливовими опадами, в посушливих зонах гряда менше перегрівається і пересихає.

Застосування грядової технології дозволяє знизити небезпеку пошкодження бульб, що сприятливо позначається на врожаї картоплі та якості механізованого прибирання.

1.4. Технічне забезпечення досходового боронування при обробітку картоплі по грядовій технології

Теоретичне обґрунтування застосування ротаційних борін як прийому, що застосовується при обробці посадок картоплі, зроблено ще в 50-х роках [3].

Якість виконання технологічного процесу розпушування ґрунту на грядках залежить від конструктивного виконання борони, фізико-механічних властивостей ґрунту і рельєфу гряди. Розглянемо основні існуючі і проєктовані конструкції машин для досходової обробітку поверхні картопляних грядок [1, 5, 12, 33]. Для досходового боронування використовують культиватори КРН-5,6, КРН-4,2, КОН-2,8, оснащені триярусними стрілочастими підгортальниками для розпушування міжрядь, що агрегуються з ротаційними або сітчастими боронами, призначеними для обробітку вершини гряди.

У початковому періоді механізації обробітку картоплі з метою досходового боронування застосовувалися зубові і сітчасті борони.

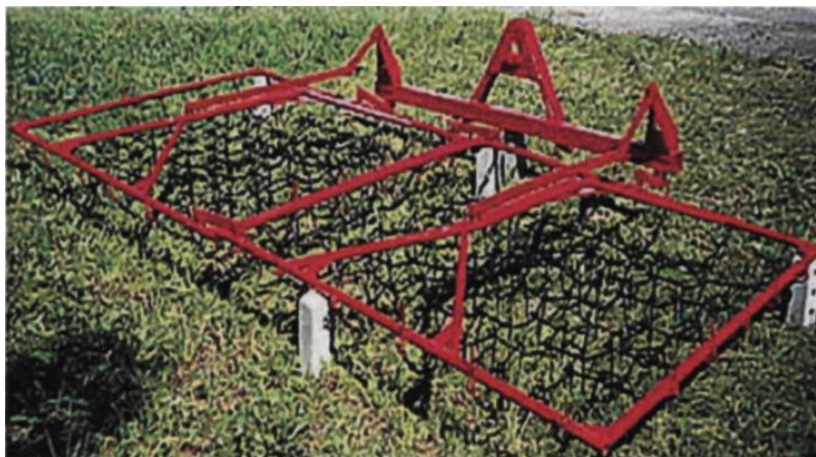


Рис. 1.1. Борона сітчаста навісна.

Зубові борони не копіювали поверхню гряди, мали високе тягове опір і

часто пошкоджували бульби, руйнуючи поверхню гряд. Сітчасті борони хоча і

огинають поверхню гряди, але також мають велике тягове опір, забиваються бур'яном рослинністю, руйнують вершину гряди, погано обробляють бічну поверхню грядки, незручні при транспортуванні, тому їх застосування не є перспективним.

Ротаційні ґрунтообробні машини за способом приводу робочих органів ділять на три групи: приводні, безприводні і комбінованої дії.

До першої групи ротаційних машин для обробітку ґрунту з приводом від вала відбору потужності (ВВП), гідро- і електроприводом відносяться ґрунтофрези, ротаційні плуги, фрезерні культиватори.

До другої групи ротаційних ґрунтообробних робочих машин без приводні дії відносять голчасті і дискові борони, культиватори, луцильники, катки, мотики. Залежно від форми барабани ділять на циліндричні і конічні.

До третьої групи відносять ротаційні машини комбінованої дії з приводом робочих органів від ВВП або через причіпний (навісне) пристрій. У цю групу включають комбіновані агрегати з фрези із приводом від ВВП трактора: лемішно-роторні плуги, культиватори з активними і пасивними робочими органами і т.п.



Рис. 1.2. Культиватор КРН-2,8, обладнаний ротаційними боронами.

Гідність ротаційних робочих органів полягає в тому, що проникнення голок в ґрунт можна здійснити проколюванням, а деформацію здійснити

відривом, тобто розтягненням ґрунту. Для цього найбільш придатною формою робочих органів є зуб.

Конструктивні розміри ротаційних машин в різних умовах використання і навіть в одних і тих же умовах пропонуються різні, причому варіація розмірів вельми значна. Діаметр опорних дисків пропонують 200, 350, 440, 450, 480...560, 550, 500, 536, 550...600 і навіть 900 мм. Тобто єдиної думки з даного параметру у дослідників немає. Спостерігається лише закономірність в разі застосування ротаційних машин: як пристосування для просапних культиваторів діаметр дисків, як правило, пропонується менший.

Широке поширення в картоплярських господарствах України знайшли ротаційні борони. Серійні борони БРУ-0,7 виготовлялися дослідно-конструкторськими бюро і заводами сільгоспмашинобудування. Конструкція була виконана досить надійно, мала мале тяговий опір, але забивалась вологим ґрунтом та бур'яном, не маючи рухомих робочих органів, тому її ефективність залишала бажати кращого.

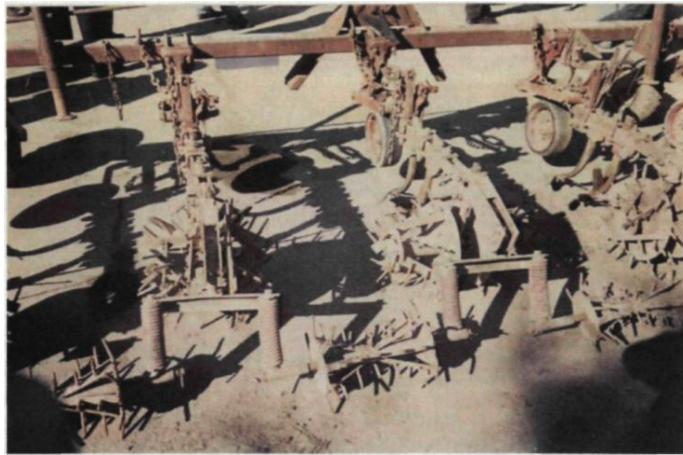


Рис. 1.3. Культиватор КРН-4,2, обладнаний ротаційними боронами з жорстким кріпленням зубів.

На сьогоднішній день підприємствами сільськогосподарського машинобудування України практично не випускаються ротаційні борони для досходової обробки посадок картоплі, як, втім, і машин для посадки і прибирання, тому господарства змушені ремонтувати зношену техніку або закуповувати її у заводів Білорусії, України, а найчастіше через відсутність

машин для грядкової технології їм доводиться переходити на голландську технологію країн Євросоюзу.

Основною причиною низької якості розпушування ротаційними боронами є те, що під впливом нерівностей профілю гряди опорні диски роблять коливання відносно поверхні ґрунту, і борона змінює своє положення у вертикальній площині перпендикулярній напрямку руху [5]. Оскільки робочі органи серійної ротаційної борони жорстко пов'язані з опорними дисками, вони роблять коливання разом з бороною, що істотно знижує якість обробітку, змінюється глибина обробітку, збільшується площа необробленої поверхні.

З метою усунення зазначених недоліків ротаційних борін в якості наукової гіпотези було зроблено припущення про те, що якість обробітку поверхні гряд можна підвищити за рахунок створення поперечних коливань робочими органами борони шляхом застосування в конструкції ротаційної борони демпфуючих пристроїв, що дають можливість копіювати профіль гряди.

1.5. Висновки до розділу

Виходячи з особливостей агрокліматичних умов зони Лісостепу України і агротехнічних вимог обробітку картоплі на грядках, необхідно використовувати технічні засоби для досходового обробітку поверхні гряд картоплі з метою знищення бур'янів і створення раціонального водно-повітряного балансу в ґрунті для вирощування картоплі. Проведений аналіз різних типів існуючих і проектних борін для досходового боронування висадженої картоплі по грядковій технології. Встановлено, що робочі органи для поверхневого обробітку грядок мають ряд переваг, але мають такі основні недоліки: неякісно виконується розпушування поверхні грядки, руйнується вершина грядки, не в повному обсязі знищуються бур'яни, внаслідок жорсткого кріплення робочих органів. Якісне виконання агротехнічних показників технологічних процесів досходового обробітку грядок може бути досягнуто шляхом створення умов для копіювання робочими органами ротаційної борони поверхні грядки.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ РОТАЦІЙНОЇ БОРОНИ

2.1. Технологічний процес роботи ротаційної бороны при поверхневому обробітку гряди

Для забезпечення рівномірного розпушування поверхні гряди в першу чергу необхідно, щоб контур бороны (робочих органів) відповідав контуру поверхні гряди [19].

Геометрична форма гряди, що обробляється ротаційної бороною, представлена на рис. 2.1.

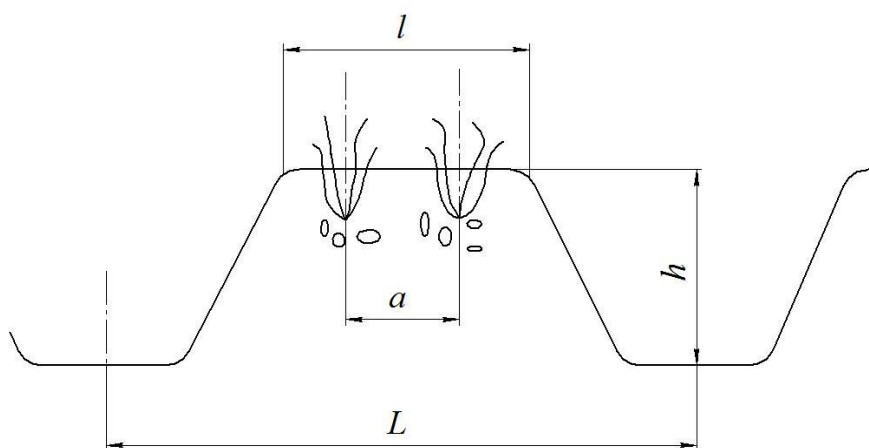


Рис. 2.1 Форма гряди:

a - відстань між бульбами; L - ширина міжрядь; l - ширина вершини гряди; h - висота гряди.

Гряда формується за допомогою робочих органів культиватора КРН-5,6 шляхом насипання ґрунту триярусними підгортачами, бічні грані гряди розташовуються під кутом природного схилу ґрунту в залежності від його фізико-механічних властивостей [11].

Виходячи зі сформованого профілю гряди, представленого на рисунку 2.1, вирішуються такі завдання:

- визначення форми ротаційної борони, що забезпечує щільне прилягання робочих органів до поверхні гряди і, як наслідок, якісне розпушування ґрунту;
- визначення діаметрів опорних і проміжних дисків;
- визначення кількості ланцюгів і відстані між робочими органами в окружному напрямку;
- визначення відстані між зубами в межах одного ланцюга, що забезпечує суцільне розпушування поверхні гряди.

Принципова схема борони представлена на рис. 2.2.

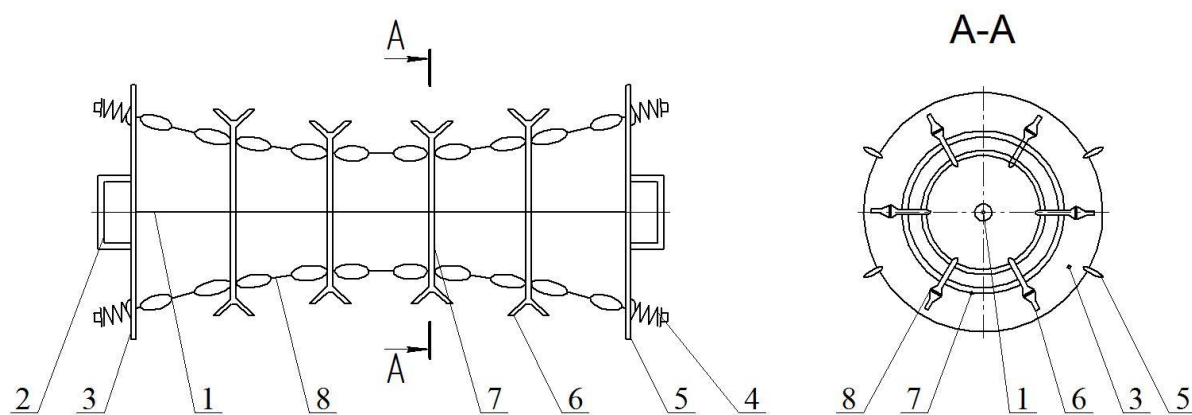


Рис. 2.2 Схема ротаційної борони для обробітку гряд:

- 1 - вал; 2 - опора вала; 3 - диск опорний; 4 - циліндрична пружина;
5 - ґрунтозачепи; 6 - зуб; 7 - проміжне кільце; 8 - ланцюг.

Борона складається з вала 1, що обертається в опорах 2. Крайні опорні диски 3 жорстко закріплені на валу. Проміжні кільця 7 кріпляться на ланцюгах 8, закріплених в опорних дисках. Натяг ланцюгів регулюється затягуванням циліндричних пружин 4. На опорних дисках 3 встановлені ґрунтозачепи 5, які, занурюючись в ґрунт, примусово перекочуючись під дією тягового зусилля трактора, забезпечують обертання ротаційної борони. На проміжних кільцях жорстко закріплені робочі органи борін - зуби 6. Опорні диски, перекочуючись по ґрунту, обертають ланцюги зі встановленими в них проміжними кільцями. Проміжні кільця відрізняються внутрішнім діаметром, що дозволяє копіювати профіль гряди і забезпечує щільний контакт зубів з

поверхнею ґрунту.

При русі розробленої ротаційної борони за профілем гряди борона здійснює поступальні рухи разом з агрегатом уздовж гряди; ґрунтозачеми, встановлені на опорних дисках, занурюючись в ґрунт, забезпечують обертання борони під дією сили тяжіння і тягового зусилля трактора. Використання циліндричних пружин в конструкції борони в залежності від нерівностей гряди задає робочим органам коливальний рух, що підвищує якість розпушування ґрунту [55].

Дослідження ротаційної борони на макетних зразках показали високу її ефективність при обробітку грядок. У той же час для впровадження її в сільськогосподарське виробництво необхідно теоретично обґрунтувати геометричні параметри борони, форми зубів, їх кількість на проміжних кільцях, кількість кілець і визначити найкращий кінематичний режим її роботи та підтвердити теоретичними дослідженнями.

Обґрунтування конструктивних та технологічних параметрів робочих органів ротаційної борони неможливе без отримання математичної моделі процесу обробітку ґрунту. Математична модель розпушування може бути отримана тільки на основі точної, виваженої фізичної моделі процесу, яка розкриває всі моменти процесу взаємодії робочого органу з ґрунтом.

Найважливішим показником роботи ротаційної борони є її енергоємність, яка залежить від швидкості руху борони, опору руху борони, та її зниження може бути досягнуте за рахунок обґрунтованого вибору режимів роботи і конструктивних параметрів робочих органів залежно від конкретних ґрунтових умов.

У зв'язку з цим при теоретичному розгляді процесу розпушування поверхні гряди ротаційною бороною необхідно було розглянути наступні питання:

- забезпечити раціональну енергоємність ротаційної борони, а для цього визначити сили, що діють на ротаційну борону, скласти диференціальне рівняння діючих сил, виявити вплив конструкційних параметрів борони на швидкість руху;

- отримати залежності або чисельні алгоритми для визначення сил опору, що діють на ротаційну борону і визначають її тяговий опір від конструктивних і режимних параметрів;

- визначити залежність довжини і ширини прорізуваної борозенки від геометричних параметрів форми зуба, натягу пружин, а також швидкості руху борони;

- уточнити отриману залежність експериментально шляхом дослідження впливу на довжину прорізуваної борозенки неврахованих факторів, визначивши коефіцієнти;

- визначити вплив на довжину прорізуваної зубом борозенки від конструктивних і режимних параметрів.

2.2. Дослідження сил, діючих на робочі органи ротаційної борони в процесі розпушування ґрунту

При поступальному русу по поверхні ґрунту на ротаційну борону діють сили показані на рисунку 2.3.

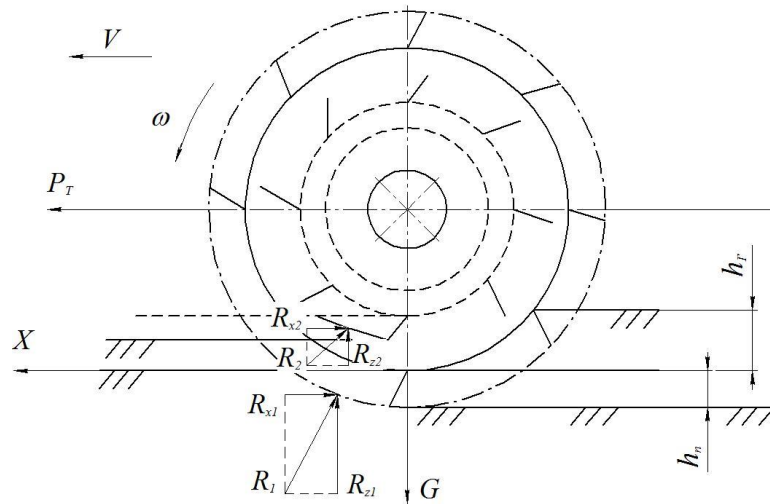


Рис. 2.3. Схема сил, що діють на робочі органи ротаційної борони:

G - сила тяжіння борони, Н; P_m - тягове зусилля трактора, Н; R_b R_2 - опір ґрунту переміщенню опорних дисків і зубів, Н.

Колова складова сили, яка створюється обертовим моментом на опорних

дисках борони, дорівнює силі опору непідпружиненої маси борони і представляє собою горизонтальну реакцію сумарних сил опору ґрунту, що діють на опорний диск [41]. З аналізу схеми випливає, що у вертикальній площині при русі по рівній поверхні рівновага борони забезпечується тим, що дія вертикальних складових реакцій ґрунту на робочих органах компенсується вагою борони, при цьому питомий опір ґрунту і глибина обробітку постійні.

Для складання диференціального рівняння руху ротаційної борони скористаємося рівнянням Лагранжа другого роду:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} = Q_q, \quad (2.1)$$

де T - кінетична енергія системи;

q - узагальнена координата;

Q_q - узагальнена сила.

Кінетична енергія відповідно до теореми Кеніґа визначається за виразом

$$T = \frac{m_b V^2}{2} + \frac{J_b \omega^2}{2} = \frac{1}{2} \left(m_b + \frac{J_b}{r_b^2} \right) \dot{q}^2 = \frac{B \dot{q}^2}{2}, \quad (2.2)$$

де m_b - маса борони, кг;

J_b - момент інерції, кг·м²;

ω - кутова швидкість, с⁻¹.

Визначимо похідні, що входять в рівняння (2.1):

$$\frac{\partial T}{\partial q} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} = B\dot{q}; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) = B\ddot{q}. \quad (2.3)$$

Рухома ротаційна борона має одну ступінь свободи, тому приймаємо за узагальнену координату цієї системи нерухому вісь x , що збігається з напрямком руху борони.

У цьому випадку рівняння (2.1) набуде вигляду

$$B\ddot{x} = Q_x. \quad (2.4)$$

Запишемо вираз роботи діючих сил на можливих переміщеннях:

$$\delta L_x = Q_x \delta x = P_l \delta x - R \delta x. \quad (2.5)$$

Аналітичний висновок рівняння для визначення опору ґрунту

переміщенню робочих органів пов'язаний з багатьма припущеннями, іноді некоректними, і призводить до складних залежностей, які з великою похибкою описують опір ґрунту. Тому в нашому дослідженні для визначення опору ґрунту були прийняті рівняння опору, рекомендовані [2]:

$$R_1 = \rho_1 \cdot \dot{x} + k_1; \quad (2.6)$$

$$R_2 = \rho_2 \cdot \dot{x} + k_2; \quad (2.7)$$

де ρ_1, ρ_2 - коефіцієнти, що залежать від типу і стану ґрунту, кількості, форми, розмірів і кута установки зуба (ґрунтозачепу), що визначаються дослідним шляхом, Нс/м;

k_1, k_2 - експериментальні коефіцієнти, що залежать від форми зуба, Н.

Зазначені коефіцієнти визначаються для заданої ширини захоплення робочого органу.

Після підстановки (2.6) і (2.7) в рівняння (2.5), отримаємо:

$$\delta L_x = Q_x \delta x = P_m \delta x - (\rho_1 \dot{x} + k_1 + \rho_2 \dot{x} + k_2) \delta x. \quad (2.8)$$

Після скорочення на δx і нескладних перетворень, отримаємо:

$$Q_x = P_m - \rho \dot{x} - k, \quad (2.9)$$

де $\rho = \rho_1 + \rho_2$; $k = k_1 + k_2$. В результаті підстановки в рівняння (2.4) рівняння (2.9), отримаємо:

$$B\ddot{x} + \rho\dot{x} = P_m - k. \quad (2.10)$$

Відомо, що рішення рівнянь (2.10) складається з рішень однорідного і неоднорідного рівнянь [2]. В результаті рішення однорідного рівняння, отримаємо:

$$A = \frac{P_m - k}{\rho}. \quad (2.11)$$

Загальне рішення рівняння (2.10) має вигляд:

$$X = C_1 + C_2 \cdot e^{\lambda t} + At; \quad (2.12)$$

$$X = \lambda C_2 \cdot e^{\lambda t} + At, \quad (2.13)$$

де C_1, C_2 - довільні постійні;

λ - корінь характеристичного рівняння, 1/с;

t - час, с.

Для визначення довільних постійних задаємося початковими умовами:

$$t=0; \quad x(0) = 0; \quad \dot{x}(0) = \dot{x}_0. \quad (2.14)$$

Після підстановки (2.14) в систему рівнянь (2.12) - (2.13) отримаємо:

$$C_1 = -C_2; \quad C_2 = \frac{\dot{x}_0 - A}{\lambda}.$$

Після підстановки отриманих значень коефіцієнтів в рівняння (2.12) і (2.13) отримаємо:

$$x = \lambda \left(\frac{\dot{x}_0 - A}{\lambda} \right) (e^{\lambda t} - 1) + At. \quad (2.15)$$

$$x = \lambda \left(\frac{\dot{x}_0 - A}{\lambda} \right) e^{\lambda t} + A. \quad (2.16)$$

Аналіз отриманих рівнянь (2.15) - (2.16) виявив, що найбільший вплив на швидкість ротаційної борони для розпушування гряди при постійному тяговому зусиллі трактора надають питомий опір ґрунту переміщенню робочих органів борони, маса і момент інерції обертових частин [41].

Аналіз запропонованої конструкції борони показує, що в загальному випадку, опір борони складається з опору руху на опорних дисках, який залежить від натягу пружин (ланцюга), і опору, що виникає при розпушуванні ґрунту робочими органами, що залежить від натягу ланцюга, що викликає необхідність диференціального розгляду залежності цих опорів від конструктивних і режимних параметрів борони [49].

2.3. Залежність сили опору коченню опорних дисків від конструктивних параметрів борони

При визначенні сили опору коченню і ущільненню ґрунту під опорними дисками борони були зроблені наступні припущення:

- борона є абсолютно жорсткою конструкцією;
- поверхня, по якій переміщуються опорні диски, абсолютно рівна;
- переки між опорними дисками відсутній, тобто диски переміщуються по рівній поверхні поля;
- ґрунтозачеми на опорних дисках одночасно виконують функцію

розпушування ґрунту, а глибина розпушування дорівнює величині занурення ґрунтозачепів ґрунт;

- ущільнення ґрунту під опорними дисками залежить тільки від дії сили тяжіння борони і залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту.

Умова жорсткості борони передбачає, що ланцюг знаходиться під нескінченно великим натягом і розподіл вагового навантаження на опорні диски залежить тільки від положення центру мас борони. В силу симетричності ротаційної борони можна вважати, що центр мас борони розташований по осі вала і знаходиться на однаковій відстані від опорних дисків. Отже, сила тяжіння борони рівномірно розподілена по опорним дискам.

Припущення того, що ґрунтозачепи одночасно виконують функції розпушувачів, викликає необхідність врахування впливу ослаблення ґрунту на опір опорних дисків [4].

Схематичне зображення ущільнення ґрунту, при зроблених припущеннях представлено на рис 2.4.

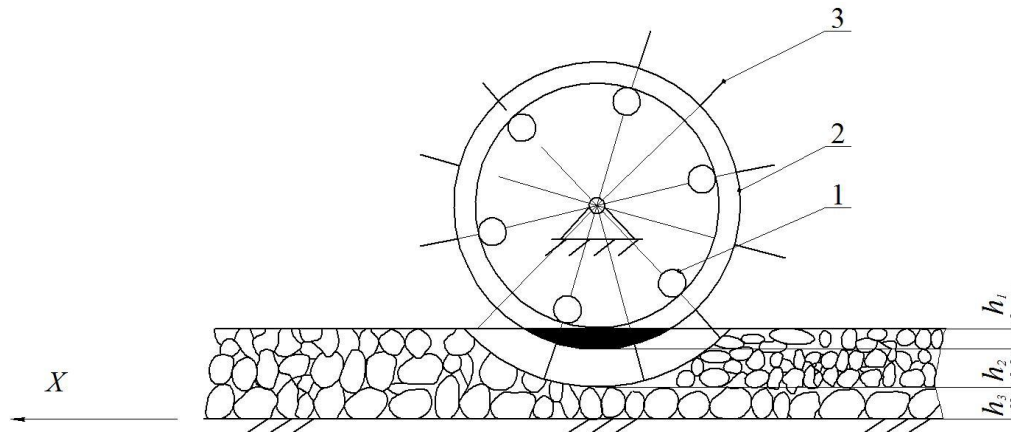


Рис. 2.4 Механізм взаємодії опорного диска ротаційної борони і ґрунтозачепів з ґрунтом:

1 - ланцюг; 2 - диск; 3 - ґрунтозачеп; h_1 - шар ґрунту, що деформується опорним диском; h_2 - шар ґрунту, прорізуваний зубом; h_3 - шар ґрунту, що розпушується в результаті вібрації зуба, викликаній нерівномірною поверхнею ґрунту після попереднього обробки.

Припущення про те, що ущільнення ґрунту під опорними дисками відбувається тільки в результаті дії сили тяжіння і залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту, дозволяє отримати залежності глибини ущільнення і сили опору опорних дисків від впливу цих факторів без урахування швидкості руху ротаційної борони і ослаблення ґрунту в наслідок впливу ґрунтозачепів.

Для визначення глибини ущільнення ґрунту під опорними дисками h і сили опору опорних дисків розглянемо схему сил, що діють на опорний диск, представлену на рис. 2.5.

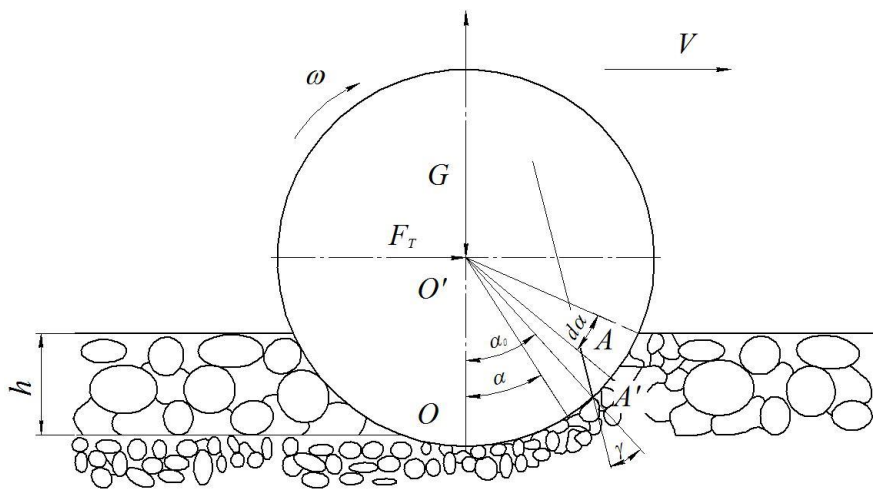


Рис. 2.5 Схема взаємодії опорного диска з деформованим шаром ґрунту:

G - сила тяжіння, яка припадає на один опорний диск, Н; F_T - сила тяги на гаку, Н; v - швидкість руху борони, м/с; α_0 - кут контакту опорного диска з ґрунтом; h - ущільнення ґрунту під впливом опорного колеса, м; γ - кут між дотичною до траєкторії AA' точки A в точці A' і радіусом, проведеним через точку A' .

Під дією сили тяжіння, що припадає на опорний диск, ґрунт під диском, в межах кута α_0 , деформується (створює ущільнення) на глибину h .

При впливі диска на ґрунт виникає реакція ґрунту. Виділимо двома радіальними перетинами на поверхні контакту елементарний майданчик $ds = b \cdot r \cdot \cos \gamma \cdot d\alpha$, де b - ширина опорного диска. В цьому випадку реакцію ґрунту, в межах елементарного майданчика ds , можна уявити пропорційною σ і

вона буде:

$$dR = \sigma \cdot b \cdot r \cdot \cos \gamma d\alpha, \quad (2.17)$$

де b - ширина опорного диска, м;

σ - нормальна до елементарного майданчика напруга, Па.

Кут γ , що входить до рівняння (2.17) залежить від положення миттєвої осі обертання O і кута α .

$$\cos \gamma = \cos \frac{\alpha}{2}. \quad (2.18)$$

Отже, залежність (2.17) з урахуванням (2.18) буде мати вигляд:

$$dR = \sigma \cdot b \cdot r \cos \frac{\alpha}{2} d\alpha. \quad (2.19)$$

Величина σ , що входить в формулу (2.19) представляє собою нормальну напругу до елементарного майданчику, залежить від ущільнення ґрунту, при проходженні опорного диска. Для визначення σ запропоновані різні експериментальні моделі, які є результатом обробки результатів вдавнення штампа в ґрунт. Для теоретичного опису процесу ущільнення ґрунту під впливом сил, прикладених до опорного диску, скористаємося залежністю В.В. Кацигіна:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot th \frac{k}{\sigma_0} s, \quad (2.20)$$

де σ_0 - межа міцності ґрунту на одновісне стиснення, при якому деформація ґрунту починає зростати без подальшого збільшення діючого на опорний майданчик вертикального навантаження, Па;

k - коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту;

s - траєкторія руху частинок ґрунту під ободом колеса:

$$s = 4r \left(\cos \frac{\alpha}{2} - \cos \frac{\alpha_0}{2} \right). \quad (2.21)$$

де α - поточне значення кута;

α_0 - кут охоплення опорної поверхні ґрунту.

З урахуванням (2.18) - (2.21) рівняння (2.17) набуде вигляду:

$$dR = \sigma_0 \cdot b \cdot r th \left[\frac{4kr}{\sigma_0} \left(\cos \frac{\alpha}{2} - \cos \frac{\alpha_0}{2} \right) \right] \cos \frac{\alpha}{2} d\alpha. \quad (2.22)$$

Спроектувавши рівняння (2.22) на осі координат, отримаємо рівняння для визначення складових реакцій ґрунту, що діють в напрямку осей X і Y .

$$-dX = \sigma_0 \cdot b \cdot r \cdot th \left[\frac{4kr}{\sigma_0} \left(\cos \frac{\alpha}{2} - \cos \frac{\alpha_0}{2} \right) \right] \cos \frac{\alpha}{2} \sin \alpha d\alpha. \quad (2.23)$$

$$dY = \sigma_0 \cdot b \cdot r \cdot th \left[\frac{4kr}{\sigma_0} \left(\cos \frac{\alpha}{2} - \cos \frac{\alpha_0}{2} \right) \right] \cos \frac{\alpha}{2} \sin \alpha d\alpha.$$

$$dY = \sigma_0 \cdot b \cdot r \cdot th \left[\frac{4kr}{\sigma_0} \left(\cos \frac{\alpha}{2} - \cos \frac{\alpha_0}{2} \right) \right] \cos \frac{\alpha}{2} \sin \alpha d\alpha. \quad (2.24)$$

Інтеграл від рівняння (2.24) є сумою проєкцій на вісь X сил, що діють на опорний диск, і представляє собою силу опору коченню F_f . Відповідно інтеграл від (2.23) є сумою проєкцій на вісь Y і дорівнює вертикальному навантаженню G . Таким чином, отримана система рівнянь, що збігається з аналогічною системою сил для кочення веденого колеса трактора.

Метод інтегрування системи рівнянь (2.23) - (2.24) викладено в роботі [53]. Рішення за умови, що глибина колії h в порівнянні з радіусом r мала, дозволяє отримати наступне рівняння для визначення ущільнення ґрунту під опорними дисками і сили опору ґрунту

$$h = \sqrt[3]{\frac{G^2}{k^2 \cdot b^2 \cdot D}}, \quad (2.25)$$

де D - діаметр опорного диска, м.

$$F_f = 0,5G \sqrt{\frac{G}{k \cdot b \cdot D^2}}. \quad (2.26)$$

Аналіз залежності (2.26) показує, що глибина ущільнення ґрунту пропорційно залежить від навантаження $G^{2/3}$ припадає на диск і залежить від ширини опорного диска b , коефіцієнта об'ємного стиснення k і кореня квадратного з діаметра диска.

На рис. 2.6 побудовані графіки розраховані за формулами (2.25) і (2.26), що показують залежність сили опору і глибини ущільнення ґрунту від діаметра опорного диска.

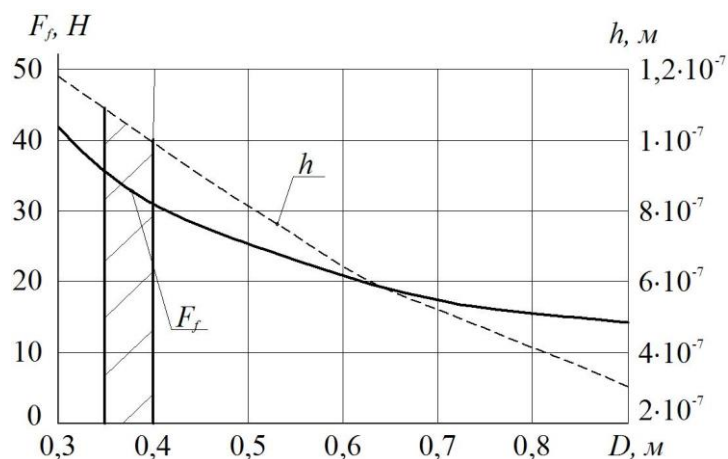


Рис. 2.6. Вплив діаметра опорного диска на опір коченню і ущільнення ґрунту:

$$G = 30 \text{ кг}, b = 0,005 \text{ м}, d = 0,008 \text{ м}, k = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2.$$

Отримані залежності не враховують ослаблення ґрунту за рахунок встановлення на опорних дисках ґрунтозачепів і швидкості руху ротаційної борони. Уточнити залежності (2.27) ми пропонуємо наступним чином:

$$R_{x1} = (G^{0,5} / (k^{0,5} b^{0,5} D)) \cdot (d/b)^\psi (u/u_0)^v, \quad (2.27)$$

де b - ширина опорного диска,

d - діаметр ґрунтозачепу, м;

u - швидкість руху ротаційної борони, км/год;

u_0 - характерна швидкість, км/год;

ψ і v - експериментальні коефіцієнти.

В якості характерної швидкості можна прийняти будь-яку швидкість, яка не перевищує швидкість руху ротаційної борони при обробі ґрунту. Для подальших розрахунків прийнята швидкість, що рівна 5 км/год. Щоб скористатися рівнянням (2.27), необхідно в процесі проведення експериментальних досліджень визначити коефіцієнти ψ і v .

2.4. Закономірності силової взаємодії зуба з ґрунтом в процесі роботи ротаційної борони

Для визначення сили опору коченню від впливу зусилля різання проведемо силовий аналіз взаємодії пласта ґрунту і зуба борони [12]. Силова

взаємодія зуба з ґрунтом розглядалося з припущенням, що зуб довжиною l_3 кріпиться до проміжного кільця під кутом β до радіусу r , що проходить через точку кріплення зуба. При цьому розглядалося довільне положення зуба в ґрунті, що задається кутом α . Зуб контактує з ґрунтом при куті $2\alpha_0$. Поточне значення глибини занурення зуба в ґрунт визначається величиною h , а максимально можливе занурення зуба в ґрунт визначається величиною h_{\max} .

При силевій взаємодії кільця і зуба з боку ґрунту діє реакція R недеформованого ґрунту (рис. 2.7) [46]. Напрямок R протилежно напрямку зусилля розпушування, який змінюється в залежності від фізико-механічних властивостей ґрунту і параметрів робочого органу. Крім реакції ґрунту, на зуб діє також сила опору, що виникає при терті поверхні зуба по ґрунту. Але в силу невеликих габаритів зуба в наших дослідженнях сила тертя поверхні зуба по ґрунту не враховувалася.

Сила опору ґрунту дорівнює добутку нормального опору на лобову площу робочого органу (зуба) [52]:

$$R_{\max} = \sigma_6 \cdot s, \quad (2.28)$$

де σ_6 - нормальний опір ґрунту стисненню, Па;

s - лобова площа зуба, що занурена в ґрунт, м

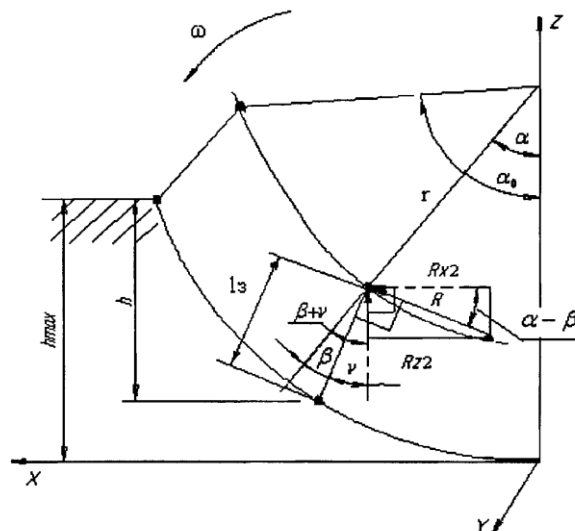


Рис. 2.7. Схема для визначення сили опору розпушування.

Розв'язуючи це рівняння стосовно σ_6 , отримаємо визначальну умову, при якій не виникає згруджування ґрунту перед робочим органом:

$$\sigma_6 \geq \frac{R}{S}. \quad (2.29)$$

Реакцію недеформованою ґрунту R визначимо з геометричних побудов і діючих сил, представлених на рис. 2.7. Горизонтальна складова реакції (сила опору розпушування), дорівнює

$$R_{x2} = R \cdot \cos(\alpha - \beta), \quad (2.30)$$

де R_{x2} - сила опору різанню, Н;

α - кут повороту радіуса кріплення зуба;

β - кут кріплення зуба (кут між радіусом і віссю симетрії зуба). Лобова площа зуба, занурена в ґрунт, визначається за формулою

$$S = d \cdot h, \quad (2.31)$$

де d - ширина (діаметр) зуба, м;

h - глибина занурення зуба ґрунт, м.

При розрахунку R_{x2} необхідно враховувати структурне ослаблення поверхневого шару ґряди в результаті попереднього обробітку ґрунту.

Для характеристики структурного ослаблення ґрунту вводимо коефіцієнт θ , який назвемо коефіцієнтом структурного ослаблення. Таким чином, при розрахунку нормальних напружень враховується ослаблення ґрунту. З урахуванням зауважень і рівняння (2.30) рівняння (2.31) набуде вигляду:

$$R_{x2} = \sigma_6 \cdot \theta \cdot Bh \cdot \cos(\alpha - \beta), \quad (2.32)$$

Аналіз залежності (2.32) показує, що сила опору розпушування прямопропорційна ширині зуба, глибиною занурення зуба в ґрунт, міцності ґрунту, коефіцієнту структурного ослаблення. Максимальне значення R_{x2} буде у випадку, коли $\cos(\alpha - \beta) = 0$, тобто коли кути α і β рівні між собою.

У цьому випадку формула для визначення сили опору зуба набуде вигляду:

$$R_{x2} = \sigma_6 \cdot Bh. \quad (2.33)$$

Залежність, що визначається за формулою (2.33), не враховує багатьох

факторів (сили натягу ланцюга F_u , швидкості руху борони V , висоти мікронерівностей μ , умовної маси, що припадає на зуб m), що впливають на коефіцієнт ослаблення ґрунту i , як наслідок, на силу опору розпушування ґрунту. Більш точний розв'язок задачі дозволяє отримати математичну модель на основі проведених експериментів. Опір R_{x2} визначається за умови сталості θ .

Висновки.

В даному розділі було прийнято таку модель для планування і проведення експерименту:

$$Um - R_{x2} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{44}X_4^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{14}X_1X_4 + b_{23}X_2X_3 + b_{24}X_2X_4 + b_{34}X_3X_4 . \quad (2.34)$$

У рівнянні (2.34)) $b_0, b_1, b_2, \dots, b_{11}, b_{22}, b_{12}, \dots, b_{34}$ - експериментальні коефіцієнти, X_1, X_2, \dots, X_4 - кодовані значення факторів.

3 ПРОГРАМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОТАЦІЙНОЇ БОРОНИ

Метою експериментальних досліджень є оцінка на адекватність і відповідність, отриманих в теоретичних дослідженнях залежностей, а також визначення коефіцієнтів для забезпечення відповідності аналітичних залежностей реальним умовам роботи ротаційної борони.

Для цієї мети проводяться:

- лабораторні дослідження в ґрунтовому каналі;
- експериментальні дослідження в польових умовах;
- порівняльні польові дослідження дослідного зразка з серійними ротаційними боронами.

Метою лабораторних досліджень в ґрунтовому каналі є вивчення взаємодії робочих органів ротаційної борони з ґрунтом, вибір форми зуба і режимів роботи розробленої ротаційної борони, виходячи з якості розпушування гряди і тягового опору.

Метою експериментальних досліджень в польових умовах є визначення якісних показників параметрів гряди, виконання технологічного процесу розпушування поверхні гряди, врожайності картоплі, енергетичних експлуатаційно-технологічних показників, в порівнянні з контрольним.

При експериментальних дослідженнях передбачається проведення математичного планування експерименту з використанням рекомендацій.

Експериментальні дослідження проводилися відповідно до діючих ДСТУ, ОСТів і загальноприйнятих методик випробувань ґрунтообробних машин.

Програмою досліджень передбачалось:

- визначити характер нерівностей ґрунту під опорними дисками борони;
- виявити закономірність впливу властивостей ґрунту, параметрів і режимів

роботи ротаційної борони на тяговий опір і площу обробітку ґрунту одним зубом;

- визначити експлуатаційно-технологічні параметри розробленої ротаційної борони в порівнянні з серійною бороною.

3.1. Методика визначення нерівностей профілю бічної поверхні гряди під опорними дисками ротаційної борони

Дослідження проводили на полях ТОВ «Осієвське» шляхом несучільного статистичного спостереження. Вимірювання проводили на ділянках протяжністю 100 м. Кількість ділянок - 10. Необхідну кількість ділянок визначали за формулою безповторної випадкової вибірки:

$$n = \frac{t^2 s^2 N}{\Delta^2 N + t^2 s^2}, \quad (3.1)$$

де n - кількість ділянок;

t - довірчий коефіцієнт, що залежить від ймовірності того, що середня генеральна сукупність знаходиться в межах

$$\Delta = t \cdot \mu, \quad (3.2)$$

де s - вибіркове середньоквадратичне відхилення;

N - кількість ділянок в генеральній сукупності (поле);

μ - співвідношення між середнім квадратичним відхиленням генеральної вибірки і середнім квадратичним відхиленням сукупності вибіркових середніх.

Для вимірювання профілю ґрунту використовували механічний профілограф, який забезпечував точність вимірювання 0,1%. Результати вимірювань наведені в додатку А. При математичній обробці визначали однорідність профілів на всіх ділянках, використовуючи статистику - коефіцієнт варіації. Обробку профілограм проводили з використанням програмного забезпечення EXEL з метою отримання вибіркової дисперсії s^2 і розкладання висоти нерівностей в ряд Фур'є.

$$y = a_0 + \sum_{k=1}^n b_k \cos k\varphi + \sum_{k=1}^n c_k \sin k\varphi, \quad (3.3)$$

де n - число гармонік ряду;

$\varphi = \omega \cdot t$ - кут;

a_0, b_k, c_k - коефіцієнти, що визначаються за результатами статистичного спостереження;

t - час, с.

Вхідний у формулу для визначення кута φ час можна виразити таким чином:

$$t = \frac{s}{V}, \quad (3.4)$$

де s - довжина вимірюваної ділянки, на якій проводиться вимірювання нерівностей ґрунту, м;

V - швидкість руху ротаційної борони, м/с.

З огляду того, що розподіл Фур'є є сумою гармонійних функцій, виражали довжину вимірюваної ділянки через кут φ по формулі

$$\varphi = \frac{2\pi x}{s}, \quad (3.5)$$

Відношення x/s - частка вимірюваної ділянки, що відповідає куту φ . При обробці результатів статистичного спостереження відношення приймають рівним $1/48$. З врахуванням формули (3.5) отримуємо:

$$\varphi = \frac{2\pi}{48} = 7,5^\circ.$$

Для отримання закономірності зміни кута коливання борони в поперечній площині γ залежно від нерівностей профілограми під опорними дисками поєднували, вимірювали висоту нерівностей у відповідних точках профілограм. Висоти нерівностей підсумовували і ділили на відстань між опорними дисками. В подальшому закономірність коливань борони в поперечній площині визначали у вигляді залежності

$$\gamma = a_0 + b \cos \omega t. \quad (3.6)$$

Дослідження нерівностей профілю опорної поверхні проведено для подальшого моделювання нерівностей поверхні під опорними дисками при визначенні закономірності впливу нерівностей на ширину захвату робочого

органу в лабораторних умовах.

Розподіл нерівностей під правим і лівим опорними дисками ротаційної борони носить стохастичний характер, тому визначення нерівностей ґрунту проводили статистичними методами. Результати статистичного спостереження описували рядом Фур'є.

3.2. Методика експериментальних лабораторних досліджень

При лабораторних дослідженнях господарства ТОВ «Осієвське» в ґрунтовому каналі (рис. 3.1 і 3.2) проводилися досліди з вивчення взаємодії робочих органів борони з ґрунтом:

- вплив нерівностей ґрунту на якість розпушування;
- вивчення закономірності впливу форми зуба і швидкості на тяговий опір борони.

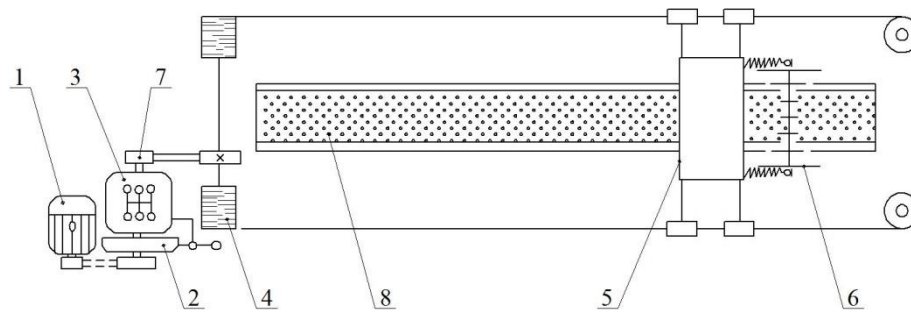


Рис. 3.1. Схема ґрунтового каналу:

1 - електродвигун; 2 - муфта зчеплення; 3 - коробка передач; 4 - приводний барабан; 5 - візок; 6 - досліджувана ротаційна борона; 7 - змінний шків; 8 - гряда.



Рис. 3.2. Ґрунтовий канал.

Ґрунтовий канал обладнаний візком, який переміщається по рейковому шляху за допомогою тросової системи. Привід візка здійснюється від електродвигуна через редуктор і коробку передач, що дозволяє встановлювати необхідні швидкості руху; є гальмівна система. Ґрунтовий канал обладнаний системою зволоження ґрунту, спроектовано та виготовлено пристосування для створення необхідної щільності ґрунту. Розміри ґрунтового каналу: довжина 15 м, ширина 3 м, глибина орного шару 1,5 м. При проведенні досліджень відповідно до прийнятої методики на тяговому візку монтували експериментальне тензометричне обладнання.

Експеримент проводився в наступній послідовності:

1. Попередньо ґрунт зволожували до необхідної вологості.
2. Профіль гряди формувався вручну за допомогою спеціально виготовленого пристосування, і при цьому, необхідна щільність ґрунту забезпечувалася вагою пристосування.
3. За допомогою пробовідбірника проводився забір ґрунту з поверхні сформованої гряди.
4. Візок виставлявся в крайнє робоче положення, до нього за допомогою проміжного вала і прикріпленої до нього тензоланки прикріплювався дослідний зразок ротаційної борони.
5. До циліндричної пружини із зовнішнього боку борони кріпили пластину з тензодатчиком, яка фіксувала процес коливань робочих органів в поперечному напрямку. Встановлювалася певна ступінь натягу всіх пружин шляхом їх стиснення болтовими з'єднаннями на осі кріплення.
6. За допомогою коробки передач стану включалася необхідна швидкість, запускали електродвигун, знімали з гальма, і візок з прикріпленою до нього ротаційної борони рухався по ґрунтовому каналу.
7. Вимірювальна система фіксувала основні показники.
8. Проводиться забір проб ґрунту на визначення його щільності після проходу, рамкою з розмірною сіткою фіксували площу обробітку поверхні гряди.
9. Процес повторювався з наступними рівнями факторів відповідно до

плану експерименту.

На рис. 3.3 зображений робочий момент випробування ротаційної борони з прямим зубом, а на рис. 3.4 показаний момент випробування борони з V-подібним зубом.



Рис. 3.3. Ротаційна борона з прямим зубом.



Рис. 3.4. Ротаційна борона з V-подібним зубом.

Для проведення досліджень по визначенню силових характеристик роботи ротаційної борони застосовувалася інформаційно-вимірювальна система ІП238МР.

Після кожного проходу ротаційної борони визначалися показники: щільність ґрунту, площа оброблюваної поверхні, швидкість руху борони, тяговий опір. Енергетичні показники: тяговий опір, швидкість руху ротаційної борони визначалися інформаційно-вимірювальною системою ІП238МР.

Агротехнічні показники - за методами, викладеними в розділі 3.5.

Кінематичний параметр λ визначається за формулою

$$\lambda = \omega \cdot R \cdot V, \quad (3.7)$$

де ω - кутова швидкість борони, с^{-1} ;

R - радіус обертання, рівний 1/2 діаметра кільця, м;

V - поступальна швидкість руху, м/с.

Кутова швидкість визначається за формулою:

$$\omega = \pi n / 30, \quad (3.8)$$

де n - частота обертання ланцюга, хв^{-1} .

3.3. Методика визначення експериментальних коефіцієнтів

Дані коефіцієнти (ψ і ν) входять в формулу (2.27). Аналіз формули показує, що розраховуваний за вказаною залежністю опір ґрунту на опорних дисках залежить від конструктивних параметрів ротаційної борони і коефіцієнта об'ємного стискання ґрунту. Як зазначалося вище, в розділі 2 ці формули виведені для гладкого диска і не враховують впливу на силу опору опорних дисків ґрунтозачепів і швидкості руху борони. У розділі 2 запропоновано вплив ґрунтозачепів і швидкості руху на опір ґрунту враховувати статечною залежністю (2.7).

При визначенні коефіцієнтів ψ і ν , що входять в залежність (2.27) $F_{x1} = (G^{1,5}/(k^{0,5}b^{0,5}D)) \cdot (d/b)^\psi (u/u_0)^\nu$, величина $G^{1,5}/(k^{0,5}b^{0,5}D)$ приймалася постійною, рівною 6,78 Н, і розраховувалася при постійних значеннях $G = 160\text{Н}$,

$k = 8,5 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$, $b = 0,05 \text{ м}$, $D = 0,4 \text{ м}$. З урахуванням зроблених пропозицій формула (2.27) набуде вигляду:

$$F_{x1} = 6,78 \cdot (d/b)^\psi (u/u_0)^\nu. \quad (3.9)$$

Таким чином, варіаційними факторами в рівнянні (3.9) були відношення d/b і u/u_0 , а результуючою ознакою (функція відгуку) F_{x1} .

Для визначення коефіцієнтів ψ і ν необхідно провести два досліди. Тому був використаний повний факторний експеримент 2^2 . Для планування експерименту формулу (3.9) логарифмували. При цьому було отримано рівняння

$$\ln F_{x1} = \ln 6,78 + \psi \ln(d/b) + v \ln(u/u_0). \quad (3.10)$$

Кодування факторів проводили за формулою

$$X_i = \frac{2(\ln x_i - \ln x_{i\max})}{\ln x_{i\max} - \ln x_{i\min}}. \quad (3.11)$$

Натуральні і кодовані значення факторів приведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1

Рівні варіювання факторів

Фактор X_i	Натуральні значення факторів			Кодовані значення факторів		
	X_{\max}	X_0	X_{\min}	X_{\max}	X_0	X_{\min}
d/b	2	1,5	1	+1	0	-1
V/V_0	2,126	1,608	1,09	+1	0	-1
$\ln d/b$	0,693	0,40546	0	+1	0	-1
$\ln V/V_0$	0,754	0,318	0,086	+1	0	-1

Маса ротаційної борони 33 кг, тобто $G_\delta = 320\text{Н}$, а на один опорний диск доводиться сила тяжіння, що дорівнює $G_\delta = 160\text{Н}$. При цьому робочі органи (зуби) на макетну борону не встановлювали. Експерименти проводили в триразовій повторності.

При формуванні опорної поверхні моделювалися нерівності ґрунту. Координати нерівностей визначали за формулою (2.54). Для забезпечення необхідної швидкості в центрі плану тяговий візок приводили в рух тросовою системою ґрунтового каналу через змінний шків 8 (рис. 3.1).

Опір переміщенню створюється робочими органами, встановленими на дисках. На рис. 3.5 представлені два типи робочих органів (зубів), які були піддані випробуванню.

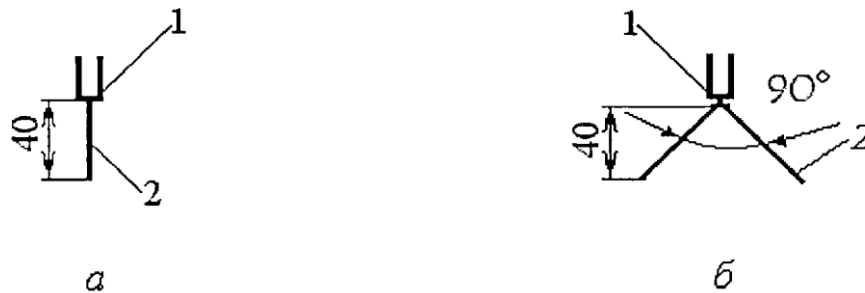


Рис. 3.5. Форма зуба: а - прямой зуб; б - V - подобный зуб;

1 - проміжний диск; 2 - зуб.

Результати експериментів представлені в додатку В. В результаті обробки експериментальних даних були отримані наступні коефіцієнти: $\psi = 0,18$ і $\nu = 2,33$.

Середнє значення фактора по паралельним дослідом визначали по залежності:

$$y_i = \frac{1}{r} \sum_{u=1}^r y_{uf} \quad (3.12)$$

де r - кількість паралельних дослідів;

y_i - значення функції відгуку;

i - номер досліду;

u - повторність досліду.

Дисперсію паралельних дослідів визначали за формулою

$$s_l^2 = \frac{1}{r-1} \sum_{u=1}^r (y_{uf} - \bar{y})^2 \quad (3.13)$$

Однорідність дисперсій паралельних дослідів визначали за критерієм Кохрена, при цьому визначали розрахункове значення критерію за формулою

$$G_p = \frac{s_{l_{\max}}^2}{\sum_{i=1}^2 s_i^2} \quad (3.14)$$

де $s_{l_{\max}}^2$ - максимальне значення дисперсії в досліді.

Отримане розрахункове значення критерію порівнювали з табличним значенням для ступенів свободи: чисельника $f_1 = r - 1$ і знаменника $f_2 = N$ при рівні значущості $\alpha = 0,05$ [49].

У разі якщо розрахункове значення критерію Кохрена G_p не перевищувало табличного значення G_T , гіпотеза про однорідність паралельних дослідів приймалася.

Дисперсію відтворюваності обчислювали за формулою

$$S_{(y)}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2 \quad (3.15)$$

Помилка експерименту:

$$S_{(y)} = +\sqrt{S_{(y)}^2} \quad (3.16)$$

Коефіцієнти рівняння регресії розраховували за формулами для повного факторного експерименту:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^N x_0 \hat{y}_u}{N} \quad (3.17)$$

$$b_1 = \frac{\sum_{u=1}^N x_l \bar{y}_u}{N} \quad (3.18)$$

Перевірку статистичної значущості коефіцієнтів проводили за допомогою t - критерію:

$$t_0 = \frac{|b_0|}{S(b_0)} \quad (3.19)$$

$$t_i = \frac{|b_i|}{S(b_i)} \quad (3.20)$$

Коефіцієнт рівняння вважають статистично значущим при $t_p > t_m$ для числа ступенів свободи $N(r-1)$ і рівня значимості $\alpha=0,05$. Після виключення статистично незначущих коефіцієнтів рівняння перевіряли на адекватність за критерієм Фішера:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{\frac{S_{yy}}{2}} \quad (3.21)$$

де s_{ad}^2 - дисперсія адекватності;

$s_{(y)}^2$ - дисперсія відтворюваності.

Дисперсію адекватності визначали за формулою

$$s_{ad}^2 = \frac{r}{N - \lambda} \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2 \quad (3.22)$$

де λ - число значущих коефіцієнтів рівняння;

N - число незалежних дослідів. Якщо $F_p < F_m$, то гіпотезу про адекватність моделі брали для ступенів вільності $f_{ad} = N - \lambda$, $f_e = N(r - 1)$ для прийнятого рівня значущості $\alpha = 0,05$.

Рівняння приводили до натуральних значень факторів за допомогою формули кодування

$$X_i = \frac{2(\ln x_i - \ln x_{i\max})}{\ln x_{i\max} - \ln x_{i\min}} + 1. \quad (3.23)$$

де X_i - кодове значення i -го фактора;

x_i - натуральне (поточний) значення i -го фактора;

$x_{i\max}$ - максимальне значення i -го фактора;

$x_{i\min}$ - мінімальне значення i -го фактора.

Розрахунок дисперсності адекватності представлений в додатку Г.

3.4. Методика визначення довжини борозни утвореної зубом

У розділі 2 була отримана залежність (2.50) $l_{\bar{o}} - l'_{\bar{o}} = f(F_n, V, \mu)$, яка була прийнята за основу при визначенні довжини борозенки, прорізуваної одним зубом. Для уточнення цієї залежності необхідно визначити функцію $f(F_n, V, \mu)$. Для визначення даної функції був використаний центральний композиційний план ($m=3$).

$$l_{\bar{o}} - l'_{\bar{o}} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2. \quad (3.24)$$

де X_i - кодове значення i -го фактору;

b_i - експериментальні коефіцієнти.

Кодування факторів проводили за такою залежністю:

$$X_i = \frac{x_i - \bar{x}_i}{\Delta x_i}, \quad (3.25)$$

де x_i - натуральне (поточний) значення i -го фактора;
 \bar{x}_i - середнє між максимальним і мінімальним значенням i -го фактору;
 \bar{x}_i - напіввізниця максимального і мінімального значень i -го фактору;
 $x_{i\max}$ - максимальне значення i -го фактору;
 $x_{i\min}$ - мінімальне значення i -го фактору. Досліди проводили в триразовій повторності. При розробці плану дослідження була проведена рандомізацію дослідів.

Натуральні і кодовані рівні варіювання факторів представлені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2

Рівні варіювання факторів

Фактор x_i ;	Кодоване значення	Натуральні значення факторів			Кодовані значення факторів		
		x_{\max}	x_0	x_{\min}	x_{\max}	x_0	x_{\min}
Відносна затягування пружин	x_1	130	70	10	+ 1	0	- 1
Відносна швидкість	x_2	10,63	8,04	5,45	+1	0	- 1
Відносна висота мікронерівност	x_3	4,5	2,5	0,5	+1	0	- 1

Довжину борозенки вимірювали рулеткою Р50 в 3 місцях. Після чого визначали середнє значення, яке і приймалося за довжину борозенки.

Обробку результатів з метою визначення коефіцієнтів рівняння (3.25) проводили за методикою, викладеною в розділі 3.3.

3.5. Методика дослідження ширини обробленої зубом борозенки

Ширину обробленої зубом борозенки визначали за наступною методикою:

- на поверхню ґрунту наносили імітатор - тонкий шар подрібненої

крейди товщиною від 0,2 до 0,5 мм;

- після проходу зуба залишався слід викинутого на поверхню нанесеного шару ґрунту, який схематично представлений на рис. 3.6.

- на отриманому профілі борозенки на відстані 0,01 м, щоб виключити вплив кінцевих ефектів, проводили нульову лінію;

- від нульової лінії на відстані 0,01 м один від одного проводили лінії 1-1, 2-2 і т.д.;

- на кожній лінії, починаючи з нульової, вимірювали ширину борозенки;

- визначали середню арифметичну ширину борозенки;

- визначали середню лінію борозенки як половину середньої ширини борозенки;

- визначали відхилення точок, розташованих на лініях 0-0, 1-1 і т.д. від середньої лінії;

- визначали середню арифметичну величину відхилень.

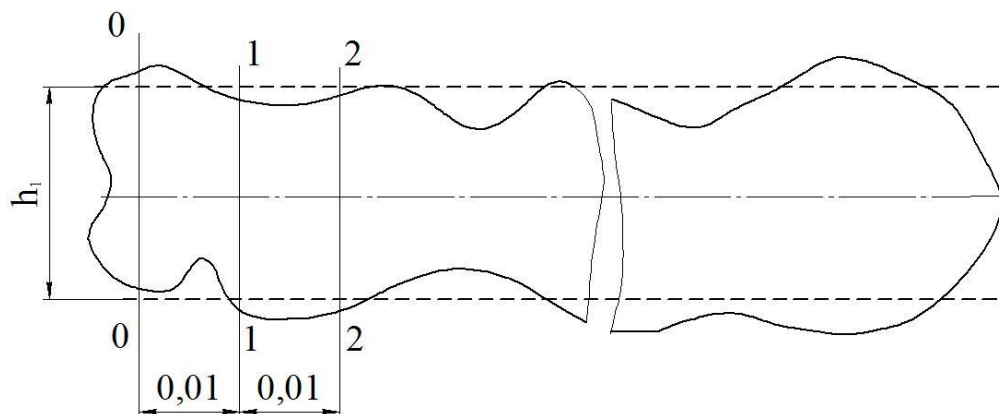


Рис. 3.6. Схема визначення ширини обробленої зубом борозенки.

Мінімальну необхідну кількість оброблених борозенок визначали за формулою (3.1).

3.6. Методика дослідження площі обробленої зубом борозенки

Площу обробітку поверхні гребеня одним зубом визначали за методикою [22]:

- на поверхню ґрунту наносили імітатор - тонкий шар подрібненої крейди товщиною від 0,2 до 0,5 мм;
- після проходу зуба залишався слід викинутого на поверхню нанесеного шару ґрунту, який схематично представлений на рис. 3.7;

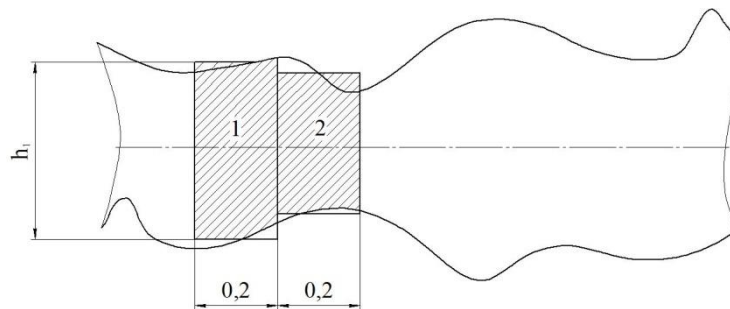


Рис. 3.7. Схема до методики визначення площі розпушування.

- поділяли довжину обробленої поверхні на ділянки шириною 0,20 м;
- отриманий при цьому майданчик з криволінійними межами замінювали рівним по площі прямокутником;
- вимірювали висоту прямокутника, після чого обчислювали площу виділеної ділянки;
- проводили статистичну обробку отриманих рівнів по довжині обробленої ділянки, що дорівнює 4 м, при цьому визначали середню арифметичну, дисперсію, коефіцієнт варіації;
- визначали межі ширини при 95% ймовірності.

3.7. Методика порівняльних польових досліджень дослідного зразка ротаційної борони з серійними робочими органами

Для проведення польових експериментів за результатами теоретичних та експериментальних досліджень був виготовлений дослідний зразок ротаційної борони, представлений на рис. 3.4, який випробовувався в агрегаті з культиватором КРН-5,6 і трактором МТЗ-82.



Рис. 3.8. Ротаційна борона в роботі

Польові дослідження передбачали проведення наступних робіт:

1. Порівняльні випробування розробленої ротаційної борони з серійною БРУ-0,7 на якість обробітку поверхні гряди і енергетичні показники.
2. Вплив якості обробітку поверхні гряди порівнюваними боронами на врожайність картоплі.

Польовий експеримент включає три основних етапи: проведення польових дослідів, спостереження і облік, обробку та узагальнення отриманих даних [22].

Спосіб розміщення повторів - послідовне розташування в один ярус. Розміщення варіантів по ділянках дослідної ділянки - систематичне, що дає найбільш об'єктивну інформацію. Довжина ділянок 100 м.

Перед проведенням дослідів визначали такі агротехнічні показники:

1. Вологість ґрунту.

Проби ґрунту на вологість відбиралися на кожному варіанті дослідів по діагоналі ділянки в п'ятикратній повторності на глибину обробітку. Відібрану наважку ґрунту масою 30-40 г поміщали в алюмінієві стаканчики і сушили в сушильній шафі при температурі 105°C протягом 8 годин, потім зважували. За різницею маси стаканчика з ґрунтом до сушки і після сушки визначали кількість води, що міститься в наважці ґрунту, за різницею маси стаканчика з

висушеним ґрунтом і порожнього - масу сухого ґрунту.

Вологість W ґрунту визначали за формулою [8]:

$$W = \frac{a}{b} \cdot 100, \quad (3.26)$$

де a - маса випаруваної води, г;

b - маса абсолютно сухого ґрунту, г.

Обчислення запасу вологи W в окремому шарі ґрунту здійснюється за формулою

$$W = \frac{h \cdot m \cdot E}{10}, \text{ мм.} \quad (3.27)$$

де h - товщина шару ґрунту, см;

m - об'ємна вага, г/см³;

E - вологість шару ґрунту, %.

2. Твердість ґрунту визначали ґрунтовим твердоміром на глибину до 15 см в місцях визначення вологості і визначали за формулою:

$$P = \frac{A \cdot 100}{(100 + a) \cdot V}, \quad (3.28)$$

де A - маса зразка вологого ґрунту, г;

V - об'єм ґрунту в мірному циліндрі, см³.

Глибина визначення щільності - до 15 см.

Проби на щільність відбирали спеціальним буром шляхом вдавлювання в ґрунт, в п'яти місцях (в зоні місць визначення твердості і вологості) по діагоналі, як до проходу машини, так і після проходу.

3. Засміченість ділянки визначали кількісним методом на облікових майданчиках довжиною 0,5 м, шириною, рівною ширині захвату машини, в 3-кратній повторності.

Показники якості виконання технологічного процесу визначали за методиками РД10 4.2-89, ОСТ 10 4.2-2001, ОСТ 10 5.1-2000.

Швидкість руху агрегату визначали на ділянці грядки довжиною 50 м в 4-кратній повторності за формулою

$$V = \frac{S}{t}, \quad (3.29)$$

де t - час проходження ділянки, вимірювали за допомогою секундоміра.

1. Глибину розпушування шару визначали шляхом занурення лінійки в ґрунт до необробленого шару. Кількість повторних вимірів - 50.

2. Подрібнення ґрунту визначали по пробах, що відбираються в 4 точках ділянки з майданчиків 0,25 м на глибину обробітку. Проби просівали через спеціальний набір решіт і зважували кожен фракцію і визначали масову частку у відсотках за формулою

$$П_{ki} = \frac{m_i \cdot 10^2}{m}, \quad (3.30)$$

де m_i - маса i -ої фракції в пробі, кг;

m - загальна маса проби, кг.

Збільшення або зменшення ерозійно-небезпечних частинок 1 мм визначається за різницею їх вмісту в пробі до і після проходу агрегату.

3. Вичісування і знищення бур'янів визначали на облікових майданчиках гряди, обмежених кілочками, в тих же місцях, де визначається засміченість ділянок. Облік проводили після в'янення бур'янів. При обробці отриманих даних визначали:

- середню кількість бур'янів до проходу машини на обліковій площі, шт./м;

- середній відсоток підрізання бур'янів в обробленій зоні ($П_c$):

$$П_c = \frac{K_1 - K_2}{K_1}, \quad (3.31)$$

де K_1 - кількість бур'янів в межах дослідної ділянки до проходу, шт.;

K_2 - кількість бур'янів, які не знищені в межах дослідної ділянки грядки після проходу борони, шт.

Винесення бур'янів на поверхню визначали на тих же майданчиках. Брали до уваги бур'яни, що лежать на поверхні поля з корінням, шт./м.

4. Визначення врожайності збирання картоплі проводили вручну. Зважування виконували з кожної дослідної ділянки окремо.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ РОТАЦІЙНОЇ БОРОНИ

4.1. Результати досліджень фізико-механічних властивостей ґрунту.

Найважливішим вимогою при проектуванні перспективної ґрунтообробної техніки є зниження енергоємності виконуваних технологічних операцій при істотному поліпшенні якості обробки ґрунту. Для цього необхідна максимальна ступінь відповідності робочих органів їх призначенням в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах. Результати досліджень по визначенню фізико-механічних характеристик ґрунту при обробці гряд ротаційної бороною наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Характеристика ділянки при проведенні досліджень

Показник	Значення показника	
	2016 р.	2017 р.
Вологість ґрунту по шарам, см:		
0-5	20	18
5-10	22	21
10-15	25	23
Твердість ґрунту, МПа, по шарам, см:		
0-5	0,4	0,34
5-10	0,75	0,7
10-15	0,75	0,9
Щільність ґрунту, г/см:		
0-5	0,96	1,0
5-10	1,06	1,23
10-15	1,14	1,34

4.2. Результати досліджень нерівностей ґрунту під опорними дисками ротаційної бороны

Результати дослідження мікропрофілю гряди за методикою, викладеною в розділі 3, представлені в додатку А. Для математичного опису зміни мікронерівностей розкладанням в ряд Фур'є були отримані наступні

математичні моделі:

$$\begin{aligned} - \text{лівий ряд: } h = 2,399 - 0,200 \cdot \cos(15n) - 0,047 \cdot \sin(15n) + \\ + 0,581 \cdot \cos(30n) - 0,281 \cdot \sin(30n); \end{aligned} \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} - \text{правий ряд: } h = 2,896 - 0,074 \cdot \cos(15n) - 0,066 \cdot \sin(15n) - \\ - 0,083 \cdot \cos(30n) + 0,095 \cdot \sin(30n). \end{aligned} \quad (4.2)$$

Отримані залежності включають дві гармоніки. Похибка у визначенні висоти мікронерівностей за моделлю (4.1) становить для лівого ряду $\delta=19,16\%$, а для правого ряду (модель 4.2) похибка становить $\delta = 20,72\%$.

Однорідність висот мікронерівностей правого і лівого рядів підтверджується гіпотезою про вимірювання коефіцієнта варіації. Коефіцієнти варіації в лівому і правому лавах не перевищували критичного значення 35%. Таким чином, немає підстав для відкидання гіпотези про однорідність висот мікронерівностей з обох сторін гряди.

Аналіз кривих, представлених на рис. 4.1, показує, що висоти мікронерівностей можна з достатньою точністю апроксимувати розподілом Фур'є.

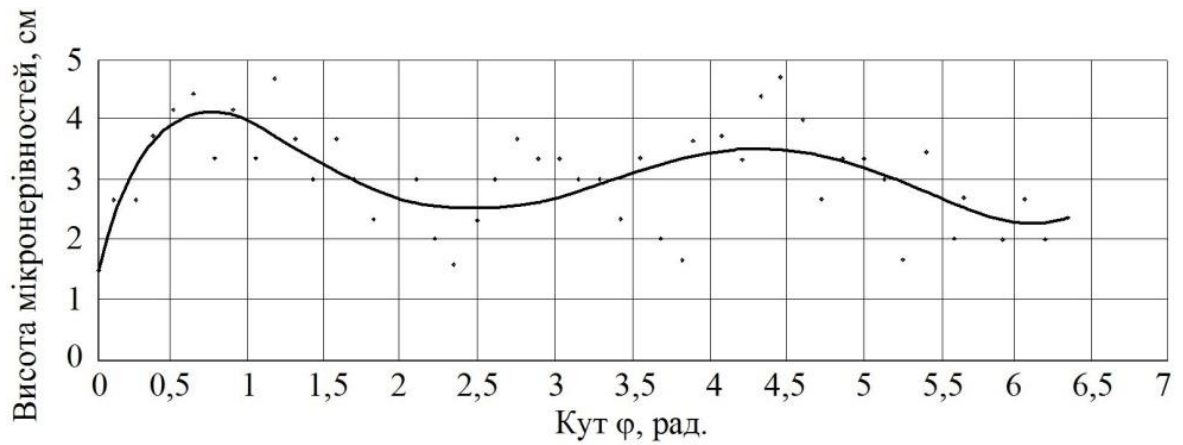
Кореляційна функція, що встановлює зв'язок між мікронерівностями в початковий період руху борони визначається для кожного режиму роботи ротаційної борони і є основною статистичною характеристикою в тимчасовій області стаціонарного випадкового процесу. Вона відображає основні властивості впливу: характер нерівностей мікропрофілю ґрунту (висоту, форму, довжину) і швидкість руху борони.

$$R_k(\tau) = 1,6(0,1e^{-1,1\tau} \cos 0,6\tau + 1,6e^{-0,7\tau}), \quad (4.3)$$

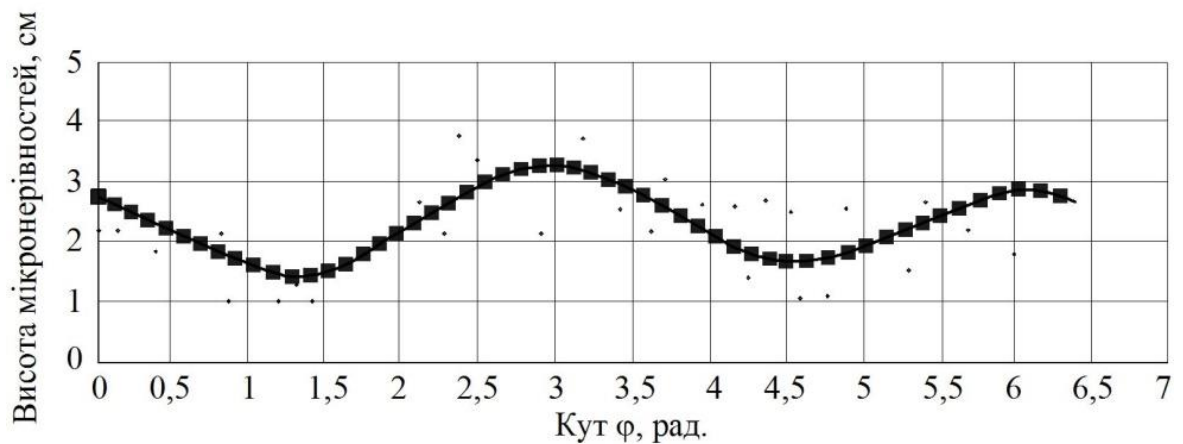
де $\alpha_{1k}, \alpha_{2k}, \beta_k$ - коефіцієнти, знайдені для k -го виду профілю;

D_k - дисперсія k -го виду профілю.

На рис. 4.1 представлені розраховані за моделями графіки і нанесені експериментальні значення висот мікронерівностей гряди.



а)



б)

Рис. 4.1. Розкладання в ряд Фур'є мікронерівностей:

а - правого ряду; б - лівого ряду:

- експериментальні точки; - розкладання Фур'є правого ряду; - розкладання Фур'є лівого ряду.

Розрахунки по залежності (4.3) показують, що зі збільшенням часу між висотами нерівностей зв'язок між ними зменшується, і тому процес є випадковим. Похибка у визначенні висоти мікронерівностей склала 16%, кореляція знаходиться в межах 0,23.

Визначили закон розподілу висот мікронерівностей (рис. 4.3).

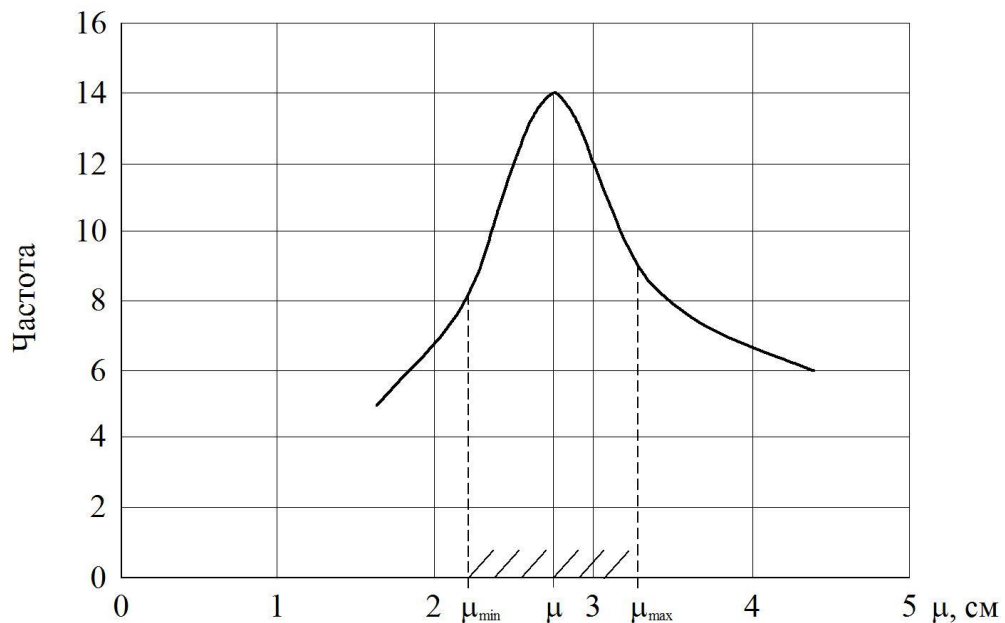


Рис. 4.2. Розподіл висот мікронерівностей.

При довірчій ймовірності 95% межі, в якому визначені значення μ визначаються по формулі

$$\mu = \bar{\mu} \pm \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{N}}. \quad (4.4)$$

При цьому величина t рівна $t = 1,96$. $\mu_{cp} = \mu = 2,8367$. Дисперсія $\sigma^2 = 0,3987$. Середньоквадратичне відхилення $\sigma = 0,6314$.

Таким чином, основна маса висот мікронерівностей укладена в діапазоні

$$\mu = 2,8367 \pm \frac{1,96 \cdot 0,6314}{\sqrt{5}}. \quad (4.5)$$

або

$$2,2832 < \mu < 3,3902,$$

отже, 95% мікронерівностей мають розміри у вузькому діапазоні від 2,2832 до 3,3902 см., із середнім розміром 2,8367 см (додаток Б). Такий характер розподілу висот мікронерівностей дозволяє зробити висновок, що максимальне значення збурюючої сили, якщо її прийняти пропорційною висотам мікронерівностей, буде змінюватися в межах від 1 до 1,5 раз.

4.3. Результати планованого експерименту

Активний експеримент був використаний для уточнення залежностей, що характеризують вплив конструктивних і технологічних параметрів на силу опору, що діє з боку ґрунту на опорні диски і робочі органи, а також на параметри прорізуваної в процесі розпушування робочим органом борозенки.

4.3.1. Результати дослідження впливу конструктивних і технологічних параметрів на силу опору опорних дисків.

Обробка отриманих експериментальних даних дозволила отримати регресійну математичну модель виду:

$$R_{x1} = 6,78 \cdot (d/b)^{0,18} (V/V_0)^{2,33} . \quad (4.6)$$

На рис. 4.4 представлена залежність R_{x1} від відношення d/b , розрахована за рівнянням (4.6) при наступних значеннях параметрів, що входять в формулу.

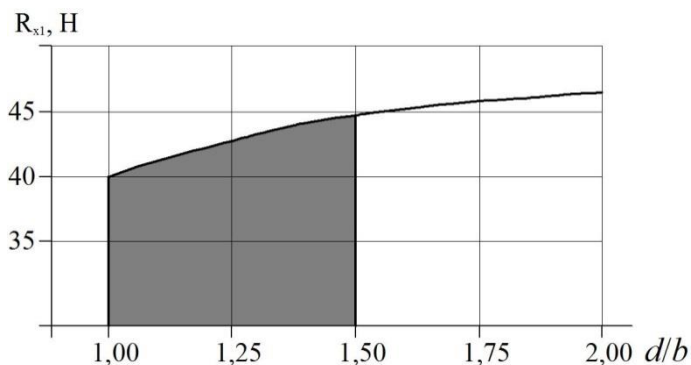


Рис. 4.3. Вплив на силу опору відношення d/b :

$d - 0,008\text{м}$; $b - 0,005\text{ м}$; $V/V_0 = 1,09$; $G = 160\text{Н}$; $D = 0,4\text{м}$; $\kappa = 8,5 \cdot 10^5\text{Н/м}^3$.

Аналіз представленої кривої показує, що зі збільшенням відношення d/b сила опору на опорних дисках збільшується. Це пояснюється зниженням міцності ґрунту і, як наслідок, збільшенням ущільнення ґрунту під опорним диском. В області d/b від 1,00 до 1,5 йде найбільш інтенсивне підвищення опору. В діапазоні зміни d/b сила опору зростає на 5 Н. При подальшому збільшенні відношення d/b зростання сили опору знижується. Для зниження

сумарного опору ротаційної борони необхідно при виборі ґрунтозачепів витримувати відношення d/b в межах від 1,5 до 1,75. Виходячи з отриманої пропорції діаметр ґрунтозачепу був прийнятий рівним 0,008 м при товщині опорного диска.

На рис. 4.4 представлений графік, розрахований по формулі (4.6) і характеризує вплив на опір опорним диском відносної швидкості руху борони.

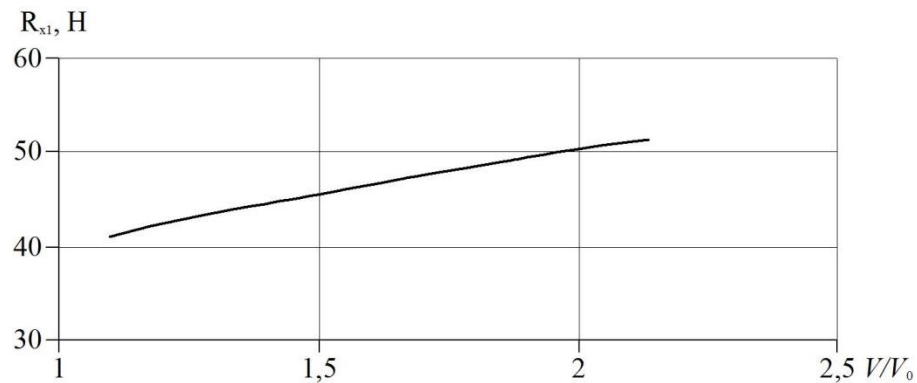


Рис. 4.4. Вплив відносної швидкості руху ротаційної борони на опір ґрунту опорним диском:

$$d = 0,008 \text{ м}; b = 0,005 \text{ м}; G = 160 \text{ Н}; D = 0,4 \text{ м}; k = 8,5 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2.$$

Аналіз графіка показує, що сила опору на опорних дисках пропорційна відносній швидкості руху борони. При цьому зростання опору в діапазоні зміни відносної швидкості від 1,1 до 2,15 становить 10 Н.

4.3.2. Результати дослідження впливу параметрів робочих органів на площу розпушування залежно від режимів роботи.

Дослідження впливу конструктивних і технологічних параметрів ротаційної борони на площу обробітку включала:

- дослідження довжини борозенки, що утворюється в процесі розпушування;
- дослідження ширини борозенки;
- дослідження площі борозенки.

Дослідження були проведені на зубах двох форм: прямого і V-подібного, діаметр зубів 0,008 м, довжина зубів 0,04 м, кут розвертання V-подібного зуба був прийнятий 90° .

Дослідження довжини борозенки при розпушуванні мало на меті визначення кількості рядів зубів борони і оцінки коефіцієнтів, що входять в рівняння (2.47):

$$l_{\delta} - l'_{\delta} = b_0 + b_1 F_{\psi} + b_{11} F_{\psi}^2 + b_{22} V^2 + b_2 V + b_{33} \mu^2 + b_3 \mu, \quad (4.7)$$

а ширини - визначити відстань між зубами в ряду.

Вплив швидкості руху і натягу ланцюга на довжину борозенки характеризує поверхню відгуку, яка представлена на рис. 4.5.

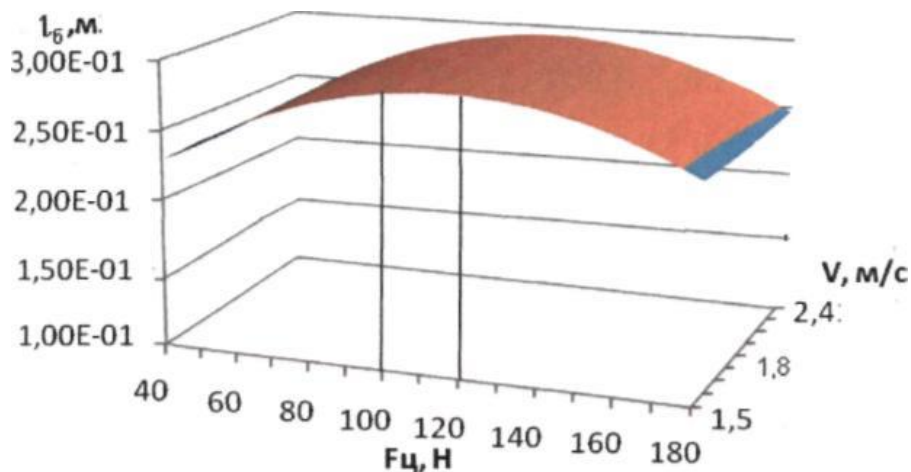


Рис. 4.5. Залежність довжини утвореної в процесі розпушування борозенки від швидкості руху і сили натягу пружини.

Аналіз представленої на рисунку залежності показує, що довжина борозенки зі збільшенням швидкості руху ротаційної борони зростає пропорційно квадрату швидкості, а в залежності від натягу пружини змінюється по параболічному закону з максимумом довжини борозенки, що знаходиться в діапазоні натягу ланцюга 100-120 Н.

На рис. 4.6 показана поверхня відгуку, що відображає залежність довжини утвореної при розпушуванні гряди борозенки від натягу ланцюга і висоти мікронерівностей μ .

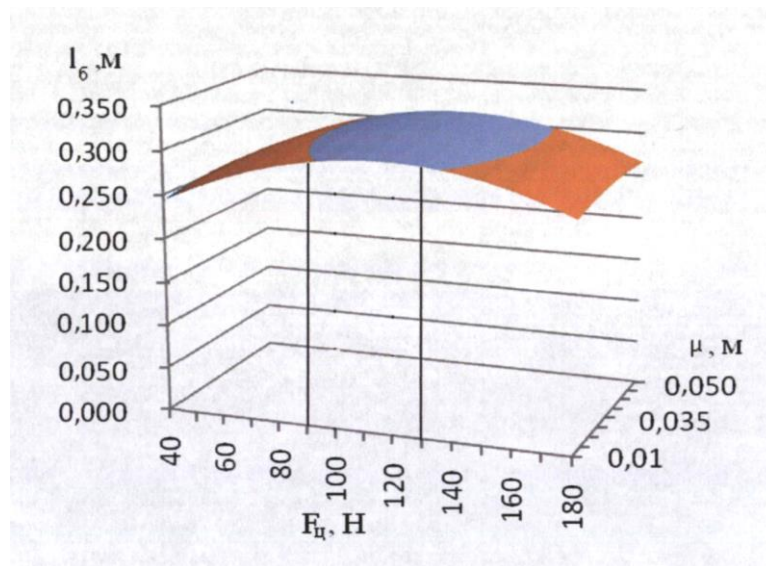


Рис. 4.6 Вплив мікронерівностей поверхні гряди і сили натягу ланцюга на довжину борозенки, прорізуваної зубом в процесі розпушування.

Аналіз поверхні відгуку показує, що раціональна довжина борозенки знаходиться в межах натягу ланцюга від 90 до 130Н і висоті мікронерівностей $\mu = 0,035 \dots 0,045$ м.

Вплив на довжину утворюваної при розпушуванні канавки швидкості руху борони і висоти мікронерівностей пояснює поверхню відгуку, представлена на рисунку 4.7.

Аналіз поверхні відгуку показує, що довжина утворюваної в процесі розпушування канавки має максимальне значення у вузькій області, що відповідає значенням мікронерівностей 0,35 м при швидкості 1,51 м/с.

При збільшенні швидкості руху ротаційної борони область висот мікронерівностей розширюється. Таким чином, враховуючи, що основна маса висот мікронерівностей знаходиться в межах $2,3 < \mu < 3,4$ см, рекомендована швидкість руху ротаційної борони для збільшення довжини борозенки повинна знаходитися в діапазоні робочих швидкостей борони 2,4...2,6 м/с.

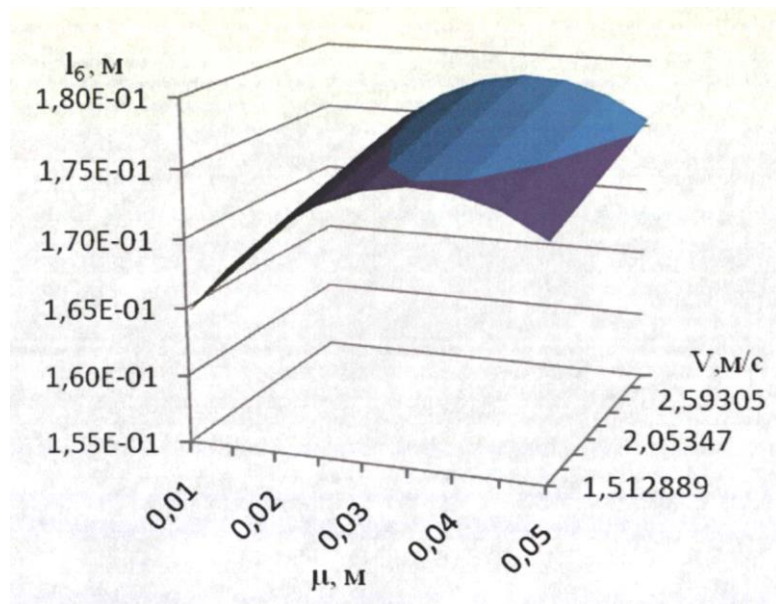


Рис. 4.7 Вплив мікронерівностей поверхні гряди і швидкості руху борони на довжину борозенки, прорізуваної зубом в процесі розпушування.

Величина l'_6 , є складовою загальної довжини борозенки, визначає сумарну довжину борозенки, що утворюється за рахунок протягування зуба в переносному і відносному русі.

Графіки, розраховані за формулою (2.45), представлені на рис. 4.8 дають уявлення про характер впливу зазначених параметрів на одну зі складових довжини борозенки.

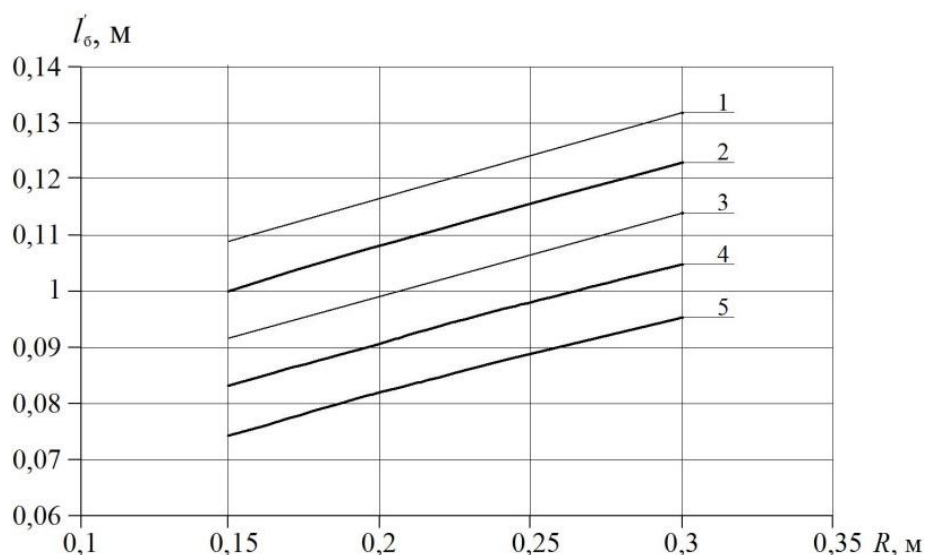


Рис. 4.8. Залежність l'_6 від умовного радіуса кінцевої точки зуба і глибини розпушування ґрунту:

1 - $h = 0,05$ м; 2 - $h = 0,045$ м; 3 - $h = 0,04$ м; 4 - $h = 0,035$ м; 5 - $h = 0,03$ м.

Зі збільшенням радіуса кінцевої точки зуба довжина борозенки збільшується за лінійним законом.

Тангенс кута нахилу кривої дорівнює 0,147 незалежно від глибини обробітку ґрунту. При цьому приріст довжини борозенки становить 0,022 м. Такий же приріст характерний і для інших глибин обробітку поверхневого шару ґряди.

Розташування ліній, позначених цифрами 1...5, показує, що збільшення глибини розпушування призводить до пропорційного збільшення довжини борозенки.

4.3.3. Дослідження впливу параметрів робочих органів на ширину борозенки в залежності від конструктивних і технологічних параметрів

Для обліку поперечних коливань зуба під впливом збурень, викликаних нерівностями ґрунту і підпружиненим кріпленням ланцюга, була отримана залежність (2.56) для визначення ширини прорізуваної борозенки.

У поперечній площині коливання ширини борозенки в рівнянні (2.56) виражаються наступною складовою:

$$\frac{d_1 \sin(\omega \tau - \alpha)}{\sqrt{(1 - \omega^2 / \omega_0^2)^2 + 4h^2 \omega^2 / \omega_0^4}}. \quad (4.8)$$

Розрахунки за формулою (4.9) показують, що чисельні значення складової рівні між собою як для простого, так і для V-подібного зуба. Приймаючи ширину V-подібного зуба, рівною d' , а \bar{d} - рівній середній величині коливань зуба, можна визначити ширину утворюваної борозенки:

$$d = d' - \bar{d}.$$

Ширина V-подібного зуба рівна 0,08 м, а простого - 0,008 м.

На рис. 4.9. побудований графік, що відображає зміну ширини борозенки від часу в процесі роботи борони з V-подібним зубом і прямим зубом.

Як видно з графіка, середня величина відхилень від номінального (нульового) положення змінювалася в межах $\bar{d} = 0,016-0,02$ м в залежності від

конструктивних і технологічних параметрів.

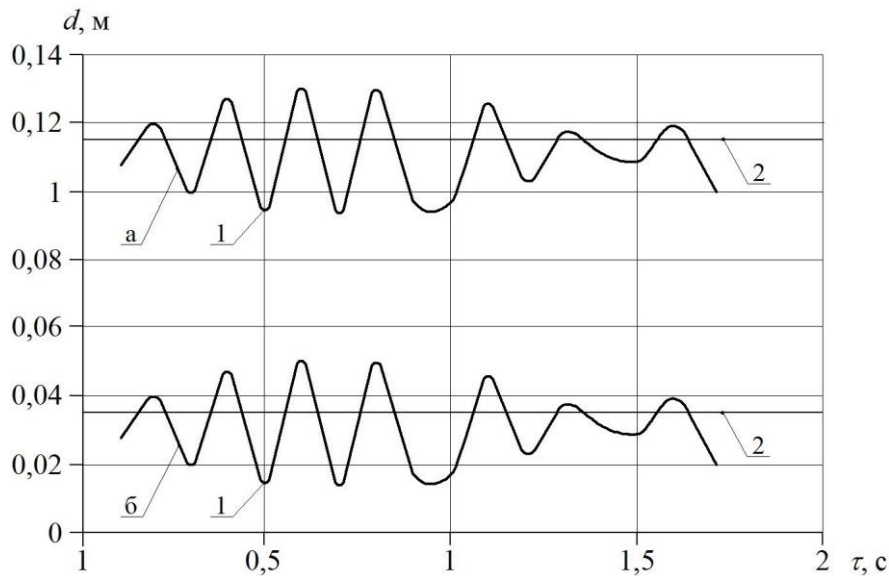


Рис. 4.9. Залежність ширини прорізуваної борозенки від часу:

а - для V-подібного зуба; б - для прямого; 1 - крива варіації ширини; 2 - середнє значення варіації.

В якості основної пружини була прийнята пружина жорсткістю $c = 14000$ Н.

На рис. 4.10 показано вимір ширини борозенки, утвореної зубом на поверхні гряди в процесі експериментальних досліджень.

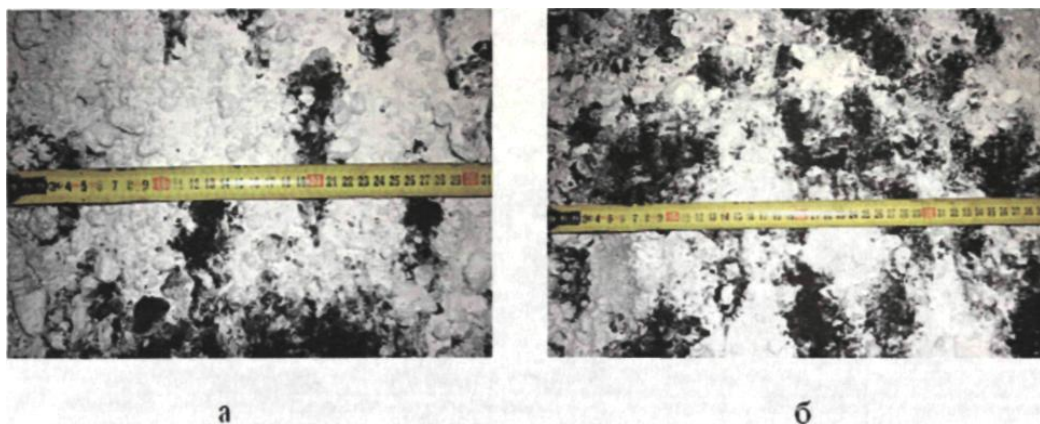


Рис. 4.10. Вимірювання ширини борозенки, що утворюється в процесі розпушування: а - прямим зубом; б - зубом V-подібної форми.

За результатами проведених експериментальних досліджень фактична ширина борозенки склала в середньому 0,02 м з прямим зубом і 0,08 м з V-подібним зубом при жорсткому кріпленні робочих органів і 0,042 м і 0,106 м

відповідно з пружинами.

4.3.4. Дослідження впливу параметрів робочих органів на площу розпушування залежно від конструктивних і технологічних параметрів.

За результатами проведеного трьох факторного експерименту були отримані математичні регресійні моделі, які відображають вплив форми зуба і режимів роботи на площу розпушування поверхні ґрунту:

- для прямого зуба:

$$S_n = 0,003871 - 6,8074 \cdot 10^{-7} F_{\text{ц}}^2 + 0,000133 F_{\text{ц}} + 3,49744 \cdot 10^{-5} m^2 + 0,000174 m + 3,43464 \cdot 10^{-5} V^2 - 9,996689 \cdot 10^{-5} \cdot V; \quad (4.8)$$

- для V-подібного зуба:

$$S_V = 0,005761 - 6,8074 \cdot 10^{-7} F_{\text{ц}}^2 + 0,000133 F_{\text{ц}} + 0,00032 V + 3,49744 \cdot 10^{-5} m^2 + 0,000174 m. \quad (4.10)$$

Характер зміни площі розпушування від форми зуба, швидкості, сили натягу ланцюга представлений на рис. 4.11.

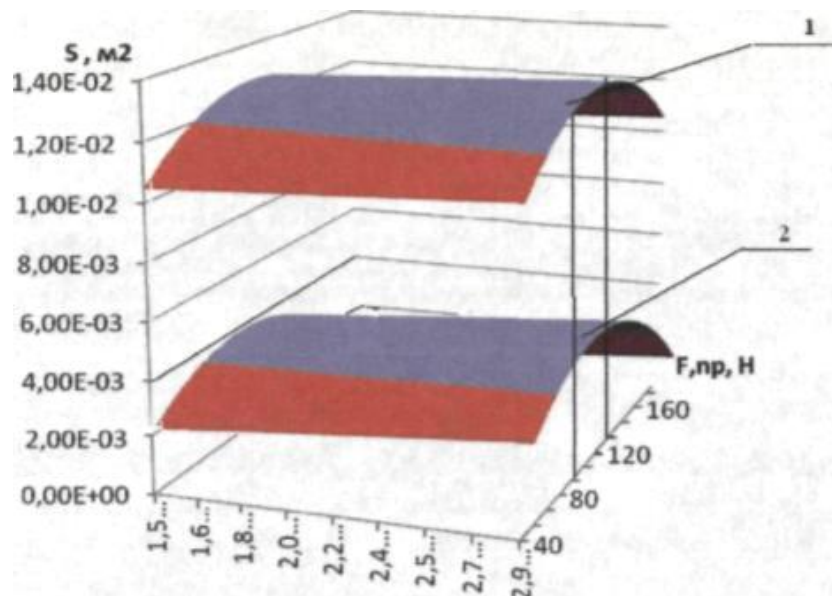


Рис. 4.11. Залежно площі розпушування від швидкості руху ротаційної борони і натягу пружини:

1 - V-подібний зуб; 2 - прямий зуб.

Аналіз залежностей показує, що площа розпушування, незалежно від форми зуба, має максимум оброблюваної поверхні, що відповідає натягу

пружини.

Необхідна кількість прямих зубів для суцільного розпушування приблизно в 3,5 рази буде потрібно більше, ніж V-подібних. Це призводить до збільшення ваги борони і тягового опору (в 2,6 рази). У зв'язку з цим для даного типу ротаційної борони рекомендується використовувати зуб V-подібної форми.

4.3.5. Результати дослідження впливу конструктивних і технологічних параметрів на силу опору зубів.

За результатами проведеного чотирьох факторного експерименту в умовах ґрунтового каналу були отримані математичні регресійні моделі, що визначають вплив 4 факторів на силу опору різних профілів зуба, які мають такий вигляд для прямого зуба:

$$F_3 = 15,5938 + 0,6297\Pi^2 - 5,138377 + 0,060V^2 - 0,0406V + 0,2433\mu^2 - 2,4775\mu - 0,2628m. \quad (4.11)$$

для V-подібного зуба:

$$F_2 = 18,1815 + 0,5197\Pi^2 - 4,7643\Pi + 0,0597R^2 - 0,042V + 0,2413\mu^2 - 2,491\mu - 0,264m. \quad (4.12)$$

На рис. 4.12 показані криві, що відображають вплив безрозмірного параметра Π на силу опору розпушування, отримані в результаті розрахунку за рівняннями (4.11) - (4.12). Параметр Π фактично відображає вплив сили натягу пружини, оскільки вхідні в залежність твердість і ширина зуба залишаються постійними.

Аналіз кривих, представлених на рис. 4.12, показує, що залежність опору зуба від параметра Π має яскраво виражений мінімум. При постійних значеннях інших факторів, що входять в залежності (4.11) і (4.12), мінімальне значення Π , що відповідає твердості ґрунту гряди: $T = 0,04$ МПа, $d = 0,008$ м для прямого і $d = 0,016$ м для V-подібного зуба при постійній глибині обробітку $h = 0,04$ м, натяг ланцюгів становить 110 Н. При цьому опір зуба V-подібної форми перевищує опір зуба простої форми в 1,33 рази.

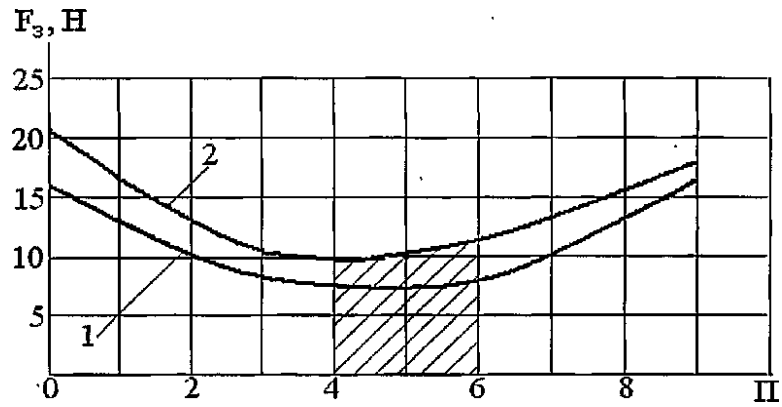


Рис. 4.12 Вплив параметра Π на зміну сили опору розпушування одного зуба:

1 - профіль зуба - а; 2 - профіль зуба - б (рис. 3.5).

Такий характер впливу натягу пружини на силу опору розпушування пояснюється тим, що при відсутності натягу ланцюг під дією власної ваги прогинається і досягає поверхні ґрунту.

Таким чином, підбір відповідної сили натягу пружин дозволяє регулювати силу опору в порівнянні з жорстким кріпленням зуба.

4.3.6. Обґрунтування параметрів опорних дисків і проміжних кілець ротатійної борони.

Для визначення місця кріплення проміжних кілець із зубами V-подібної форми на ротатійній бороні розглянемо принципову схему, представлену на рис. 4.13.

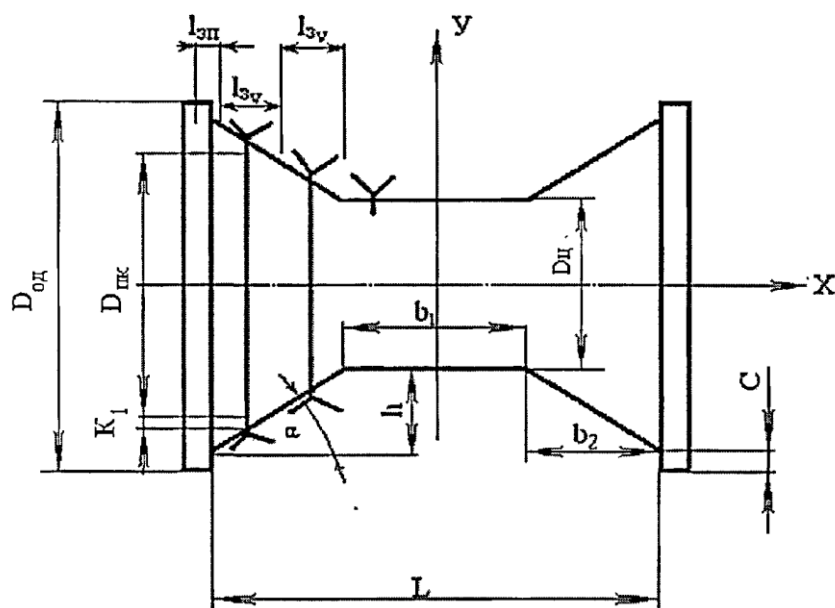


Рис. 4.13. Схема до визначення параметрів проміжних дисків.

α - кут відхилення бічної поверхні гряди; b_1 - ширина верхньої поверхні гряди, м; b_2 - проекція бічної поверхні гряди на горизонтальну площину, м; h - висота гряди, м; $D_{ц}$ - діаметр центрального проміжного диска, м; $l_{зв}$ - ширина борозенки, що утворюється V-подібним зубом, м; $l_{зн}$ - ширина борозенки, що утворюється ґрунтозачепом, м; L - відстань між опорними дисками борони, м; $D_{од}$ - діаметр опорного диска, м; $D_{нк}$ - діаметр проміжного кільця, м; C - відстань від нижньої точки опорного диска до точки кріплення ланцюга, м; K_1 - зазор між проміжним кільцем і бічною поверхнею гряди.

Визначення діаметрів опорних дисків і кілець проводимо в такій послідовності:

1. Визначаємо рівняння бічної поверхні гряди. Рівняння прямої має вигляд: $y = ax + b$, де a - тангенс кута нахилу до осі x , b - точка перетину прямої з віссю y . Польові дослідження поверхні гряди показали, що фактичний кут нахилу бічної поверхні гряди перебуває в межах від 15° до 25° . Був прийнятий кут нахилу гряди рівним 20° , що дозволило визначити коефіцієнт a , що входить в рівняння прямої.

2. Визначення коефіцієнта b . Аналіз закономірності впливу діаметра опорного диска на тяговий опір показав, що при діаметрах опорного диска понад 0,35 м його вплив на опір незначний. З урахуванням необхідності зменшувати масу і ущільнення дисків при визначенні параметрів, діаметр опорного диска був прийнятий рівним $D_{од} = 0,35$ м.

3. Враховуючи розмір C (відстань від нижньої точки опорного диска до точки кріплення ланцюга), похила поверхня повинна проходити через точку з координатами $(-L/2; D/2-C)$. З урахуванням геометричних параметрів гряди було прийнято $L = 0,700$ м. Відстань C прийнято рівною 0,03 м. З урахуванням прийнятих параметрів, рівняння бічної поверхні гряди набирає вигляду:

$$y = -0,34433x + 0,024485. \quad (4.13)$$

Отримане рівняння дозволяє визначити діаметри проміжних кілець, задаючись координатами їх розташування в бороні.

4. Розрахунок координат розташування дисків проводили виходячи із ширини поверхні розпушування зуба з урахуванням зони перекриття.

Координати розташування кілець на бічних поверхнях визначали за формулами:

- для першого бокового кільця з боку опорного диска:

$$x_{1бк} = L/2 + l_{3n}/2 + l_{3v}/2 - \Delta l; \quad (4.14)$$

- для бокового кільця зі сторони опорного диску:

$$x_{2бк} = L/2 + l_{3n}/2 + 3/2 l_{3v} - 2\Delta l; \quad (4.15)$$

- для кілець, розташованих на горизонтальній ділянці борони:

$$x_{2к} = b_1 / 2. \quad (4.16)$$

Вихідні дані для розрахунку проміжних кілець борони представлені в таблиці 4.2, а результати розрахунку наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.2

Вихідні дані для розрахунку

$D_{од}, \text{ м}$	$L, \text{ м}$	$a, \text{ град}$	$b_1, \text{ м}$	$c, \text{ м}$	$B_2, \text{ м}$	$L_{3n}, \text{ М}$	$l_{3v}, \text{ М}$	$\Delta l, \text{ м}$	$K1, \text{ м}$
0,35	0,7	20	0,3	0,03	0,2	0,02	0,106	0,01	0,01

Таблиця 4.3

Результати розрахунку діаметрів проміжних кілець

a	v	$X_{1бд}, \text{ М}$	$X_{2бд}, \text{ М}$	$X_{прям}, \text{ М}$	$D_{нк1}, \text{ М}$	$D_{нк2}, \text{ М}$	$D_{ц}, \text{ М}$
-0,3443	0,0245	-0,2522	-0,196	-0,15	0,176	0,165	0,150

Висновки.

В результаті експериментів було визначено кінематичний параметр λ , який показує співвідношення обертового руху з поступальним. Він залежить, в першу чергу, від діаметрів опорних дисків і проміжних кілець і практично не залежить від швидкості руху борони. Якісне виконання розпушування для даного типу борони забезпечується при λ від 0,43 до 0,5 в залежності від їх діаметрів кілець і опорного диска.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Охорона праці при обслуговуванні техніки, яка застосовується при використанні ґрунтообробних машин

Агропромисловий комплекс України — це цілісна народногосподарська система взаємопов'язаних у своєму розвитку галузей, які забезпечують виробництво сільськогосподарської сировини та продовольства, їх заготівлю, зберігання, переробку та реалізацію населенню.

Ядро агропромислового комплексу складають галузі сільського господарства. Основною з них є рослинництво, призначення якої — виробництво рослинницької продукції з метою одержання продовольства для населення і сировини для промисловості.

Зараз ця галузь знаходиться на старті нового сезону виробництва — здійснення комплексу весняно-польових робіт, якісне виконання яких створює передумови високих результатів сільськогосподарської діяльності.

Весняно-польові роботи — напружений етап річного циклу агропромислового виробництва, адже у березні — квітні сільськогосподарськими підприємствами виконується близько третини річного обсягу тракторних і майже така ж частка транспортних робіт у полі.

Основним нормативно-правовим актом, який регламентує безпечне виконання робіт у сільськогосподарському виробництві, є Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві, затверджені наказом Міністерства надзвичайних ситуацій України від 26 листопада 2012 р. № 1353.

Умови праці у сільськогосподарському виробництві мають певні особливості. Здебільшого польові роботи виконуються на значній відстані від центральної садиби і тракторної бригади. Через це знижується контроль за безпекою працівників з боку адміністрації господарства. У цих умовах підвищується особиста відповідальність механізаторів за безпеку проведення робіт. Разом з тим поживляються й інші роботи в агропромисловому виробництві. Зростає, порівняно із зимовими місяцями, кількість зайнятих на ручних роботах працівників, насамперед на технологічному обслуговуванні та

забезпеченні роботи посівних та інших машинно-тракторних агрегатів.

Все це об'єктивно збільшує вірогідність травматизму, особливо при недотриманні правил техніки безпеки та охорони праці й неналежній організації робіт.

Шкідливі та небезпечні фактори при виконанні весняно-польових робіт

Основними шкідливими та небезпечними факторами при проведенні весняно-польових робіт є:

- технічна несправність тракторів і сільськогосподарських машин;
- виконання робіт в охоронних зонах ліній електропередач;
- виконання робіт на відкритому повітрі, при підвищеній або низькій температурі повітря;
- підвищений рівень шуму та вібрацій;
- підвищена забрудненість повітря пилом;
- наявність отрутохімікатів;
- ризик контакту з отруйними рослинами, небезпечними комахами та тваринами;
- схили полів, наявність перешкод у вигляді ям, ярів;
- рухомі агрегати;
- пожежна небезпека;
- нервово-психічні перевантаження.

Профілактика нещасних випадків

Загальні особливості безпеки при роботі з сільськогосподарськими машинами

1. З метою запобігання порушенням, які можуть призвести до нещасних випадків та інших надзвичайних ситуацій, напередодні проведення весняно-польових робіт необхідно:

- призначити відповідальних осіб за організацію безпечної експлуатації обладнання та виконання робіт в структурних підрозділах;
- організувати та провести семінари-навчання працівників безпечним методам роботи;
- провести інструктажі з охорони праці з усіма працівниками, зайнятими у виробничих процесах;

- забезпечити працівників спецодягом, засобами індивідуального захисту, аптечкою, питною водою та засобами пожежогасіння;
- визначити та обладнати місця для відпочинку, споживання їжі та куріння;
- не допускати до роботи осіб, які не пройшли медичний огляд, хворих, перевтомлених, осіб, які перебувають в нетверезому стані, та які не пройшли інструктажі та навчання з охорони праці;
- до виконання технологічних процесів не допускати машини і обладнання, які мають технічні несправності.

2. Причіп та навіску машин і обладнання на трактор необхідно виконувати удвох. Робітник, який здійснює зчіпку (навіску), не повинен стояти на шляху руху трактора до машин, а зчіпку починати тільки після сигналу тракториста.
3. Тракторист повинен вести трактор на пониженій передачі, на малих обертах двигуна, без ривків, слідкувати за зчіпками і весь час тримати ногу на педалі головної муфти зчеплення. З'єднувати причіпну сергу з причіпним пристроєм машин потрібно тільки при зупиненому тракторі і вимкненій передачі.
4. Пересування агрегатів до місця роботи і виконання робіт повинні виконуватися у відповідності з заздалегідь розробленими маршрутами й технологією, затвердженими керівником або відповідним головним спеціалістом господарства (підприємства), з якими повинні бути ознайомлені при проведенні інструктажу всі механізатори, які будуть брати участь у виконанні певного виду робіт.
5. При груповій роботі машин із числа працівників призначається старший:
 - на машинно-тракторному агрегаті — старший тракторист-машиніст;
 - у виробничих приміщеннях (на виробничих майданчиках) — механік.
7. При роботі на ґрунтооброблювальних машинах можливі такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:
 - рухомі агрегати і машини;
 - рухомі частини машин: причіпні (навісні) пристрої, робочі органи, пружини, механізми передачі руху, колеса тощо;
 - робоча рідина гідросистеми;
 - незакриті ями, колодязі, зрошувачі тощо;

— несприятливі метеорологічні умови.

Технічне обслуговування машин і механізмів

1. Технічний стан ґрунтооброблювальних машин і пристроїв для очищення робочих органів повинен відповідати вимогам безпеки. Захисні огороження, робочі органи, циліндри і шланги гідравлічної системи повинні бути справними та надійно закріпленими. Гайки вісі в дискових луцильників і борін, катків повинні бути затягнуті й зафіксовані. Скребки (чистики) дисків мають бути гострими і встановлені з зазором 2–4 мм від поверхні диска.
2. Зубові борони повинні бути приєднані до машини так, щоб їх зуби скошеним ребром були направлені в сторону руху агрегату. Це поліпшує їх самоочищення під час роботи від залишків рослин. Залишати борони зубами ввверх, навіть на короткий час, забороняється.
3. Перед початком руху агрегату, включенням гідросистеми або валу відбору потужності трактора необхідно подати сигнал (отримати зворотній сигнал, якщо агрегат обладнано засобами двосторонньої сигналізації), впевнитися, що це нікому не загрожує, і тільки після цього виконувати необхідні дії.
4. Заглиблення робочих органів повинно виконуватися тільки на ходу агрегату. Управління гідросистемою необхідно виконувати тільки із сидіння трактора.
5. При роботі на тракторі з навісною машиною не дозволяється її піднімати з включеним валом відбору потужності і включати вал відбору потужності при транспортному положенні машини (знаряддя).
6. В процесі роботи агрегату необхідно періодично перевіряти надійність причіпки (навіски) причіпної машини, кріплення і роботу робочих органів.
7. Заправляти машину, замінювати, регулювати й очищати робочі органи від зайвих предметів, земляних глиб, налиплого ґрунту і залишків рослин необхідно виконувати тільки спеціальними чистиками при вимкненому двигуні.
8. Перед початком маневрування агрегату (поворот, розворот) необхідно впевнитися, що в радіусі руху агрегату не знаходяться люди, а потім переводиться машина (робочі органи) в транспортне положення.

Маневрування заднім ходом з заглибленими робочими органами забороняється. Після закінчення маневрування на початку прямолінійного руху необхідно перевести машину (робочі органи) в робоче положення.

9. При аварійній ситуації необхідно негайно зупинити агрегат, загальмувати й вимкнути двигун трактора.

10. Не дозволяється залишати без нагляду ґрунтооброблювальний агрегат з увімкненим двигуном трактора. При тривалій зупинці агрегату необхідно його загальмувати, опустити робочі органи і вимкнути двигун.

11. Найбільш небезпечним при обслуговуванні ґрунтооброблювальних машин та механічному оброблянні ґрунту (оранка, культивация) є очищення робочих органів, тому його необхідно здійснювати при зупиненому агрегаті, опущених робочих органах та в рукавицях із застосуванням спеціальних чистиків.

12. Керувати робочими органами, а також переводити їх в робоче або транспортне положення необхідно тільки з кабіни трактора. При заміні робочих органів (лемішів, лап та ін.) рама причіпної чи навісної машини повинна бути встановлена на надійні підставки.

13. У разі наявності на ґрунтооброблювальних машинах сидінь, вони обладнуються страхувальними поясами та опорами для ніг.

14. Завантаження сівалок посівним матеріалом та добривами потрібно виконувати тільки за допомогою механічної заправки.

Необхідною умовою успішного проведення комплексу весняно-польових робіт та збереження людського потенціалу є здійснення належного контролю за підлеглими працівниками та суворе дотримання ними трудової та виробничої дисципліни, правил охорони праці та пожежної безпеки.

5.2. Розрахунок кількості засобів пожежогасіння для боксу, де обслуговується техніка

У приміщеннях, у яких немає постійного перебування персоналу, вогнегасники слід розміщувати ззовні приміщення або на вході в нього.

У приміщеннях, у яких персонал перебуває постійно, вогнегасники потрібно розміщувати всередині приміщення, запобігаючи створенню перешкод для евакуації людей.

Відстань від можливого осередку пожежі до місця розташування вогнегасника не повинна перевищувати:

20 м — для громадських будівель та споруд; 30 м — для приміщень категорій А, Б, В (горючі гази та рідини); 40 м — для приміщень категорій В, Г; 70 м — для приміщень категорій Д.

Механічний цех, в якому встановлені металорізальні верстати займає площу 3200 м^2 ($80\text{м} \times 40\text{м}$).

Оскільки в цеху здійснюється механічне оброблення металів у холодному стані то приміщення цеху належить до категорії Д за вибухопожежною та пожежною небезпекою. В цеху можливе займання електродвигунів верстатів, тому клас можливої пожежі буде (Е).

Таким чином, вихідні дані для вирішення нашої задачі будуть такі:

- Площа приміщення - 3200 м^2 ;
- Розміри приміщення - $80\text{м} \times 40\text{м}$;
- Категорія за вибухопожежною та пожежною небезпекою – Д;
- Клас можливої пожежі - (Е);
- Оснащення приміщення – верстати з електродвигунами, електрообладнання;
- Розмір осередку можливої пожежі – незначний.

1. Визначаємо, якого виду вогнегасники (переносні чи пересувні) слід прийняти до установки.

Головним критерієм вибору виду вогнегасників є величина можливого осередку пожежі. Оскільки розмір осередку можливої пожежі очікується незначний, приймаємо рішення про оснащення приміщення переносними вогнегасниками.

2. Визначаємо рекомендовані типи вогнегасників.

Для цього користуємося «Приміщення категорій Г; Д». Визначаємо, що для наших вихідних умов {приміщеннями категорії Д, клас можливої пожежі – (Е)} вона містить рекомендації щодо оснащення порошковими вогнегасниками.

Користуючись рекомендаціями, щодо порошкових вогнегасників, визначаємо, що для захисту промислових об'єктів рекомендованими є такі типи переносних порошкових вогнегасників: ВП-5, ВП-6, ВП-9, ВП-12.

3. Визначаємо кількість вогнегасників.

Знову повертаємося до «Приміщення категорій Г; Д». Для площі нашого цеху $3200 \text{ кв. м} = (3 \times 1000 + 1 \times 200) \text{ кв. м}$ за даними знаходимо необхідну кількість порошкових вогнегасників для кожного з рекомендованих типів.

4. Визначаємо ефективності вогнегасників за їх вогнегасною здатністю. Користуючись даними для вибраних типів вогнегасників визначаємо сумарний коефіцієнт ефективності для всіх вогнегасників за їх вогнегасною здатністю щодо гасіння модельних вогнищ пожеж (для пожежі класу А або класу В). 5. Остаточо прийнятий тип вогнегасників.

Враховуючи зручність експлуатації вогнегасників, та облаштування місць їх розташування, приймаємо рішення, що 24 вогнегасника для одного цеху – дещо забагато, а варіанти з 15 та 11 вогнегасниками є приблизно рівноцінними як по кількості так і по сумарному коефіцієнту ефективності вогнегасників (в цьому прикладі оцінка ефективності для пожежі класу А не є вирішальним фактором). Беручи до уваги те, що осередками можливої пожежі є електродвигуни верстатів, остаточно вибираємо з усіх можливих варіантів оснащення цеху вогнегасниками типу ВП-12в кількості 11 шт.

Вибір вогнегасників для оснащення виробничих приміщень

1.	Види вогнегасників	Порошкові		
2.	Типи вогнегасників	ВП-5,ВП-6	ВП-9	ВП-12
3.	Їх кількість для площі 200 кв.м	4	3	2
4.	Їх кількість для площі 1000 кв.м	6	4	3
5.	Загальна кількість вогнегасників для нашого цеху площею 3200 кв.м	$3 \times 6 + 4 = 28$ шт.	$3 \times 4 + 3 = 15$ шт.	$3 \times 3 + 2 = 11$ шт.
6.	Коефіцієнт ефективності вогнегасника для пожежі класу А	6	8	12
7.	Сумарний коефіцієнт ефективності для всіх вогнегасників	$6 \times 28 = 168$	$8 \times 15 = 120$	$12 \times 11 = 132$

План розташування вогнегасників. Відстань від можливого осередку пожежі до місця розташування вогнегасника.

Найчастіше вогнегасники розташовують біля стін приміщення (на стінах) та в проходах. Відстань між вогнегасниками та місцем можливого займання повинна становити не більше 70 м. Цю відстань слід оцінювати на плані приміщення не по прямій, а по проходам між обладнанням. Зазвичай проходи облаштовують паралельно стінам приміщення.

Для оцінки відстані від найбільш віддаленого від вогнегасників осередку можливої пожежі до найближчого вогнегасника на плані приміщення цеху позначимо місця установки вогнегасників (рис.5.1).

В нашому випадку очевидно, що відстань між вогнегасниками та

найвіддаленішим від них місцем можливого займання з урахуванням розташування обладнання в цеху становить значно менше 70 метрів.

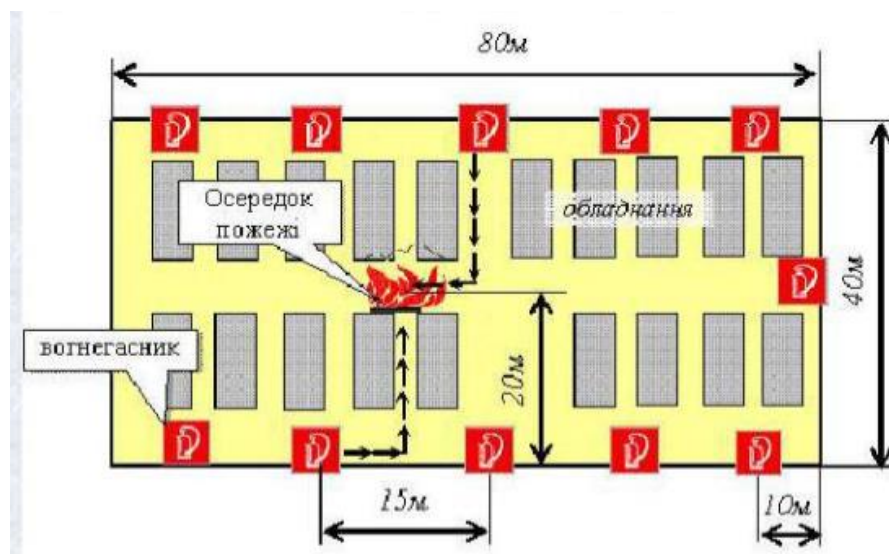


Рис.5.1. Розташування вогнегасників у приміщенні цеху

5.3. Прогнозування інженерної обстановки при аварії з вибухом

Ступінь руйнувань будівлі, споруди чи обладнання залежить від їх міцності та величини надмірного тиску (ΔP_{ϕ}) ударної хвилі. Величина надмірного тиску, в свою чергу, залежить від типу і кількості вибухової речовини та відстані від центру вибуху до досліджуваного об'єкта

Методика розрахунку величини надмірного тиску відрізняється для умов вибуху газоповітряної суміші і умов вибуху вибухової речовини.

А. Під час вибуху газоповітряної суміші вуглеводневих продуктів

Величина надмірного тиску залежить від того в яку фізичну зону вибуху потрапить об'єкт. Таких зон утворюється 3:

Зона I – детонаційної хвилі (знаходиться в районі ЦВ, в межах хмари речовини вибуху) має радіус:

$$r_1 = 17,5 \cdot \sqrt[3]{Q}$$

де Q – кількість вуглеводневого продукту, т

В межах цієї зони надмірний тиск $\Delta P_{\phi} = 1700$ кПа.

Зона II – дії продуктів вибуху (охоплює територію, де розлетілись продукти газоповітряної суміші внаслідок її детонації) має радіус:

$$r_2 = 1,7 \cdot r_1$$

Надмірний тиск в межах цієї зони розраховується за формулою:

$$\Delta P_{II} = 1300(r_1 / R_0)^3 + 50, = 1300 \cdot (17,5 / L)^3 \cdot Q + 50$$

де R_0 – відстань від ЦВ до об'єкта в межах зони. ($=L$)

Зона III – дії повітряної УХ.

Надмірний тиск в межах цієї зони можна визначити за формулою:

$$\Delta P_{\phi} = \frac{262}{\sqrt{1 + 7,66 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{L^3}{Q} - 1}}, \text{кПа,}$$

або менш точно можна визначити за допомогою графіків, де

L – відстань до центру вибуху, м;

Q – кількість вибухової речовини, т.

Б. Під час вибуху вибухової речовини (тротилу, пікринової кислоти, тетрилу, гексогену) величину надмірного тиску розраховують за формулою:

$$\Delta P_{\phi} = \left(1,05 \frac{\sqrt[3]{Q}}{L} + 43 \frac{\sqrt[3]{Q^2}}{L^2} + 1400 \frac{Q}{L^3} \right) \cdot 10^3, \text{кПа,}$$

де $Q = K_{BP} \cdot Q_{BP}$

1,0 – тротил

0,97 – пікринова кислота

1,08 – тетрил

$K_{BP} = 1,28$ - гексоген

K_{BP} - коефіцієнт, що враховує тип вибухової речовини;

Q_{BP} - кількість заданої у вихідних даних відповідної вибухової речовини у тонах.

Після визначення величини надмірного тиску ударної хвилі, що очікується в районі цеху, оцінюються ступені руйнувань елементів цеху (будівлі, обладнання, енергетичних мереж).

Вихідні дані:

1. Відстань від цеху до міста аварії (вибуху) – 800 м

2. Маса пропану – 300 т

3. Характеристики елементів цеху:

будівля – зі збірного залізо бетону

верстати – важкі

кабельні лінії – наземні

контрольно-вимірювальна апаратура – наявна

границі вогнетривкості несучих стін – 2 год

границі вогнетривкості перегородок – 0,25 год

4. Категорія виробництва з пожежної безпеки – В

5. Щільність забудови об'єкту – 23%

Розрахункова частина:

1.1. Зона I : $r_1 = 117\text{м}$; $\Delta P_{\phi} = 1700\text{ кПа}$.

1.2. Зона II: $r_2 = 199\text{м}$; $\Delta P_{II} = 54,08$.

Висновок: об'єкт опиниться за межами цих зон, тобто у зоні повітряної ударної хвилі (зона III)

1.3. $\Delta P_{\phi} = 25,01, \text{ кПа}$

1.4.1. Ступінь руйнування будівлі – середня

Характеристика руйнувань будівлі:

Руйнування даху, легких внутрішніх перегородок, в капітальних стінах з'являються тріщини

1.4.2. Ступінь руйнування верстатів – слабкі

Характеристика руйнувань промислового обладнання:

Пошкодження окремих елементів обладнання, важелів управління, вимірювальних приладів

1.4.3. Ступінь руйнування контрольно-вимірювальної апаратури – сильні

1.4.4. Ступінь руйнування кабельних ліній – слабкі

2.1. Ступінь ураження людей – від прямої дії - слабкі

2.2. Характеристика уражень людей:

3.1. Ступінь вогнестійкості – III ступінь вогнестійкості

3.2. Очікувана пожежна обстановка

для виробництва категорії пожежної небезпеки В, ступеня вогнестійкості будівель – III, при надмірному тиску 25 кПа і щільності забудови більше 20% можна очікувати в перші 30 хвилин окремі пожежі з переростанням за 1...2 год в суцільну.

4.1. Безпечна кількість вибухової речовини - *менше 50 т*

4.2. Визначаємо безпечну кількість пропану для уникнення будь-яких руйнувань, тобто контрольно-вимірювальна апаратура вціліє, якщо кількість пропану буде *менше 15 т*

Висновки: Для оснащення механічного цеху, який за вибухопожежною та пожежною небезпекою належить до категорії Д, клас можливої пожежі (Е), вибрано до установки 11 порошкових вогнегасників типу ВП-12.

На відстані 800 м від цеху стався вибух пропану, що призвело до руйнувань будівлі, елементів цеху, постраждали люди. В першу чергу треба сповістити про НС.

6. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ РОТАЦІЙНОЇ БОРОНИ

6.1 Оцінка технічного рівня виробу

Науково-технічний прогрес машинобудування у сучасних умовах характеризується частою зміною об'єктів виробництва і підвищенням їхнього технічного рівня і якості, збільшенням одиничної потужності і продуктивності машин, зниженням їхньої металоємності, використанням якісно нових матеріалів, інтенсифікацією технологічних процесів і режимів роботи устаткування, впровадженням принципово нових технологічних процесів, їхньою автоматизацією із широким використанням ПК.

Моральне старіння машин і приладів найчастіше настає значно швидше їхнього фізичного старіння. Терміни стійкого масового чи серійного виробництва виробів скоротилися до дійсного часу з 10-15 до 3-5 років, а це вимагає підвищення технічного рівня і якості виробів, вдосконалювання методів організації і керування процесами виробництва, розвитку спеціалізації і кооперування при виготовленні як виробів основного виробництва, так і засобів оснащення виробничих процесів.

Ці зміни викликають зміну характеру машинобудівного виробництва, перехід від розгляду окремо взятих процесів і явищ до комплексного їх розгляду у взаємозв'язку з іншими процесами і явищами.

Сучасний виробничий процес, успішний розвиток якого обумовлений комплексним рішенням задач на всіх рівнях керування, – це єдиний взаємозалежний комплекс технологічних процесів, устаткування і засобів вимірювання, що охоплює різноманітні сторони - від одержання заготовок до виходу готової продукції.

Технологічні процеси і засоби виробництва органічно зв'язані між собою. Зміна одних викликає зміну інших, тому перехід до таких систем пов'язаний зі створенням нової технології. Поширення набувають нові методи формоутворення, електрофізична й електрохімічна обробка металів; механічна

обробка витісняється штампуванням, прокаткою, зварюванням та іншими методами.

При розробці і впровадженні у виробництво нових виробів широко застосовують принципи уніфікації, методи автоматизованого проектування, проводять відпрацьовування конструкцій виробів на технологічність і контрольні іспити досліджуваних зразків та їхніх елементів.

Всебічна оцінка переваг і недоліків виробів машинобудування, тобто техніко-економічний аналіз, вимагає активного і компетентного втручання розробників і технологів, що беруть участь у створенні і освоєнні нової продукції.

Для того, щоб продукція, що випускається відповідала рівню науково-технічного розвитку, була конкурентоздатною і задовольняла різностороннім вимогам споживачів, на всіх етапах циклу створення і освоєння нової техніки потрібне проведення комплексних аналітичних робіт.

6.2 Економічна оцінка культиватора обладнаного ротаційною бороною

Оскільки культиватор КРН-5,6 є комбінованою машиною, яка дозволяє за один прохід агрегату здійснити пошарове розпушування міжрядь, то це призводить до певного збільшення ваги культиватора за рахунок навішування додаткових робочих органів, що сприяє додатковому ущільненню ґрунту при обробці, тому завдання зниження ваги механізму має одне із важливих значень.

Економічну оцінку ефективності внесених конструктивних змін при виконанні операцій обробітку ґрунту культиватором КРН-5,6 обладнаного ротаційною бороною виконаємо згідно методики [27].

Для розрахунку економічної ефективності складемо таблиці 6.1, таблицю вихідних даних.

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності.

№ пп.	Показники	Позначення	Розмірність	Модель	
				Базова	Проектна
1.	Марки трактора	-	-	МТЗ-82С	МТЗ-82С
2.	Оптова ціна трактора	B_m	грн.	1298000	1298000
3.	Марка с.-г. машини	-	-	КРН-5,6	КРН-5,6У
4.	Оптова ціна с.-г. машини	B_m	грн.	118170	119230
5.	Продуктивність	$W_{год}$	га/год	3,4	4,5
6.	Нормативне завантаження:				
	- трактора	$T_{зм}$	год.	1300	1300
	- с.-г. машини	$T_{зм}$	год.	160	160
7.	Кількість обслуговуючого персоналу	N	чол.	1	1
8.	Тарифна ставка тракториста	f_m		374,13	374,13
9.	Відрахування по трактору на:				
	- реновацію	$Q_{рт}$	%	15	15
	- ремонт і ТО	$Q_{кт}$	%	5	5
10.	Відрахування по культиватору на:				
	- реновацію	$Q_{рм}$	%	12	12
	- ремонт і ТО	$Q_{км}$	%	15	15
11.	Вартість оптова 1 кг дизельного палива	$C_{пмм}$	грн.	22,20	22,20

Визначення економічної ефективності удосконалення культиватора проводимо в порівнянні просапного культиватора КРН-5,6У обладнаного ротаційною бороною до базового КРН-5,6.

6.2.1. Визначимо заробітну плату механізатора [27]:

$$z_n = \frac{f_m}{W_{zod}}, \text{ грн/га.} \quad (6.1)$$

По базовій моделі:

$$z_{n.б.} = \frac{374,13}{3,4} = 111,21 \text{ грн/га.}$$

По проектній моделі:

$$z_{n.п.} = \frac{374,13}{4,5} = 98,69 \text{ грн/га.}$$

6.2.2. Визначаємо відрахування на ремонт і амортизацію по трактору [27]:

$$S_{om} = \frac{1,1 \cdot B_m \cdot (Q_{pm} + Q_{pm})}{100 \cdot T_{zm} \cdot W_{zod}}, \text{ грн/га.} \quad (6.2)$$

По базовій моделі:

$$S_{om.б.} = \frac{1,1 \cdot 1298000 \cdot (15 + 5)}{100 \cdot 1300 \cdot 3,4} = 19,85 \text{ грн/га.}$$

По проектній моделі:

$$S_{om.п.} = \frac{1,1 \cdot 1298000 \cdot (15 + 5)}{100 \cdot 1300 \cdot 4,5} = 17,44 \text{ грн/га.}$$

6.2.3. Визначаємо відрахування на ремонт та амортизацію по сільськогосподарському знаряддю [27]:

$$S_{om} = \frac{1,1 \cdot B_{zn} \cdot (Q_{pm} + Q_{pm})}{100 \cdot T_{zm} \cdot W_{zod}}, \text{ грн/га.} \quad (6.3)$$

По базовій моделі:

$$S_{om.п.} = \frac{1,1 \cdot 118170 \cdot (12 + 15)}{100 \cdot 160 \cdot 3,4} = 19,92 \text{ грн/га.}$$

По проектній моделі:

$$S_{om.п.} = \frac{1,1 \cdot 119230 \cdot (12 + 15)}{100 \cdot 160 \cdot 4,5} = 17,93 \text{ грн/га.}$$

6.2.4. Визначаємо вартість паливо-мастильних матеріалів за наступною формулою [27]:

$$G_m = C_{пмм} \cdot g_m, \text{ грн./га.} \quad (6.4)$$

По базовій моделі:

$$G_{m.б.} = 50 \cdot 8,2 = 411 \text{ грн./га.}$$

По проектній моделі:

$$G_{m.п.} = 50 \cdot 7,5 = 375 \text{ грн./га.}$$

Разом витрати становитимуть:

$$B = Z_n + S_{on} + S_{on} + G_m, \text{ грн./га.} \quad (6.5)$$

По базовій моделі:

$$B_{б.} = 111,21 + 19,85 + 19,92 + 411 = 561,98 \text{ грн./га.}$$

По проектній моделі:

$$B_n = 98,69 + 17,44 + 17,93 + 375 = 509,06 \text{ грн./га.}$$

6.2.5. Питомі капітальні вкладення.

Капітальні вкладення розраховуються з урахуванням нормативної завантаженості сільськогосподарської техніки:

$$S_n = \frac{1,1 \cdot B_m}{W_{год} \cdot T_{зм}} + \frac{1,1 \cdot B_{zn}}{W_{год} \cdot T_{зм}}, \text{ грн/га.} \quad (6.6)$$

По базовій моделі:

$$S_{n.б.} = \frac{1,1 \cdot 1298000}{3,4 \cdot 1300} + \frac{1,1 \cdot 118170}{3,4 \cdot 160} = 186,01 \text{ грн/га.}$$

По проектній моделі:

$$S_{n.п.} = \frac{1,1 \cdot 1298000}{4,5 \cdot 1300} + \frac{1,1 \cdot 119230}{4,5 \cdot 160} = 166,60 \text{ грн/га.}$$

6.2.6. Річний економічний ефект.

Визначаємо річний економічний ефект за формулою [27]:

$$E_p = [(B_{б.} + E_{б.} \cdot S_{n.б.}) - (B_n + E_n \cdot S_{n.п.})] \cdot T_{зм} \cdot W_{год}, \text{ грн.} \quad (6.7)$$

$$E_p = [(561,98 - 0,15 \cdot 186,01) - (509,06 - 0,15 \cdot 166,60)] \cdot 160 \cdot 4,5 = 212741,92 \text{ грн.}$$

6.2.7. Строк окупності удосконалення культиватора

Строк окупності визначається за формулою [27]:

$$Q = \frac{Z_{np}}{E_p} = \frac{10600}{212741,92} = 0,1 \text{ року.} \quad (6.8)$$

де Z_{np} – витрати на удосконалення культиватора КРН-5,6У:

$$Z_{np} = B_{м.н} - B_{м.б} = 19230 - 18170 = 1060 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2

Техніко-економічні показники.

Показники	Одиниці виміру	Агрегат		Відхилення (+ / -)
		Базовий	Проектний	
Сумарні витрати на техніку	грн.	118170	129230	+11060
Заробітна плата	грн./га	151,21	138,69	-12,52
Витрати по трактору	грн./га	19,85	17,44	-2,41
Витрати по с.-г. машині	грн./га	19,92	17,93	-1,99
Витрати на ПММ	грн./га	411	345	-66
Загальні експлуатаційні витрати	грн./га	1253,02	1220,56	-32,46
Питомі капітальні витрати	грн./га	186,01	166,60	-19,41
Річний економічний ефект	грн.		212741,92	-
Строк окупності	років		0,1	-

Отже, техніко-економічними розрахунками встановлено, що річний економічний ефект становитиме 212741,92 грн., а затрати на удосконалення культиватора КРН-5,6У, шляхом обладнання його ротаційною бороною окупляться протягом 1 сезону експлуатації, що дозволяє судити про доцільність впровадження проектного рішення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що через жорстке кріплення робочих органів ротаційної борони до опорних дисків поверхня гряди обробляється недостатньо якісно. З метою усунення цього недоліку розроблена ротаційна борона з кріпленням робочих органів до опорних дисків за допомогою пружин, які дозволяють копіювати профіль гряди і тим самим підвищити якість поверхневого обробітку.

2. Отримано моделі, що дозволяють визначати тяговий опір борони, площу оброблюваної поверхні в залежності від нерівностей гряди, форми зуба, швидкості руху, питомої маси, що припадає на один зуб. Встановлено, що додаткові коливання зуба, що створюються пружинами в процесі роботи, збільшують площу розпушування одним зубом до 30%, що дозволяє зменшити кількість зубів, знизити питому масу і тяговий опір борони.

3. Обґрунтовано основні конструктивні параметри робочих органів ротаційної борони: діаметр опорних дисків $D = 0,35$ м; кількість проміжних кілець $z = 7$ шт.; діаметри проміжних кілець: три центральних – 0,150 м, по два бічних - 0,165 і 0,176 м; кількість зубів на центральному кільці - 6 шт., на бічних кільцях - 7 зубів; модуль пружності циліндричної пружини 14 кН/м; раціональна сила натягу ланцюга знаходиться в межах 100-120 Н; зуб V-подібної форми з кутом розвороту $\alpha = 90$ град., висотою зуба $h = 0,04$ м, $d = 0,008$ м; амплітуда коливань зуба в поперечному напрямку до $d_1 = 0,02$ м.

4. Визначено, що при поступальній швидкості агрегату $V = 2,6-2,8$ м/с, частоті обертання борони $\omega_b = 14,9-16,0$ с⁻¹, при вологості ґрунту 16-22% питомий тяговий опір борони склав 200-210 Н/м.

5. Результати виробничої перевірки показали, що площа розпушування розробленої борони склала 100% проти 80% у серійної, знищення бур'янів 96% проти 80%, підвищення врожайності на 4-6%.

6. При розрахунку розділу з охорони праці, для оснащення механічного цеху, який за вибухопожежною та пожежною небезпекою належить до категорії Д, клас можливої пожежі (Е), вибрано до установки 11 порошкових вогнегасників типу ВП-12.

На відстані 800 м від цеху стався вибух пропану, що призвело до руйнувань будівлі, елементів цеху, постраждали люди. В першу чергу треба сповістити про НС.

7. Техніко-економічними розрахунками встановлено, що річний економічний ефект становитиме 212741,92 грн., а затрати на удосконалення культиватора КРН-5,6, шляхом обладнання його ротаційною бороною окупляться протягом 1 сезону експлуатації, що дозволяє судити про доцільність впровадження проектного рішення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Адамчук В.В. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / В.В. Адамчук, Г.Л. Баранов, О.С. Барановський та ін.; за ред. В.І. Кравчука, М.І. Грицишина, С.М. Ковалюка. К.: Аграрна наука, 2004. 396 с.
2. Алексеева І. В. Довідник з вищої математики. / Алексеева І.В., Гайдей В.О., Диховичний О.О., Федорова Л.Б. Довідник // Довідник. К: НТУУ «КПІ», 2011. 212 с.
3. Бездольний Н.І. Борони гнучкі обертові / Н.І. Бездольний // Техніка і обладнання для села. 2002. № 12. С. 5-12.
4. Білоконь Я.Ю. Трактори та автомобілі: Підручник / Я.Ю. Білоконь, А.І. Окоча,. Київ: Урожай, 2002. 321 с.
5. Бойко А.І. Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин / [Бойко А.І., Свірень М.О., Шмат С.І., Ножнов М.М.]. К., 2003. 206 с.
6. Бомба М.Я. Землеробство з основами ґрунтознавства, агрохімії та агроекології: навч. посіб. для студентів ВНЗ / М.Я. Бомба, Г.Т. Періг, С.М. Рижук [та ін.]. Київ: Урожай, 2003. 397, [3] с.
7. Булгаков В.М. Теоретична механіка в прикладах і завданнях : навч. посібн. для студ. вузів / В.М. Булгаков, Г.М. Калетнік, І.В. Гриник [та ін.] ; за ред. В.М. Булгакова. Київ: Аграр. наука, 2014. 346, [2] с.
8. Бурлака В.В. Основи теорії механізмів і машин / В.В. Бурлака, С.І. Кучеренко, Д.І. Мазоренко, Л.М. Тищенко // Курс лекцій. Підручник Харків, 2009. 340с.: іл. 161.
9. Владимиров Е.А. Удосконалення конструктивно-технологічної схеми та оптимізація основних параметрів комбінованого агрегату для передпосівного обробітку ґрунту: Авторефер. Кіров, 2009. 23 с.
10. Влох В.Г. Вплив площі живлення на урожайність та якість бульб картоплі [Текст] / В.Г. Влох [та ін.] // Вісн. Сумського нац. аграр. ун-ту. 2004. № 12(10). С. 92-94.
11. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник /

- Д. Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т. Д. Іщенко та ін.; За ред. Д. Г. Войтюк. : Вища школа, 2004. 544 с.
12. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В. М. Барановський, В. М. Булгаков та ін.; за ред. Д. Г. Войтюк К.: Вища освіта, 2005. 464 с.
13. Єщенко В.О. Загальне землеробство: Підручник / За ред. В.О. Єщенка. - К.: Вища освіта, 2004. 336 с.
14. Зоценко М.Л. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти. Зоценко М.Л., Коваленко В.І. - Полтава: ПНТУ, 2004. 112 с.
15. Ільченко В.Ю. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві [Текст] : навч. посібник для студ. вузів інж. спец. / За ред. В.Ю. Ільченка. К. : Урожай, 1993. 288 с.
16. Шубенко Владислав Олексійович. Обґрунтування процесу роботи та параметрів кільцевого робочого органу дискової борони: Дис.. канд. техн. наук: 05.05.11 / Державний агроєкологічний ун-т. Житомир, 2001. 217 с.
17. Картоплярство. Випуск 32: Міжвідомчий тематичний науковий збірник / Ред. В.В. Кононученко; Українська академія аграрних наук. Інститут картоплярства. К.: Аграрна наука, 2003. 179 с.
18. Лихочвор В.В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. 120 культур : навч. посіб. / В. В. Лихочвор, В. Ф. Петриченко, П. В. Іващук, О. В. Корнійчук ; [за ред. В. В. Лихочвора, В. Ф. Петриченка]. Львів: Українські технології, 2010. 1085, [2] с.
19. Марченко, В.В. Механізована технологія вирощування та збирання картоплі [Текст] / В.В. Марченко, В.О. Сінько // Механізація сільськогосподарства. 2007. № 6. С. 22-29.
20. Марченко В.В.. Механізація технологічних процесів у рослинництві: Навчальний посібник / За ред. В.В. Марченка. Київ.: Кондор 2007. 334 с.
21. Шмат К.І. Робочі процеси і розрахунок сільськогосподарських машин : навч. посіб. / К. І. Шмат, П. В. Сисолін, В. В. Карманов, Г. І. Іванов ; М-во освіти і науки України, Х. держ. техн. ун-т. Херсон: Олді-плюс, 2009. 307 с.
22. Мисливців Б.Л. Енергозберігаючий спосіб формування профілю

- бульбонесучого шару ґрунту при вирощуванні картоплі / Б.Л. Мисливців // Техніка в сільському господарстві. 2007. № 5. С. 33-35.
23. Подпратов Г.І. Зберігання и переробка продукції рослинництва. Подпратов Г.І. // Навчальний посібник. К. : Мета, 2002. 495 с.
24. Путрине А.С. Кінематика криволінійних елементів голчастих ротаційних робочих органів. А.С. Путрине // Трактори і сільськогосподарські машини. 2002. № 6. С. 29 -32.
25. Путрине А.С. Кінематика криволінійних елементів голчастих ротаційних робочих органів. А.С. Путрине // Трактори і сільськогосподарські машини. 2002. № 6. С. 29 -32.
26. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: Теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 1. Машини для рільництва / Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. // за ред. М.І. Черновола. К.: Урожай, 2001. 382 с.
27. Старовойтов В.І. Грядова технологія обробітку картоплі / В.І. Старовойтов, О.А. Павлова // Наук. тр. ВІМ. Т. 141, ч. 1. М., 2002. С. 175-181.
28. Старовойтов В.І. Про ресурсозберігаючі, природоохоронні технології вирощування картоплі на грядках / В.І. Старовойтов, О.А. Павлова, Н.В. Воронов // СПБО «Екологія і Бізнес», 2003. С. 92-94.
29. Фірсов І. Технологія рослинництва / І. Фірсов. М. : Колос, 2005. 472 с.
30. Чекусов М.С. Модернізація ротаційної борони для обробки поверхні гряди при обробітку картоплі / М.С. Чекусов, А.А. Ким // Досягнення науки і техніки АПК. 2011. № 2. С. 72-73.
31. Черемісін А.І. Вдосконалені робочі органи для догляду за посадками / А.І. Черемісін, М.С. Чекусов // Картопля та овочі. 2006. № 3. С. 9-11.
32. Шмат К.І. Методи і принципи проектування сільськогосподарських машин і агрегатів : навч. посіб. / [К.І. Шмат; П.В. Сисолін; О.Є. Самарін; Є.І. Бондарєв; С.М. Макаров], М-во освіти і науки України, Херсон. держ. техніч. ун-т. - [перевид.]. Херсон: Олді-плюс, 2009. 175 с.
33. Шубенко Владислав Олексійович. Обґрунтування процесу роботи та параметрів кільцевого робочого органу дискової борони: Дис... канд. техн. наук: 05.05.11 / Державний агроєкологічний ун- т. Житомир, 2001. 217 с.

ДОДАТКИ

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО -
ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

**Обґрунтування конструктивно-
технологічних параметрів ротаційної
борони**

Демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

**Виконав: студент 2го курсу, групи МГАІЗ-24
Максим ПАНКРАТОВ**

**Керівник: к.т.н., доцент
Наталя ПОНОМАРЕНКО**

Дніпро 2025

Метою роботи є підвищення ефективності застосування поверхневого обробітку ґрунту при вирощуванні картоплі на грядках шляхом вдосконалення параметрів ротаційної борони.

Задачі дослідження

- провести аналіз відомих технічних засобів для досходового боронування картоплі по грядовій технології;
- виконати дослідження вплив параметрів ротаційної борони на якість обробітку ґрунту гряди в залежності від її профілю;
- провести експериментальні дослідження та обґрунтувати раціональні конструктивно-технологічні параметри ротаційної борони з кріпленням робочих органів за допомогою циліндричних пружин;
- надати експлуатаційно-технологічну та агротехнічну оцінку експериментального зразку ротаційної борони;
- визначити техніко-економічну ефективність ротаційної борони.

Об'єкт дослідження – технологічний процес обробітку ґрунту ротаційною бороною.

Предмет дослідження – закономірності впливу параметрів робочих органів ротаційної борони на якісні показники її роботи під час обробітку гряд.

Технічні засоби досходового боронування
при обробітку картоплі по грядовій технології



Борона сітчаста навісна



Культиватор КРН-4,2, з ротатійними боронами із
кріпленням зубів на ланцюговій розтяжці



Культиватор КРН-4,2 з ротатійними боронами
із жорстким кріпленням зубів.

Теоретичні дослідження процесу роботи ротативної борони

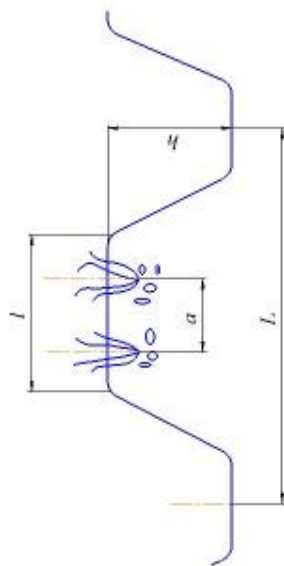


Рис. 1 Форма гряди:

a - відстань між буглями; L - ширина міжрядь;
 l - ширина вершини гряди; h - висота гряди.

Для складання диференціального рівняння руху ротативної борони скористаємося рівнянням Лагранжа другого роду:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} = Q_q \quad (1)$$

де T - кінетична енергія системи,

q - узагальнена координата,

Q_q - узагальнена сила.

Кінетична енергія відповідно до теореми Кеніга визначається за виразом

$$T = m_b v^2 + \frac{J_b \omega^2}{2} = \frac{1}{2} \left(m_b v^2 + J_b \dot{q}^2 \right) \quad (2)$$

де m_b - маса борони, кг;

J_b - момент інерції, кг·м²;

ω - кутлова швидкість, с⁻¹.

Рівняння руху ротативної борони:

$$x = \lambda \left(\frac{b_2 - A}{\lambda} \right) (e^{\lambda t} - 1) - A t \quad (3)$$

$$x = \lambda \left(\frac{b_2 - A}{\lambda} \right) e^{\lambda t} + A \quad (4)$$

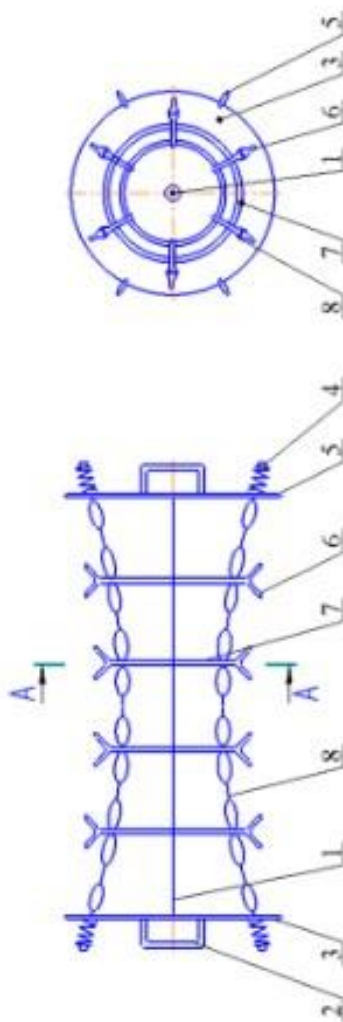


Рис. 2 Схема ротативної борони для обробітку гряд:

1 - вал; 2 - опора вала; 3 - диск опорний;

4 - циліндрична пружина; 5 - ґрунтозачепи;

6 - зуб; 7 - проміжне кільце; 8 - ланцюг.

Теоретичні дослідження процесу роботи ротаційної борони

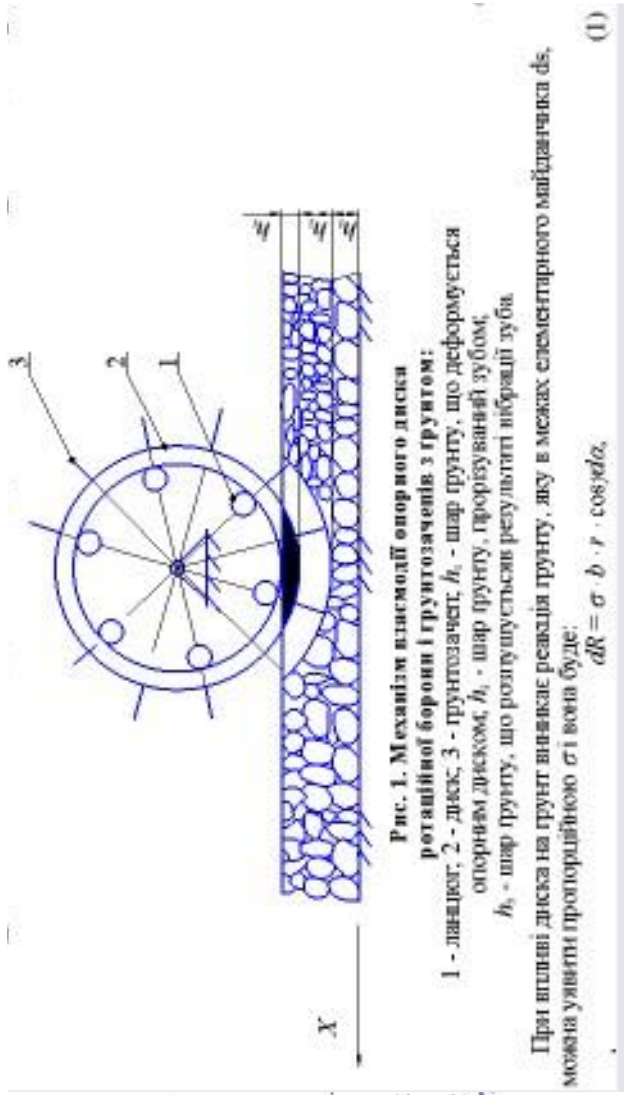


Рис. 3. Схема сил, що діють на робочі органи ротаційної борони:

G - сила тяжіння борони, Н; P_a - тягове зусилля трактора, Н; R , R_0 , R_1 - опір ґрунту переміщенню опорних дисків і зубів, Н.

де b - ширина опорного диска, м;

σ - нормальна до елементарного майданчика напруга, Па.

Для теоретичного опису процесу ущільнення ґрунту під впливом сил, прикладених до опорного диска, скористаємося залежністю В.В. Кашигіна:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot th \frac{k}{\sigma_0} \cdot s, \quad (4)$$

де σ_0 - межа міцності ґрунту на одновісне стиснення, Па;

k - коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту;

s - траєкторія руху частинки ґрунту під ободом колеса.

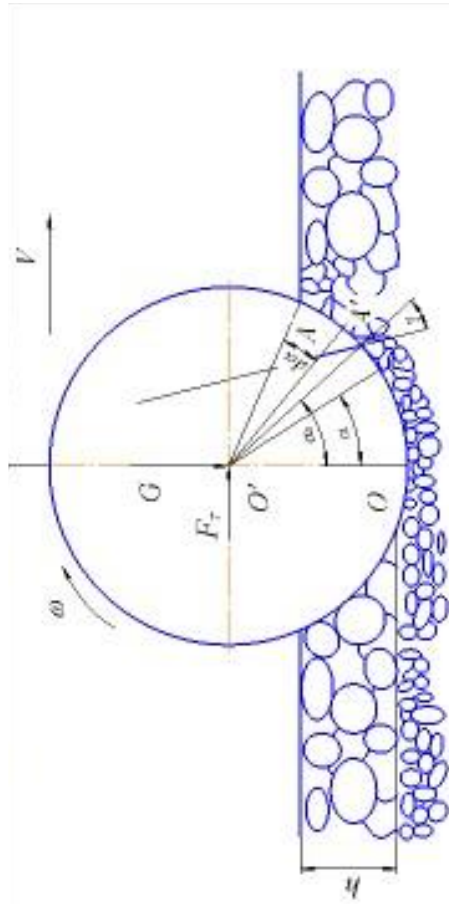


Рис. 2. Схема взаємодії опорного диска з деформованим шаром ґрунту:

G - сила тяжіння, яка прикладає на один опорний диск, H, F_r - сила тяги на гаку, H, v - швидкість руху борони, m/s ; α_0 - кут контакту опорного диска з ґрунтом, h - ущільнення ґрунту під впливом опорного колеса, m ,

γ - кут між дотичною до траєкторії AA' точки A в точці A' і радіусом.

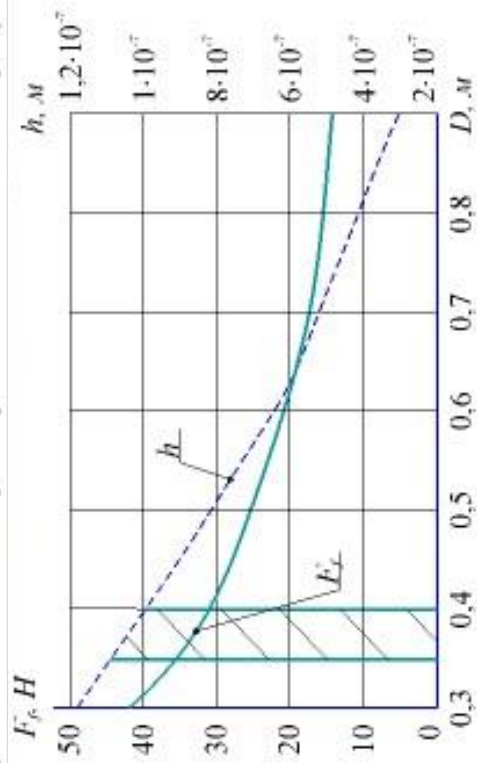


Рис. 3. Вплив діаметра опорного диска на опір коченню і ущільнення ґрунту:

$G = 30$ кг, $b = 0,005$ м, $d = 0,008$ м, $k = 1,5 \cdot 10^6$ Н/м².

Теоретичні дослідження процесу роботи ротаційної борони

Методика експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень є оцінка на адекватність і відповідність, отриманих в теоретичних дослідженнях залежностей, а також визначення коефіцієнтів для забезпечення відповідності аналітичних залежностей реальним умовам роботи ротатійної борони.

Програмою досліджень передбачалось:

- визначити характер нерівностей ґрунту під опорними дисками борони;
- виявити закономірність впливу властивостей ґрунту, параметрів і режимів роботи ротатійної борони на тяговий опір і площу обробітку ґрунту одним зубом;
- визначити експлуатаційно-технологічні параметри розробленої ротатійної борони в порівнянні із серійною бороною.

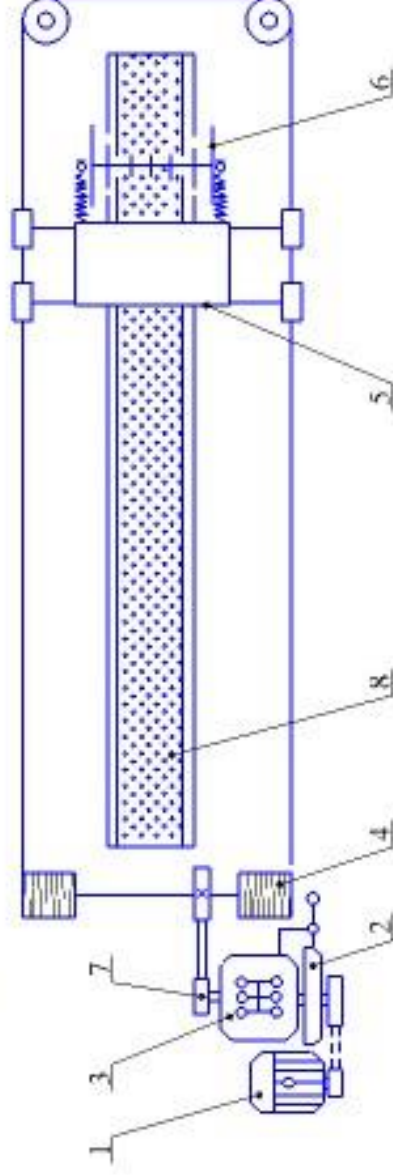


Рис. 1. Схема ґрунтового каналу:

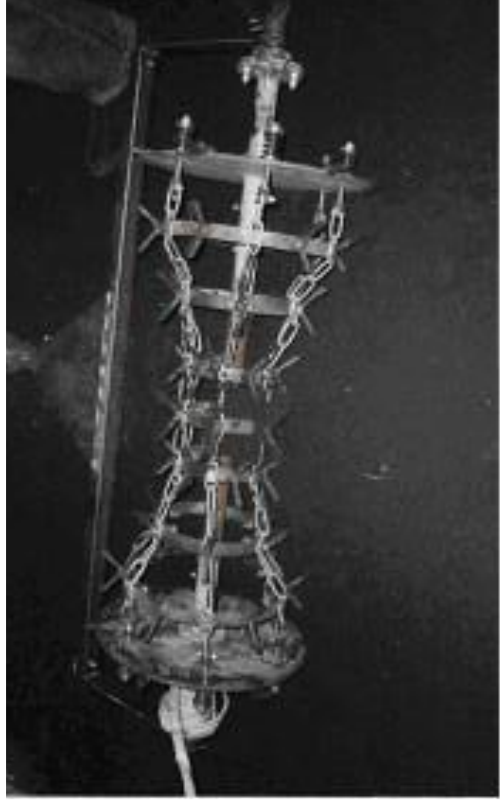
- 1 - електродвигун; 2 - муфта зчеплення; 3 - коробка передач;
4 - приводний барабан; 5 - візок; 6 - досліджувана
ротатійна борона; 7 - змінний шків; 8 - грядка.



Грунтовий канал.



Ротаційна борона з прямим зубом.



Ротаційна борона з V-подібним зубом.

Експериментальні зразки



Ротаційна борона в роботі

Методика експериментальних досліджень

Перед проведенням дослідів визначено такі агротехнічні показники:

1. Вологість ґрунту:

$$W = \frac{a}{b} \cdot 100, \quad (1)$$

де a - маса випарованої води, г,

b - маса абсолютно сухого ґрунту, г.

2. Твердість ґрунту визначали ґрунтовим твердоміром на глибину до 15 см в місцях визначення вологості і визначали за формулою:

$$P = \frac{A \cdot 100}{(100 + a) \cdot V}, \quad (2)$$

де A - маса зразка вологого ґрунту, г,

V - об'єм ґрунту в мірному циліндрі, см³.

3. Швидкість руху агрегату:

$$V = \frac{S}{t}, \quad (3)$$

де t - час проходження ділянки, вимірювали за допомогою секундоміра.

4. Масова частка подрібненого ґрунту у відсотках:

$$П_6 = \frac{m_6 \cdot 10^2}{m}, \quad (4)$$

де m_6 - маса i -ої фракції в пробі, кг,

m - загальна маса проби, кг.

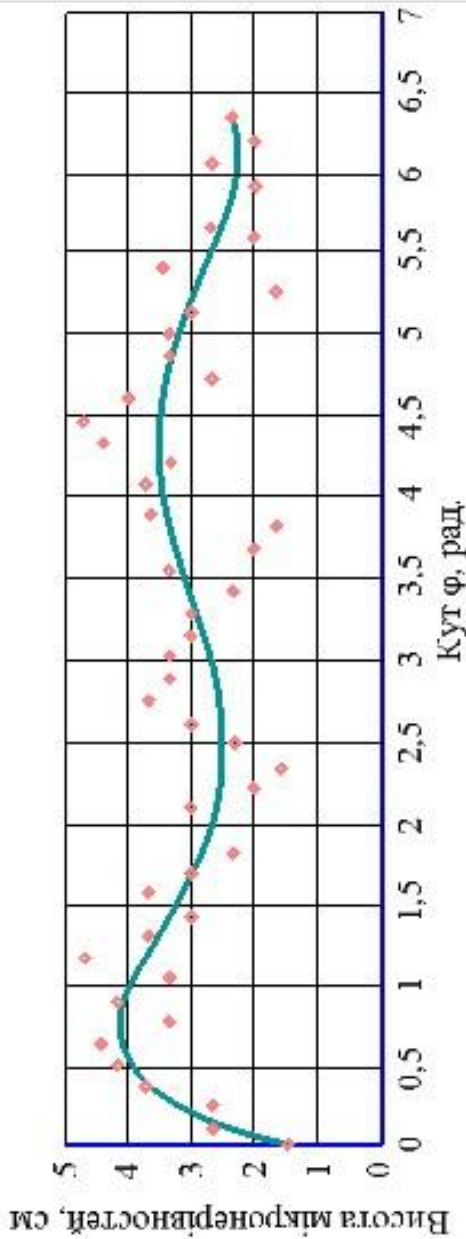
5. Середній відсоток підрізання бур'янів в обробленій зоні:

$$П_i = \frac{K_1 \cdot K_2}{K_1} \cdot 10^2, \quad (5)$$

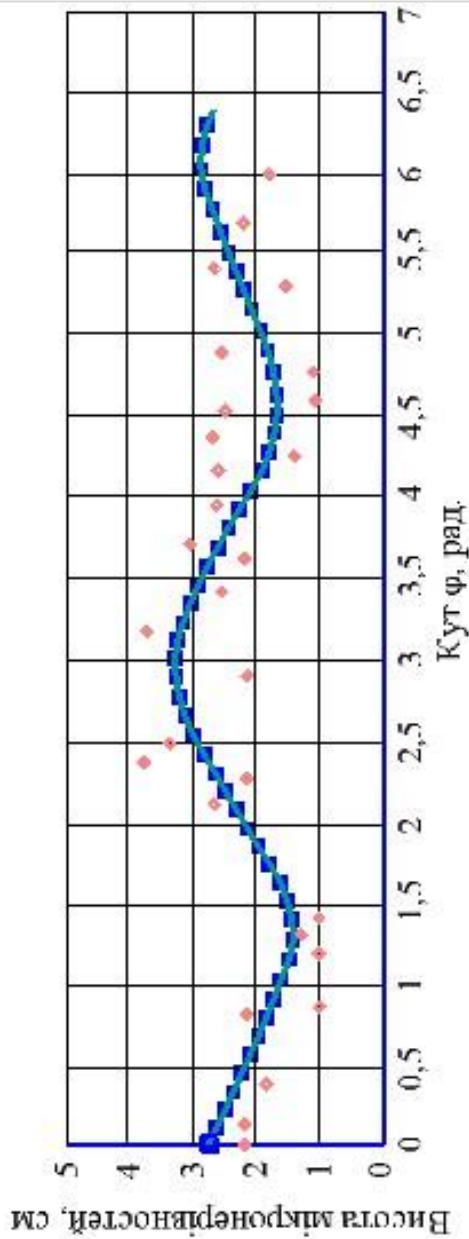
де K_1 - кількість бур'янів в межах дослідної ділянки до проходження, шт.;

K_2 - кількість бур'янів, які не знищені в межах дослідної ділянки гради після проходження борони, шт.

Результати експериментальних досліджень



а)



б)

Рис. 1. Розкладання в ряд Фур'є мікронерівностей:
а) - правого ряду;
б) - лівого ряду;
- експериментальні точки;
--- розкладання Фур'є правого ряду;
-■- розкладання Фур'є лівого ряду.

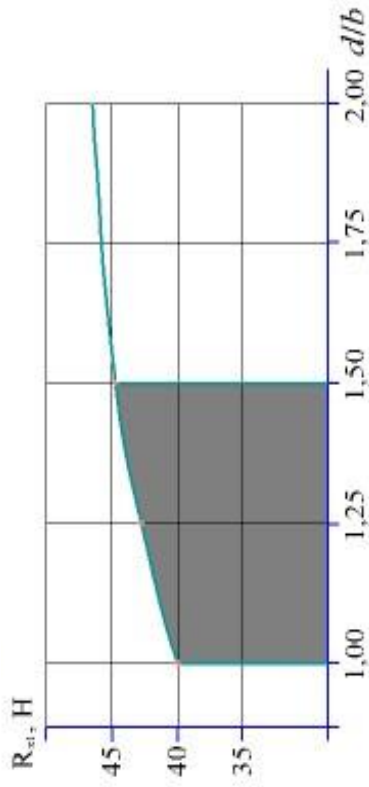


Рис. 1. Вплив на силу опору відношення d/b :
 $d = 0,008м$; $b = 0,005 м$; $V/V_0 = 1,09$; $G = 160Н$;
 $D = 0,4м$; $\kappa = 8,5 \cdot 10^5 Н/м^3$.

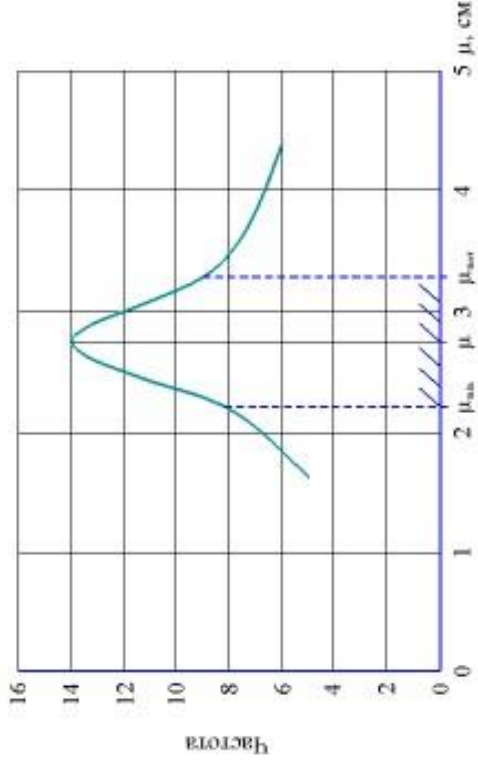
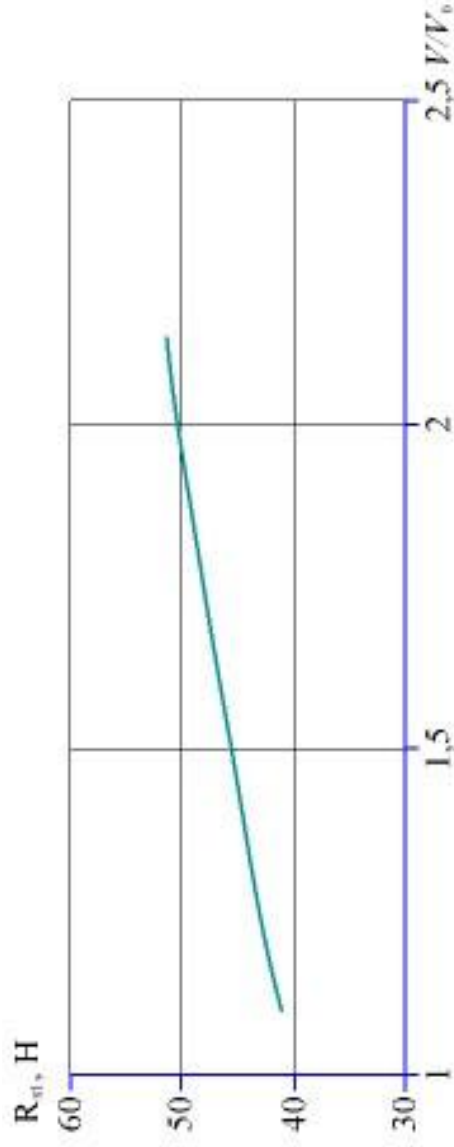


Рис. 2. Розподіл висот мікронерівностей.



**Рис. 2. Вплив відносної швидкості руху
 ротаційної борони на опір ґрунту опорним диском:**
 $d = 0,008 м$; $b = 0,005 м$; $G = 160 Н$; $D = 0,4м$; $\kappa = 8,5 \cdot 10^5 Н/м^3$.

Результати
 експериментальних
 досліджень

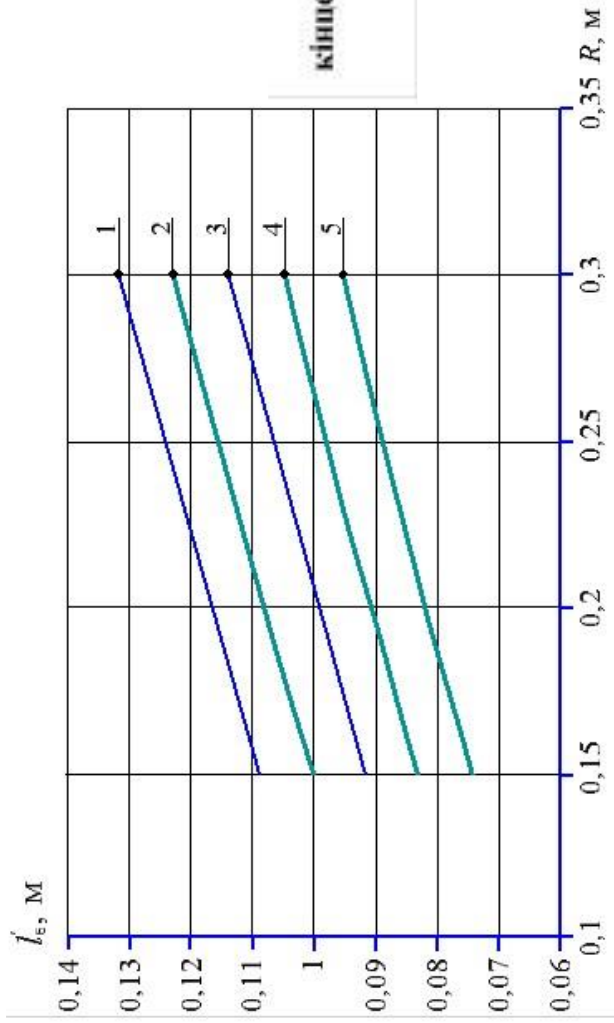


Рис. 3. Залежність l_s від умовного радіуса кінцевої точки зуба і глибини розпушування ґрунту:
 1 - $h = 0,05$ м; 2 - $h = 0,045$ м; 3 - $h = 0,04$ м;
 4 - $h = 0,035$ м; 5 - $h = 0,03$ м.

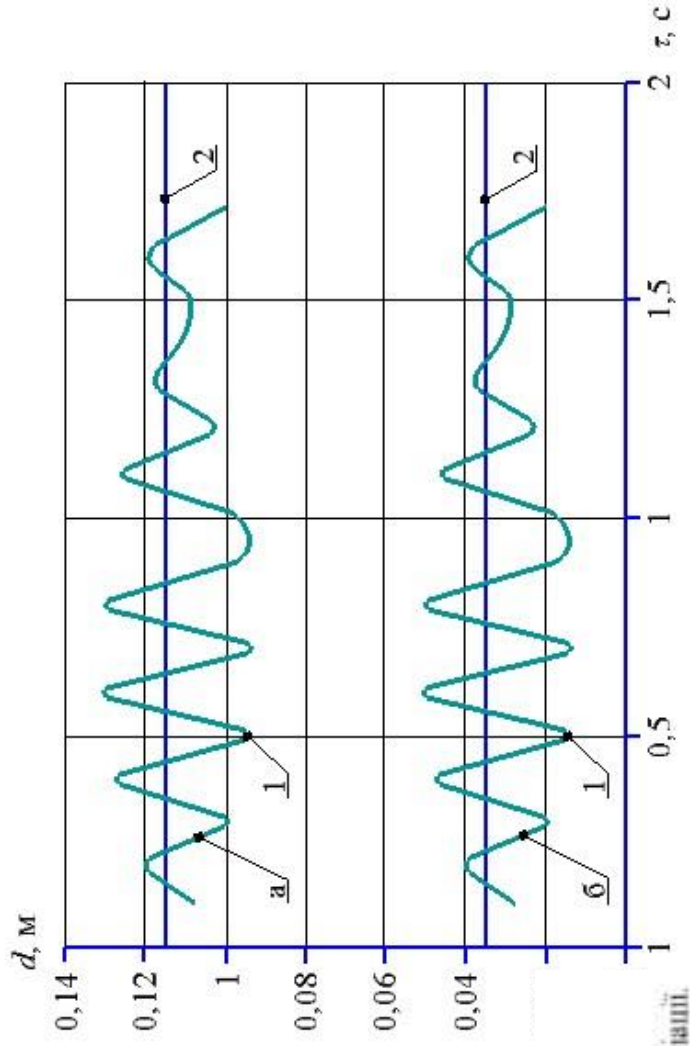


Рис. 4. Залежність ширини прорізуваної борозенки від часу:

а - для V-подібного зуба; б - для прямого;
 1 - крива варіації ширини; 2 - середнє значення варіації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що через жорстке кріплення робочих органів ротаційної борони до опорних дисків поверхня гряди обробляється недостатньо якісно. З метою усунення цього недоліку розроблена ротаційна борона з кріпленням робочих органів до опорних дисків за допомогою пружин, які дозволяють копіювати профіль гряди і тим самим підвищити якість поверхневого обробітку.
2. Отримано моделі, що дозволяють визначити тяговий опір борони, площу оброблюваної поверхні в залежності від нерівностей гряди, форми зуба, швидкості руху, питомої маси, що припадає на один зуб. Встановлено, що додаткові коливання зуба, що створюються пружинами в процесі роботи, збільшують площу розпушування одним зубом до 30%, що дозволяє зменшити кількість зубів, знизити питому масу і тяговий опір борони.
3. Обґрунтовано основні конструктивні параметри робочих органів ротаційної борони: діаметр опорних дисків $D = 0,35$ м; кількість проміжних кілець $z = 7$ шт.; діаметри проміжних кілець: три центральних – 0,150 м, по два бічних – 0,165 і 0,176 м; кількість зубів на центральному кільці – 6 шт., на бічних кільцях – 7 зубів; модуль пружності циліндричної пружини 14 кН/м; раціональна сила натягу ланцюга знаходиться в межах 100-120 Н; зуб V -подібної форми з кутом розвороту $\alpha = 90$ град., висотою зуба $h = 0,04$ м, $d = 0,008$ м; амплітуда коливань зуба в поперечному напрямку до $d_1 = 0,02$ м.

4. Визначено, що при поступальній швидкості агрегату $V = 2,6-2,8$ м/с, частоті обертання борони $\omega_6 = 14,9-16,0$ с⁻¹, при вологості ґрунту 16-22% питомий тяговий опір борони склав 200-210 Н/м.

5. Результати виробничої перевірки показали, що площа розпушування розробленої борони склала 100% проти 80% у серійної, знищення бур'янів 96% проти 80%, підвищення врожайності на 4-6%.

6. При розрахунку розділу з охорони праці, для оснащення механічного цеху, який за вибухопожежною та пожежною безпекою належить до категорії Д, клас можливої пожежі (Е), вибрано до установки 11 порошкових вогнегасників типу ВП-12.

Якщо на відстані 800 м від цеху стався б вибухпропану, то це призвело до руйнувань будівлі, елементів цеху, постраждали люди. В першу чергу треба сповістити про НС.

7. Техніко -економічними розрахунками встановлено, що річний економічний ефект становитиме 21274,92 грн., а затрати на удосконалення культиватора КРН-5,6, шляхом обладнання його ротажійною бороною окупляться протягом 1 сезону експлуатації, що дозволяє судити про доцільність впровадження даного рішення .