

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко-технологічний факультет

ПОГОДЖЕНО

Декан механіко-технологічного
факультету

_____ Братішко В.В.
«___» _____ 2025р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
сільськогосподарських машин та
системотехніки

ім. акад. П.М. Василенка
Гуменюк Ю.О. «___» _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

***на тему: «ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ
ВИСОКОСТЕБЕЛЬНИХ ЯГІДНИКІВ ФРЕЗЕРНИМИ
МАШИНАМИ»***

Спеціальність: 208 Агроінженерія

Освітня програма: Агроінженерія

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Гарант освітньої програми:

Доктор техн. наук, професор _____ В.В. Братішко

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент _____ Мартишко В.М.

Виконав _____ Долінський Я.О.

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
сільськогосподарських машин та
системотехніки
ім. акад. П. М. Василенка,
к.т.н., доцент _____ Гуменюк Ю.О.
«___» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧУ

Долінському Ярославу Олеговичу

Спеціальність: 208 Агроінженерія

Освітня програма: Агроінженерія

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Тема магістерської роботи: **"Обґрунтування процесу обробітку ґрунту високостебельних ягідників фрезерними машинами"**

Затверджена наказом ректора НУБіП України від 11 листопада 2024 року № 2038 «С».

Термін подання завершеної роботи на кафедру – 15.11.2025 року.

Вихідні дані до магістерської роботи:

- Способи догляду за ґрунтом в кущових чгідниках ґрунту
- Агротехнічні вимоги до процесу обробітку ґрунту в ягідниках
- Конструкції машин і робочих органів

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Обґрунтування теми магістерської роботи.

2. Механіко-технологічні передумови удосконалення культиватора для ягідників
3. Теоретичні обґрунтування технологічних та конструктивних параметрів універсального ґрунтообробного агрегату із змінними робочими органами
4. Експериментальні дослідження процесу обробітку ґрунту універсальним культиватором
5. Аналіз економічної ефективності

Дата видачі завдання “10” грудня 2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ Мартишко В.М.

Завдання прийняв до виконання _____ Долінський Я.О.

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему: **“Обґрунтування процесу обробітку ґрунту високостебельних ягідників фрезерними машинами”**

Пояснювальна записка виконана на 78 сторінках машинописного тексту формату А4, що містить 68 формул, 6 таблиць, 18 рисунок.

Магістерська робота присвячена обґрунтуванню схеми і конструктивних параметрів фрези з вертикальною віссю обертання для догляду за ґрунтом в міжряддях кущових ягідників.

У першому розділі пояснювальної записки наведено народногосподарське значення вирощування ягід кущових культур проведений аналіз технологій і технічних засобів для догляду за рослинами, обґрунтування тема магістерської роботи.

У другому розділі представлені механіко-технологічні передумови ди розробки фрези з вертикальною віссю обертання для догляду за ґрунтом в міжряддях кущових ягідників.

У третьому розділі представлені теоретичні дослідження фрези для обробітку прикущових зон ягідників.

У четвертому розділі наведена програма, методика та результати експериментальних досліджень роботи ґрунтообробної фрези для кущових ягідників.

У п'ятому розділі розраховано економічну ефективність розробки.

Ключові слова: ДОГЛЯД ЗА КУЩОВИМИ ЯГІДНИКАМИ, СХЕМИ ВИРОЩУВАННІ, ГРУНТООБРОБНІ МАШИНИ, ФРЕЗИ, РОТОР, ПАРАМЕТРИ, ОБРОБКА ГРУНТУ, ПРИКУЩОВІ СМУГИ, ДОГЛЯД ЗА ГРУНТОМ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ	7
1.1. Народногосподарське значення виробництва ягід плодкових культур.....	7
1.2. Аналіз існуючих досліджень і технічних засобів для обробітку грунту в садах і ягідниках.....	16
1.3. Обґрунтування доцільності удосконалення розробки	23
2. МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДО РОЗРОБКИ ФРЕЗИ	
2.1. Фізико-механічні властивості ґрунту, як об'єкту обробітку.....	28
2.2. Агротехнічні та експлуатаційні вимоги до ґрунтообробних знарядь.....	32
3. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФРЕЗИ ДЛЯ ОБРОБІТКУ ГРУНТУ В ПРИКУЩОВИХ СМУГ ЯГІДНИКІВ.....	33
3.1. Обґрунтування технологічної схеми фрези.....	33
3.2. Обґрунтування параметрів ротора фрези.....	36
3.3. Дослідження кінематичних параметрів фрези.....	39
3.4. Розрахунок основних параметрів і режимів роботи.....	44
4. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	49
4.1. Програма досліджень.....	49
4.2. Методи експериментальних досліджень.....	49
4.3. Результати досліджень енергетичних показників роботи фрези.....	52
4.4. Результати досліджень якісних показників роботи фрези.....	56
5. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ФРЕЗИ.....	66
ВИСНОВКИ.....	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74

ВСТУП

Головним завданням під час обробітку ґрунту в прикущовій зоні кущових ягідників є копіювання кореневої системи рослини, не пошкоджуючи її.

Нині для обробітку ґрунту в міжряддях на ягідних плантаціях і в садах застосовують садові дискові плуги, дискові борони, культиватори та ротаційні ґрунтообробні машини. Умови експлуатації на ягідниках і в садових насадженнях істотно відрізняються від умов роботи в полі.

Мета роботи – підвищення ефективності застосування фрезерних машин шляхом обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів фрези із вертикальною віссю обертання для догляду за ґрунтом в міжряддях кущових ягідників.

Завдання дослідження:

- розглянути конструкцію робочих органів і машин, що застосовуються для обробітку ґрунту в ягідниках;
- обґрунтувати та розробити конструкцію власної машини;

Об'єкт дослідження – технологічний процес обробітку в кущових ягідниках

Предмети дослідження – закономірності впливу конструктивних параметрів і режимів роботи фрези з вертикальною віссю обертання на якість обробітку ґрунту

Методи досліджень: Для вирішення поставлених використано загальнонаукові та спеціальні методи, серед яких: аналітичний – для і обробки інформації щодо фрезерних агрегатів обробітку ґрунту; аналізу й синтезу; статистичні та якісно-енергетичні показниками для формування висновків проведених досліджень

Під час обробітку ґрунту в міжряддях високостеблених культур (малина, смородина, агрус, виноградники та ін.) плуг або фреза повинні якомога ближче підходити до стовбурів дерев чи кущів, не ушкоджуючи кореневої системи, стовбурів і гілок рослин.

Практика показує, що в садових насадженнях і ягідних плантаціях краще застосовувати ґрунтообробні фрези з вертикальною або похилою віссю обертання. Фрези з вертикальною віссю обертання можуть спрямовано впливати на фракційний склад ґрунту [4], легше задавати або змінювати режим роботи (подавання, робоча швидкість руху, частота обертання роторів і напрямок обертання), задавати глибину обробітку ґрунту, не ушкоджуючи кореневу систему, ретельно її копіюючи [5].

Фрези з вертикальною віссю обертання можна застосовувати як асиметричне знаряддя, що спрощує їхнє агрегування, а отже, призводить до підвищення якості обробітку ґрунту.

В міжряддях найкраще використовувати фрези, які містять активні та пасивні робочі органи. Енергоємність такої ґрунтообробної машини [6] є меншою порівняно з фрезою, яка має лише самі активні органи.

Для розпушування ґрунту і підрізання бур'янів у прикущових зонах ягідників і пристовбурних смугах молодих садів краще використовувати фрези з вертикальною або похилою віссю обертання.

ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1. Народно-господарське значення виробництва ягід плододових культур

Для фермерів дуже важливо переходити на форми альтернативного господарювання: вирощування нішових культур і насамперед у сегменті ягідництва. Одним із успішних прикладів прибутковості ягідного бізнесу є створення невеликого ягідного кластера на так званих "лайтових засідках". Учасники кластера не тільки вирощують ягоди, а й створюють додану вартість завдяки переробці як власних, так і вирощених іншими фермерами ягід шляхом заморожування, сушіння, чавлення ягід на сік, пюре тощо. Цікавим є досвід групи компаній "Українські свіжі та заморожені продукти", що закупають ягоди та плоди кісточкових плододових культур з різних регіонів України, потім їх фасують, заморожують та експортують до країн Західної Європи.



Ще десять років тому виробництво ягід в Україні було зосереджено переважно у секторі присадибних господарств та у дачників. Нині ж це ціла велика індустрія з досить складним власним виробництвом та переробкою, експортом та логістикою. Дедалі більше споживачів харчової продукції у світі віддають перевагу так званим екологічно чистим продуктам, вирощування яких не наносить шкоди навколишній природній середовищі. Цей тренд захопив і

українського споживача, що забезпечує ягідництву привабливі перспективи розвитку.

Загальна площа ягідників в Україні становить 20 000 га, з яких земляниця – 45%; на смородину чорну разом із порічкою червоною припадає 24%; на малину - 23%; агрус-лише 2%.

Ефективним інструментом збільшення прибутковості ягідного бізнесу, збільшення продажів є організація ягідних фестивалів, міжнародних конференцій та інші дієві засоби збільшення прибутковості ягідництва:

- поєднання ягідництва із садівництвом та овочівництвом;
- урізноманітнення ягідництва (смородину поєднують з малиною, ожиною);
- організація переробки, охолодження, заморожування, сортування та упакування плодово-ягідної продукції;
- забезпечення належної якості та натуральності продукції: виробництво соків прямого віджиму (сунічний), виробництво плодово-овочевих соків тощо, джемів;
- соки мають не містити води, цукру, барвників, консервантів, ароматизаторів.
- застосування нових технологій живлення рослин і післязбиральної переробки врожаю;
- розширення виробництва закритого ґрунту;
- кооперація виробників з довірою членів кооперативу один до одного;
- вирощування ягід за органічними стандартами;
- збільшення обсягів вирощування нішевих ягідних культур.

Однією з найбільших проблем є брак робочої сили на ягідних плантаціях. Експерти вважають, що ця проблема надалі буде поглиблюватись. Причина — у кілька разів менша плата за збирання ягід, ніж, скажімо, у Польщі. Експерти також прогнозують, що зміни клімату в бік зростання його посушливості стримуватимуть розширення ягідників і сприятимуть зростанню частки

виробництва ягід у закритому ґрунті. Скорочуватимуться обсяги збирання та експорту журавлини, зростатиме виробництво органічних ягід.

Очевидно, новачкам слід спочатку опанувати класичні технології вирощування. Важливим є отримання державної підтримки — насамперед у вигляді компенсації вартості придбаного садивного матеріалу.

Також потрібно шукати нові ніші, пропонувати споживачеві інші ягідні культури. Скажімо, здійснюється окультурення журавлини, брусниці, інших ягідних культур-дикоросів. Для покращення збуту продукції потрібно забезпечувати не тільки належну її якість, а й гарну упаковку. Вирощування ягід і, перш за все голубини — це гарна бізнесова ніша для невеликих сімейних ферм.

Нині лідером ягідного світу вважається лохина, її виробляють майже 1,8 млн. т на рік, і, до речі, вона не викликає харчової алергії. Ягодою завтрашнього дня називають лимонник китайський за його цілющі властивості. Його, як і обліпиху, ягоди годжі та ін. фахівці відносять до адаптогенних рослин, що стимулюють імунітет.

З поживання ягід швидко зростає — наприклад, у країнах ЄС на 8% щороку Обсяг світового виробництва ягід оцінюють на рівні 14 млн т на рік, що не повною мірою задовольняє зростаючий піт Тому для українських фермерів є великий потенціал для експорту ягід. Такі країни як Франція, Польща, Чеська Республіка та Нідерланди виявляють велику зацікавленість до імпорту ягідної продукції з України.

Експорту ягід до країн Європи сприяють такі фактори:

- органічна сертифікація;
- сертифікація за стандартами Global Gap та EuroGap;
- заморожування ягід, для чого використовується стаціонарна холодильна установка потужністю 20 тонн ягід на добу;
- використання якісного садивного матеріалу

Також варто взяти до уваги, що зараз у світі споживання соків зменшується, натомість віддається перевага фруктовим та ягідним фрешам.

Крім того, збільшуються обсяги онлайн-торгівлі ягодами. Так, скажімо, фірма "Озеряна" (Житомирська область) продає ягоди голубини через соцмережі. Для цього використовують Instagram та Facebook. Це дає змогу виробнику бути ближчим до споживача. Один кілограм смачної ягоди разом із доставкою влітку 2023 року коштував 199 грн. Окупність вкладення коштів у вирощування ягід голубини не дуже швидка, в тому числі через те, що плодоношення настає через 3–4 роки після закладання плантації. Потрібно багато знань та умінь. При правильному менеджменті прибутковість і маржа дуже високі, але низька купівельна спроможність населення стимулює її експорт. Нині понад 85% української голубини продається в інших країнах.

Відкриттю європейських ринків, передусім, сприяє тарифна лібералізація. Завдяки цьому фермерське господарство з Чернігівщини «Ніжин Агроінвест» налагодило постачання заморожених ягід належної якості до країн ЄС, де на цю продукцію стабільно високий. Було створено кооператив «Дари Чернігівщини», що офіційно об'єднав 12 фермерів із Чернігівської та Сумської областей. Сучасний цех шокової заморозки та відсутність мит та тарифних квот дає змогу кооперативу пропонувати свою продукцію європейським покупцям за привабливими цінами.

На світовому ринку ягід на Україну припадає 0,9%. На експорт йде трохи більше 16% всього виробництва ягід в Україні. Експорт свіжих ягід становить у середньому 4,1 тис.т на рік, заморожених - 45,4 тис.т. Ринковий сегмент переробки ягід в Україні поки що нерозвинений, хоча нею вже займаються майже 200 компаній. Серед засобів переробки найбільший обсяг припадає на сокове виробництво (39%), заморожування та сушіння (23%), а також виробництво ягідних джемів (16%). Для розвитку ягідної переробки потрібна державна підтримка будівництва сховищ. Разом з тим, на ринку вже з'явилося чимало компаній, які надають агровиробникам послуги із заморожування та зберігання врожаю ягід.

Експерти ФАО відзначають недостатні зусилля з диверсифікації експорту ягід. Акцент на експорт у країни ЄС є добрим рішенням, бо ЄС знаходиться

поруч із нами. Однак потрібно розуміти, що існують ринки, де в наш сезон виробництва можна отримати більш високу ціну на голубину, і до таких ринків належать Близький Схід та Південно-Східна Азія».



Виробництво малини. Органічний сектор малинового бізнесу набрав чинності та продовжує зростання. Там застосовують складнішу технологію, проте цей ринок є стабільним, без цінових колінь.

Для збільшення прибутковості вирощування малини фахівці рекомендують наступні заходи:

- поєднання ранніх, середніх, середніх та ремонтантних сортів;
- поєднання сортів червоної та жовтої малини;
- дотримання всіх технологічних елементів вирощування, формування та догляду за насадженнями;
- закладання плантацій з використанням саджанців на безвірусній основі;
- врахування напряму можливого використання ягід, тобто потреби ринку: в якому вигляді будуть використовуватися ягоди — для свіжого споживання та/або для заморожування; в іншому випадку слід урахувати придатність сорту для заморожування;
- врахування придатності ягід даного сорту для механізованого збирання.

Виробництво смородини та порічок. Насадження чорної смородини займають в Україні близько 5 тис. га, середньорічний збір становить 27 тис. т, а середня врожайність – 5,9 т/га. Цей ринок нині переживає важкий годинник. Комбайнове збирання ягоди забезпечує низьку її собівартість. Внаслідок цього майже третина врожаю смородини залишилася у полі. Цього року загальні

площі під смородиною будуть скорочуватися. Вручну збирати її не будуть через високу ціну праці.

Поряд із тим, смородина має такі переваги, як недорогий садивний матеріал і легкість розмноження. Тож



доведеться подождати нового зростання цін на неї. Недарма поляки кажуть: коли ціни «впали на дно» — час садити нову смородину.

Проте 15-річний досвід ПП «Агроспецгосп» з Тернопільської області вказує на те, що механізація збирання врожаю забезпечує якісну продукцію за умови вирощування відповідних сортів смородини та застосування відповідно відрегульованої техніки. Виробничі витрати зменшуються, збільшується прибутковість цього бізнесу. Тут прибутковість бізнесу зростає і через те, що здійснюють переробку ягід, яка збільшує додану вартість, реалізують саджанці сортів смородини, придатних для механізованого збирання врожаю з різними термінами дозрівання.

Червона порічка займає не більше 5% в загальному обсязі виробництва смородини в Україні. Її вирощують на площі 500 га, з яких комерційні насадження становлять 200 га. Ягода демонструє врожайність до 10 т/га. Виробники вирощують порічку переважно для розширення свого ягідного асортименту. Останнім часом стають популярні насадження її не кущем, а кордоном — для продажу ягід гронами. Торік із середини літа ринкові ціни на порічку впали майже до рівня рентабельності.

Деякі фермери-ягідники роблять перші кроки, щоб на українському споживчому ринку з'явилися ягоди такої маловідомої у широких колах культури, як жимолість. Згідно з неофіційними даними, зараз її вирощує лише компанія «Агрос-Віста» (Хмельницька обл.) на площі 50 га. Ринок фактично ще не сформований, як і експорт. Проте є експерти, які вважають її

найперспективнішою з усіх ягідних культур і прогнозують вибухоподібне зростання обсягів виробництва.

Ожину вирощують в Україні на площі 200 га. Середня врожайність сягає 20 т/га. Ця ягода продається за ціною, вдвічі вищою за малину, тому є досить привабливою для прибуткового ведення ягідного бізнесу, незважаючи на досить великі витрати, необхідні для закладання плантації. Найбільші витрати пов'язані з ручним збиранням ягід ожини. При вирощуванні сучасних сортів ожини можна досягти врожайності ягід на рівні 20 т/га, що забезпечує достатній рівень рентабельності та прибутковості. Одним із напрямків для збільшення прибутковості ожинового бізнесу є перехід на технологію її вирощування за органічними стандартами. Ціна на органічні ягоди є більшою на 50–70 %, а витрати майже не змінюються, оскільки рослини ожини майже не пошкоджуються шкідниками та хворобами. Ягоди ожини добре транспортуються.



Агрис, незважаючи на свою популярність в Україні, Польщі та інших скандинавських країнах, так і не став масовою комерційною культурою ні в нас, ні в Європі. Ця ягода має обмежений ринок збуту, її чомусь не люблять супермаркети.



Журавлина зростає в Україні в дикорослому вигляді, через це розширення її культурних насаджень поки що не прогнозується. Натомість цікавою ягідною культурою як для внутрішнього



споживання, так і експорту може бути обліпиха.

Вибір і організація ділянок під насадження. Під насадження смородини, порічок, агрусу та малини в умовах Степу, Лісостепу та Полісся відводять рівні площі або некруті схили до 5° , а в гірських та передгірних районах Карпат – також схили крутістю до $10 - 12^{\circ}$.

На Поліссі, північному Лісостепу і західних областях республіки смородину, агрус, порічки та малину вирощують на опідзолених та чорноземних ґрунтах з легким механічним складом, а також на дерново-підзолистих, супіщаних і помірно вологих, у південному Лісостепу і Степу – у долинах, на прирічкових терасах тощо (кращими з них в цих районах є чорнозем та легко суглинисті ґрунти).

Непридатні під кущові ягідники заболочені, вапнякові, солончакові та сухі піщані ґрунтиб

Агрус більш вибагливий до ґрунту, тому для нього відводять площі з родючим ґрунтом. Надмірно вологі ґрунти не придатні, бо на них погані і ягоди які значно пошкоджуються грибними хворобами..

Площу під кущові ягідники обсаджують садозахисною смугою, розбивають на квартали та висаджують по межах кварталів вітроломні смуги. Площа кварталів становить $1 - 1,5$ га, ширина міжквартальних доріг становить $3 - 4$ м, центральної дороги $5 - 6$ м.

Вирощування ягідникових насаджень на одній площі дає можливість краще організувати їх огляд.

Пересадивна підготовка ґрунту. Під ягідники проводять передпосадкові роботи з підготовки ґрунту з метою підвищення родючості ґрунту, покращення поживного і водно-повітряного режиму. Це сприяє створенню сприятливих умов для росту насаджень.

Поверхня ділянок, що відводяться під закладання ягідників, попередньо готують і вирівнюють, щоб потім можна було успішно проводити всі роботи механізованим способом.

Схеми вирощування кущових ягідників. Вирощують ягоди рядками, розміщеними на відстані 2,5...3 м один від другого, а при наявності малогабаритної техніки – 2 м. Для посадки рослин у рядку однокорпусним плугом робиться борозна на глибину 15...18 див. Посадка проводиться однорічними, одностебленими, сильнорослими саджанцями висотою від 60 до 100 см і більше. Рослини висаджують похило під кутом 30...35° в ямки із заглибленням на 3...4 см нижче їх умовної кореневої шийки. Відстань між рослинами в ряду дорівнює висоті висаджуваного саджанця.



При стрічковому вирощуванні малини ширину смуги ряду залишають до 40 см. Широка смуга загущує стрічку малини, призводить до погіршення світлового режиму для стебел, що сприяє зниженню врожаю. Нормування пагонів у смугі проводиться під час міжрядного обробітку і ручного вирізання слабких, хворих поламаних стебел. Одночасно після збирання врожаю видаляють стебла, що відплодоносили. Остаточну кількість пагонів для плодоношення навесні. Оптимальним навантаженням вважається 15...20 стебел на 1 м ряду. Крім основної обрізки роблять укорочення однорічних стебел навесні до добре розвинених бруньок (15...20 см). Для збереження надземної частини малини від низьких зимових температур пагони пригинають до землі і підв'язують пучки до основи сусідніх кущів. Висота дуг пагонів, що утворюються, не повинна бути вищою за 25...30 см.

Садіння кущових культур. Перед садінням за середньої забезпеченості ґрунтів вносять органічні добрива 150 т/га, фосфорні - 200 і калійні ... 300 кг. Посадку саджанців роблять восени або рано навесні. Схема посадки 2,5...3×0,3...0,5 м. При посадці застосовують машини СШНЗ, СЛН1. Малина

не переносить глибокої посадки, тому заглиблення саджанців роблять таке саме, яке було, коли вони росли в розпліднику. Після посадки проводять мульчування торфом 15...20 т/га. Протягом двох років після посадки на плантації проводять усі необхідні агрозаходи, що сприяють підготовці рослин до повного плодоношення.

1.2. Аналіз існуючих досліджень і технічних засобів для обробітку ґрунту в садах і ягідниках

На протязі останніх десятиліть в Україні формувалася система машин, призначених для роботи у великих громадських господарствах, що мають великі масиви садів, виноградників і ягідників. Наявність такої вихідної передумови зумовлювала специфічний характер наукової і конструкторської концепції засобів механізації садівництва та ягідництва.

В Україні, тенденція до великого товарного ягідництва і поява дрібних виробників цієї продукції істотно ускладнила роботу конструкторів, оскільки вимагала нового підходу до економічного обґрунтування технічних рішень. Це зумовлено, зокрема, тим, що, як правило, такий ягідник володіє всього одним трактором невеликої потужності класу тяги не більше 6 кН.

Зазначена проблема повною мірою може бути віднесена до спеціалізованих ґрунтообробних машин. Специфічною особливістю цієї групи машин є необхідність їх адаптації до роботи в умовах плантацій багаторічних рослин (у садах, ягідниках і виноградниках). Рослини на таких плантаціях висаджують рядами, відстані між якими варіюється (залежно від культури) в межах від 1,8 до 6 метрів. В умовах Лісостепу найбільш перспективними багаторічними насадженнями прийнято вважати ягідники [2]. Якщо при цьому звузити завдання до обробітку ґрунту тільки на плантаціях ягідних чагарників (смородини, малини, лохини), то конструкцію необхідно адаптувати до міжряддя шириною 2,5 - 3 м.

Що стосується суниці садової та плодкових розплідників, то ці насадження мають надто великі відмінності від ягідних чагарників і винограду. Насамперед,

це стосується ширини міжрядь. Як правило, рослини в розплідниках і на плантаціях суниці висаджують із шириною міжрядь близько 0,9 м. При цьому, термін перебування рослин на одному місці обмежений двома-трьома роками.

З низки причин агробіологічного характеру під час розроблення ґрунтообробної техніки для міжрядь кущових ягідників перевагу було віддано фрезі з вертикальною віссю обертання ротора. В деякій частині це зумовлено необхідністю вирівнювання поперечного профілю поверхні міжряддя і підтримання його в цьому стані практично протягом усього терміну експлуатації плантації. Поєднання різноспрямованих процесів поперечного переміщення ґрунту дисковими знаряддями і вертикальним ротором фрези дає, в цьому сенсі, хороший агротехнічний ефект [5 - 8].

Актуальність проблеми зумовлена тим, що в наслідок малопотужності ґрунтового шару в більшості районів вирощування ягід. Коріння, наприклад, смородини розташовуються, в основному, в орному горизонті, тобто, на глибині 0,2...0,22 м, причому до 30 % усього коріння лежить у нульовому горизонті [9]. Тому витіснення ґрунту з центру міжряддя до основ кущів дисковими знаряддями, що традиційно застосовувалися для міжрядного обробітку ягідних насаджень, призводить до оголення коренів, і навіть до їх знищення влітку і підмерзання взимку.

Зважаючи на такий характер розподілу коренів кущових ягідників, М. Худзинський, і В. Жуля запропонували перейти до диференціації ширини захисної зони, у міру зростання плантації. За трирічного віку рослин слід проводити обробку не ближче ніж за 0,4...0,45 м від основи куща, 0,6...0,65 м - за п'ятирічного віку і 0,95...1,0 м – на дев'ятирічній плантації, на глибину 0,08...0,1 м, поступово збільшуючи її до 0,2...0,22 м до середини міжряддя [12].

За традиційного використання для обробітку ґрунту в міжряддях ягідних чагарників не модернізованої відповідним чином дискової борони відбувається виникнення і зростання суцільних ґрунтових валів з боків міжряддя, що не тільки оголює коріння, а й сприяє висушуванню ґрунту, оскільки при цьому площа поверхні випаровування значно збільшується. Заміри вологості ґрунту

на плантаціях малини свідчать про те, що на глибині 0,15 м на ґрунтовому валу цей показник на 7% нижчий, ніж у центрі міжряддя.

Таким чином, до ґрунтообробної машини (або комплексу машин), призначених для роботи на ягідній плантації, висуваються дуже жорсткі вимоги, до яких слід віднести і прагнення до зниження енергоємності машин, а також до зменшення їхньої металоємності.

У міру накопичення практичного досвіду у зв'язку з багаторічною роботою в ФГ "Ягідне" (Чернігівської області) компонувальна концепція як фрези, так і всього комплексу машин для догляду за плантацією малини пройшла кілька етапів трансформації в бік оптимізації, яка полягає в поліпшенні якості роботи, і зручності експлуатації, а також у зменшенні вартості та енергоємності.

На першому етапі досліджень передбачалося, що всім агротехнічним та економічним вимогам одночасно може відповідати фрезерний культиватор, який обробляє за один прохід усю ширину міжряддя. Для цього він повинен мати два ротори, з регульованими діаметрами і заглибленням ножів у задній половині окружності, описуваної ними у відносному русі. Для забезпечення зони перекриття між роторами відстань між осями їхнього обертання також має регулюватися. Врівноваження машини в поперечному напрямку забезпечується обертанням роторів назустріч один одному.

Практична експлуатація машини показала, що вона задовільно виконує технологічний процес, проте відсутня можливість гнучкої адаптації її ширини захвату до нестабільної відстані між основами рядів на реальній плантації.

Як наслідок цього – місцями можлива поява надто широких необроблених зон, тоді як в окремих випадках спостерігалось пошкодження культурних рослин. Крім того, машина досить складна і має масу, що перевищує вантажопідйомність навісної системи трактора класу 6 кН.

За поглибленої оцінки агротехнічних та економічних пріоритетів було зроблено висновок про те, що доцільно розділити на окремі операції обробіток ґрунту в міжряддях і обробіток прикущової смуги з одночасним обмеженням

ширини ряду (на плантації малини) [17, 18]. Зокрема, за рахунок цього можна звести до мінімуму ширину захисної зони вздовж стебел малини або підстав кущів смородини та суттєво зменшити трудомісткість ручного прополювання плантації першого - другого року після посадки.

Щодо обробітку міжрядді, то шляхом модернізації дискової борони вдалося забезпечити надійне управління процесом поперечного перерозподілу ґрунту, що практично виключило його закидання в кущі й утворення внаслідок цього традиційних для ягідних плантацій 70-х років минулого століття ґрунтових валів [6, 8]. Для цього виявилось достатньо забезпечити знаряддя відбійним щитком особливої форми, встановленим під певним кутом до траєкторії відкидання ґрунту крайнім диском передньої батареї [7]. Стабільність якісних показників роботи модернізованої дискової борони не залежить при цьому від ступеня засміченості міжрядь і вологості ґрунту.

При утриманні плантацій ягідників під чорним паром в поєднанні з мульчуванням ґрунт в міжряддях розпушують, а біля кущів мульчують – мульчують гноєм, торфом, листям, соломою, тирсою або парером. Особливо добрі результати дає мульчування ґрунту біля кущів агрусу, тому що розпушування вручну дуже трудомістке і незручне для виконання.

Для обробітку ґрунту в ягідниках у весняно-літній період використовують застарілі ґрунтообробні знаряддя: плуги-розпушувачі виноградникові начіпні ПРВН-2,5А, культиватори рослинорозпушувачі типу КПН- 2,0, культиватори висококліренсні КВП-2,8, дискові борони БДН-1,3А, а також машини з фрезерними робочими органами ФПШ-200, ФН-110 ті інші.

Культиватор КМК – 2,6. призначений для міжрядного обробітку ґрунту в кущових ягідниках з шириною міжрядь 2, 5 – 3 м.

Культиватор КМК – 2,6 (рис.1.1.) складається з рами 1, автозчіпки 3, опорних коліс 8, механізмів регулювання глибини обробітку стрілочастими 7, розпушувальними 2 та поворотними 5 лапами.

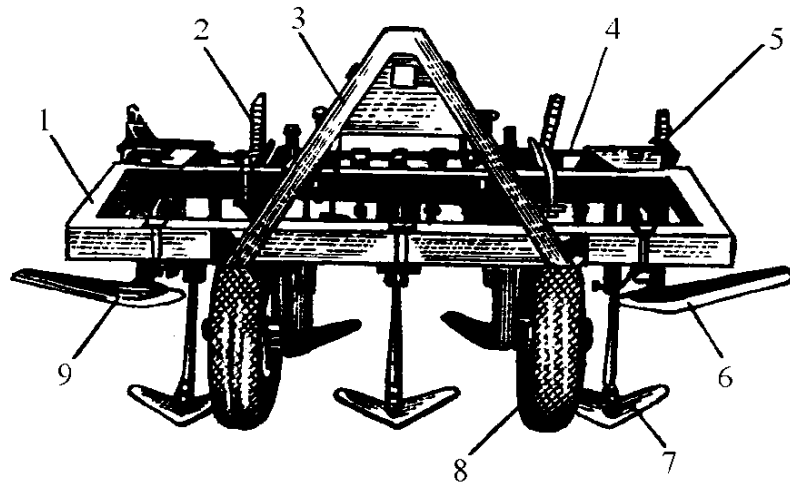


Рис. 1. 1. Культиватор для міжрядного обробітку ґрунту КМК

Культиватор виноградниковий *PCV-2,5FS* (рис. 1.2) призначений для розпушення ґрунту, знищення бур'янів і внесення добрив в ґрунт у міжряддях виноградників та кущових ягідників.

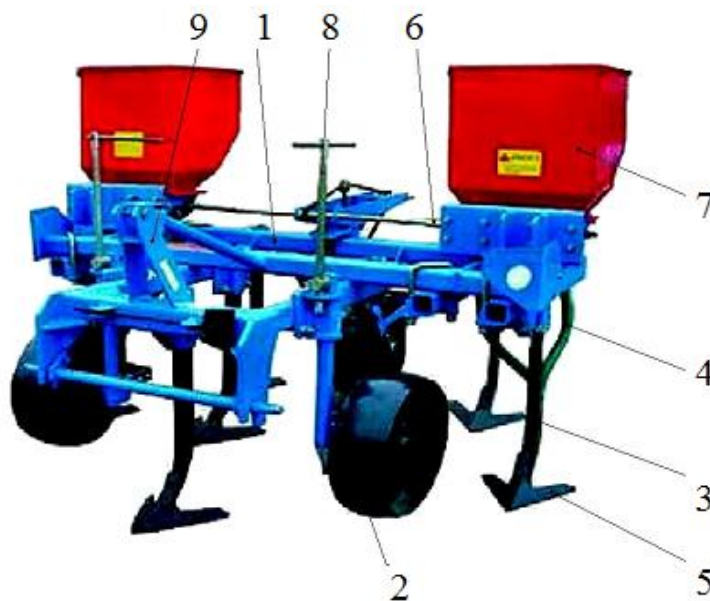


Рис. 1.2. Культиватор виноградниковий *PCV-2,5FS*: 1– рама; 2 – опорне колесо; 3 і 5 стрільчасті лапи; 4 – тукопровід; 6 – вал приводу висівних апаратів; 7 – туковисівний апарат; 8 – гвинтовий механізм глибини обробітку; 9 - причіпний пристрій.

Культиватор складається з рами з начіпним пристроєм 9, яка спирається на колеса 2. Робочими органами є стрільчасті лапи 3 і 5, та два туковисівних апарати 7.

Борона дискова начіпна БДН – 1,3А призначена для розпушування ґрунту і знищення бур'янів у міжряддях кущових ягідників та молодих садів

Борона включає зварну раму 2 (рис.1.3), дві дискові батареї (передня 14 і задня 1), паралелограмний механізм 11, замок автозчіпки 12, центральна тяга 13, гідроциліндр 10, кожух огороження 17 та пристрій для обробітку ґрунту в прикущовій зоні.

Поворотна лапа для обробітку ґрунту в прикущовій зоні складається з двох ножів, закріплених на поперечному брусі, який хомутами прикріплений до бруса рами борони.

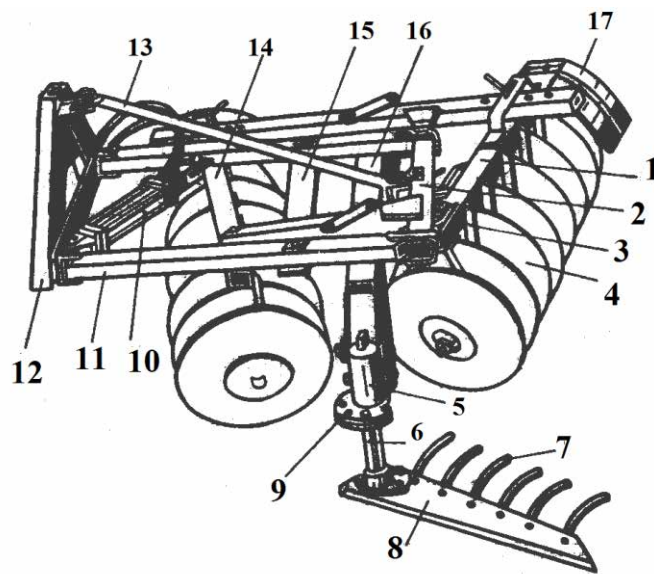


Рис. 1.3. Борона дискова начіпна БДН – 1,3А

Із сучасних машин для ягідників можна навести ґрунтообробні машини для ягідників розроблені в інституту садівництва НААН.

Культиватор КЯН-2,6.

Застосовують для обробітку ґрунту і знищення бур'янів у міжряддях кущових ягідників шириною 2,5-3 м.

Продуктивність 1,2-1,5 га/год

Ширина захвату 2,2-2,6 м

Робоча швидкість до 7 км/год

Глибина обробітку до 12 см

Маса 280 кг

Агрегатують тракторами класу 1,4.



Фреза ягідникова ФЯ-2 для обробітку ґрунту і знищення бур'янів у міжряддях кущових ягідників

Продуктивність 0,9-1,2 га/год

Ширина захвату 2,0-2,5 м

Робоча швидкість до 5 км/год

Глибина обробітку до 12 см

Маса 760 кг

Агрегатують тракторами класу 1,4



Задерніння застосовують на плантаціях кущових ягідників, де випадає достатня кількість вологи, та при зрошенні. На другий рік після закладання ягідників в міжряддях висівають колосові трави, а прикущові зони мульчують. Протягом літа траву декілька разів скошують і мульчують нею прикущові смуги. Ефективне також мульчування суцільне мульчування міжрядь ягідників і особливо на площах, що можуть зазнавати водної ерозії.

У міжряддя які утримуються під задернінням, траву скошують садовими косарками або мульчувачами.

Косарка-подрібнювач GB-GBH 150-180 (рис.1.4.) призначена для обробітку міжрядь і пристовбурних смуг в садах і виноградниках.



Рис. 1.4. Косарка-подрібнювач GB-GBH 150-180

Косарка складається з рами, начіпки, системи гідравлічного бокового зміщення, вертикальних валів на яких встановлені диски із закріпленими ножами. З переду встановлені опорні колеса а позаду встановлений і суцільний

металевий коток для регулювання висоти зрізування.

Мульчувач для садів та виноградників Maschio Gaspardo Barbi (рис.1.5.) призначений для догляду за шляхом скошування та подрібнення трави в міжряддях садів і виноградників. Машини даної серії оснащені суцільним металевим котком для регулювання висоти зрізування, системою гідравлічного зміщення вздовж осі, а також ножами/молотками, що дозволяє оптимально подрібнити і розподілити рослинні залишки по поверхні.

Машина начіпна, має універсальну 3-х точкову зчіпку з можливістю зміщення. Привод ротора здійснюється через карданний вал від ВВП трактора (540 об/хв.). Ротор закритий захисним огородженням

Ширина захвату мульчувача Barbi від моделі складає 1,0;1,2; 1,4; 1,75 і 1,90 м, що забезпечує використовується в насадженнях з різними міжряддями. Зміщення від осі: вліво/вправо – від 10 до 44 см



Рис 1.5. – Мульчувач для садів та виноградників Maschio Gaspardo Barbi

1.3. Обґрунтування доцільності удосконалення розробки

Проведений нами аналіз машин для обробітку ґрунту в міжряддях кущових ягідників показав, що плуги, культиватори, дискові борони, фрези з горизонтальною віссю обертання не можуть забезпечити якісного обробітку ґрунту і належного догляду за ягідними чагарниками і садовими насадженнями, що відповідають агротехнічним вимогам. Тому для обробітку ґрунту в

міжряддях кущових ягідників краще використовувати фрези, що містять активні та пасивні робочі органи, які знижують енергоємність таких ґрунтообробних машин.

Застосування дискових знарядь дає змогу зберегти коріння в міжряддях, але після 4-5 річного дискування посадки опиняються на гребенях (рис. 1.7). У результаті цього оголюється коренева система рослин і збільшується площа випаровування, посилюючи в посушливий період дефіцит вологи й істотно знижуючи врожай [10, 11]. Крім того, ґрунтові вали, що сформувалися з плином часу вздовж кущів, ускладнюють, а іноді навіть унеможливають роботу ягодозбиральних комбайнів. Повністю виключити це негативне явище дає змогу постачання дискового знаряддя додатковим відбійним щитком [12].

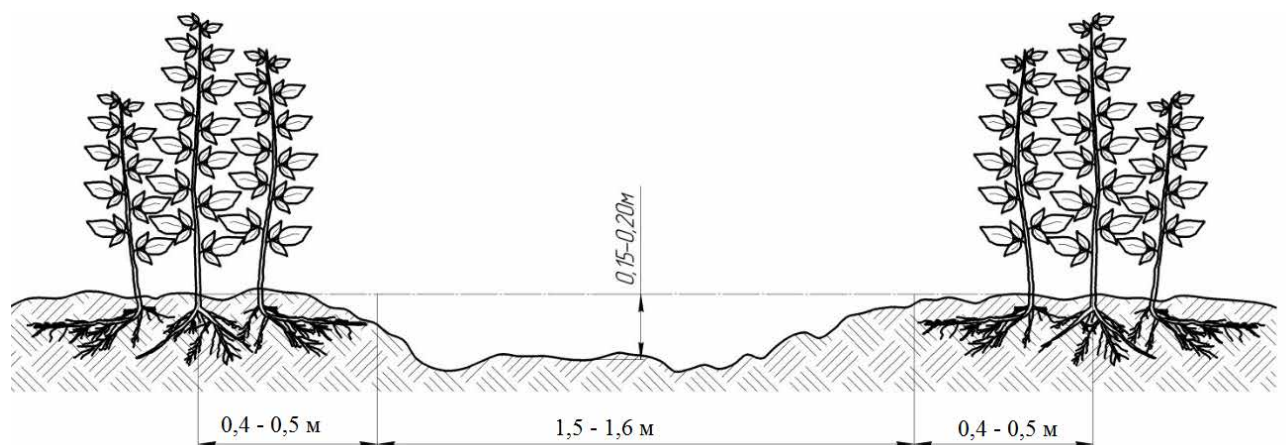


Рис. 1.7. - Поверхня міжряддя малини, що утворилася на 4-5 рік після посадки внаслідок обробітку дисковими боронами

Проведений нами аналіз з проблеми інтенсифікації обробітку кущових ягідників показав, що до системи машин з догляду за рослинами треба застосовувати фрезерні культиватори з вертикальною віссю обертання [13] з одностороннім обробітком низки ягідних культур. Оскільки збільшення кількості роторів за зменшення діаметра кожного з них веде до необґрунтованого зростання енерговитрат, то за основу беремо однороторну фрезерну секцію з шириною захвату 0,5...0,8 м.

Аналіз показує, що в садових насадженнях і ягідних плантаціях краще застосовувати ґрунтообробні фрези з вертикальною або похилою віссю обертання. Фрези з вертикальною віссю обертання можуть спрямовано впливати на фракційний склад ґрунту [4], легше задавати або змінювати режим роботи (подавання, робоча швидкість руху, частота обертання роторів і напрямок обертання), задавати глибину обробітку ґрунту, не ушкоджуючи кореневу систему, ретельно її копіюючи.

2. МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДО РОЗРОБКИ ФРЕЗИ

Одним з найбільш трудомістких процесів в садівництві є обробіток міжстовбурних смуг, високоякісний обробіток яких забезпечує сприятливі умови для розвитку кореневої системи, підвищуючи цим врожайність плодкових культур.

Проблему обробітку ґрунту в міжстовбурних смугах можна вирішити двома шляхами: внесенням гербіцидів стрічковим методом, як загальної так і контактної дії типу УТАП, або створенням машин, обладнаних висувними секціями з контактними або безконтактними пристроями для контролю входу і виходу.

Відмова від механічного обробітку пристовбурних та міжстовбурних смуг часто приводить до негативних явищ.

Для обробітку ґрунту в пристовбурних смугах застосовують різні типи робочих органів: ножові, дискові та фрезерні.

В результаті багаторазових дослідів встановлено, що урожай культур на ділянках, оброблених фрезою, був на 10 – 15%, а іноді на 20 – 25% вищий, ніж на ділянках, оброблених плугом і агрегатом із дискових та зубових борін.

Відповідно до даних співробітників Агрофізичного науково-дослідного інституту І.Б.Ревута та Л.Д.Назаренка, при внесенні 30 – 40 т/га торфо-аміачних і 8 т/га мінеральних добрив обробіток фрезою ФБН-0,9 у порівнянні з обробітком плугом ПКС-4-35 забезпечила збільшення урожаю картоплі на супіщаному ґрунті на 48 ц/га або на 18,1%, а на суглинистому на 56 ц/га або на 21,6% [14].

Ефективність ротаційних машин при обробітку садових культур теж дуже висока. Н.Ф.Канев відмічав, що робочі органи фрези повністю знищують кореневища бур'янів, а при зворотному русі ротора можна виконувати роботу по догляду за садовими культурами навіть на кам'янистих ґрунтах.

Вивчення передового вітчизняного та зарубіжного досвіду показало, що при невеликій і середній забур'яненості ділянок пристрої з ножовими робочими

органами працюють задовільно, вони прості в експлуатації, повністю підрізають бур'яни, не металоємні. Ножеві секції незадовільно працюють при великій кількості старих бур'янів, не можуть працювати на дуже щільних ґрунтах. При обробі міжстовбурних смуг пасивними поворотними ножами створюється накопичення великих бугрів ґрунту висотою 17 – 22 см., що призводить до виходу з ладу механізмів.

Ряд переваг порівняно з пасивними поворотними ножами мають дискові робочі органи, які при інших затратах потужності, виконують технологічний процес на більших робочих швидкостях (до 7 км/год) і значно менше пошкоджують кореневу систему дерев.

Основним недоліком дискових робочих органів являється значне розгортання ґрунту біля стовбурів дерев при введенні або виведенні висувної секції з ряду.

Таким чином більш якісний обробіток ґрунту в міжстовбурних смугах досягається за допомогою машин з ротаційними робочими органами. На користь таких органів говорить те, що вони, в порівнянні з пасивними робочими органами, дозволяють повністю завантажити трактор [16].

По даним німецьких дослідників ротаційні навісні знаряддя дозволяють використовувати потужність трактора на 80%, а пасивні тільки на 50%.

Одним з факторів, які стримують широке впровадження ротаційних машин, є їх відносно висока енергоємність. Наприклад, енергоємність горизонтальної фрези ФП-2 приблизно в 2,7 рази вища ніж у ПРВН-2,5А. Однак при певних умовах енергоємність активних робочих органів може бути рівною і навіть нижчою ніж у пасивних робочих органів при вищій якості обробітку.

Слід мати на увазі, що ротаційні робочі органи забезпечують необхідний рівень рихлення ґрунту за один прохід, в той час як знаряддя з пасивними робочими органами для досягнення такого ж результату потрібно декілька проходів [10].

Найбільш поширена в наших садівничих господарствах фреза садова ФА-0,76. Вона широко застосовується для обробітку пристовбурних смуг плодових садів. Під час роботи машини фрезерна секція рухається в пристовбурній смузі, а при контакті щупа з стовбуром дерева фреза відхиляється і, обійшовши його знову, повертається в ряд, залишаючи необробленою тільки невелику зону біля стовбуру.

2.1. Фізико-механічні властивості ґрунту, як об'єкту обробітку

Найбільш цінною якістю ґрунту є його родючість, рівень якої залежить від хімічного складу і фізико-механічних властивостей ґрунту, а також від виробничої діяльності людини. Дія людини на ґрунт в цілях підвищення родючості зводиться в основному до механічної обробки і внесення добрив.

При обробітку ґрунту відвальними плугами не завжди досягається достатній ступінь розпушування ґрунту і перемішування його шарів, тому для покращення якості обробітку проводять додаткові операції – дискування, культивування, боронування і т.д. Механічний обробіток ґрунту простими ґрунтообробними знаряддями не на всіх ґрунтах дає задовільний результат. На таких ґрунтах рекомендують застосовувати фрезерні машини.

В початковий період застосування фрезерних машин в сільському господарстві було багато протиріч, а в багатьох випадках і негативне ставлення до питання впливу активних робочих органів на структуру ґрунту.

Водний, повітряний, тепловий і харчовий режими ґрунту частково залежать від шпаруватості ґрунту. Для окультурених ґрунтів загальна шпаруватість може складати 60 – 65%. При шпаруватості ґрунту менше 50% рекомендується проводити додаткове розпушування. Ґрунти, оброблені ротаційними машинами часто мають шпаруватість до 70%, що не для всіх рослин раціонально. В таких випадках необхідно використовувати ущільнювачі ґрунту.

Ґрунтообробні машини з ротаційними робочими органами завдяки відрізанню від ґрунту порівняно невеликої стружки створюють високу якість

оброблюваного шару, так як в процесі різання одночасно відбувається рівномірна заробка по глибині бур'янів і рослинних решток.

Деякі вчені вказували на те, що при фрезеруванні ґрунту утворюються частинки менші 0,25 мм., в наслідок чого значно знижується його родючість.

Академік В.Р.Вільямс надавав великого значення показнику структурованості ґрунту. Він помилково недооцінював катки, ротаційні борони, ґрунтообробні фрези та інші машини, які, на його думку, при роботі на ґрунтах, які втратили оптимальну "спілість", порушували структуру, розпилювали ґрунт. Досліди В.А.Францессона, І.Б.Ревута, П.А.Некрасова та інших вчених показали, що на структурних чорноземних ґрунтах агрегати з розмірами навіть менше 0,25 мм. (до 0,06 мм.), отриманні в результаті неодноразового розпушування, не погіршують корисні якості ґрунту.

Неодноразове розпушування ґрунту фрезою не збільшує кількість частинок менше 0,25 мм. Ґрунт, оброблений плугом і фрезою, розрізняється лише вмістом крупних комків (100 – 150 мм.). Дрібні ж фракції знаходяться приблизно в однакових співвідношеннях при обох варіантах обробітку. Ці дані відповідають результатам дослідження Н.Сміта, Б.М.Дауголла, В.І.Алексашина та інших.

Кандидат сільськогосподарських наук Д.І.Сидорчук, вивчаючи властивість розпушування задернілого ґрунту різними знаряддями, прийшов до висновку, що при фрезерному обробітку дернина луку розрихлюється в три рази інтенсивніше ніж при обробітку плугом і дисковою бороною. Це ж відмічав раніше в своїх дослідженнях професор А.Д.Далін та інші вчені.

Якість обробітку лугоболотних ґрунтів фрезами різних типів було експериментально вивчено у науково-дослідницькому інституті кормів. В результаті дослідів було встановлено, що подрібнення дернини фрезами сприяє швидкій мінералізації органічної речовини в ґрунті, підвищує продуктивність кормових угідь і покращує кормові якості лугових трав[15].

Дослідами А.Ф.Любської встановлено, що на сухих лугах фрезерування на глибину 10 см. В один слід привело до зміни видового стану лугу. Якість

травостою луку покращилась. Однак повного знищення бур'янів, наприклад щучки дернистої, в досліді не було досягнуто.

Потрібно відмітити, що в конструкціях фрез 30 – 50 –х років швидкість різання була 8 – 12 метрів за секунду, а в сучасних конструкціях вона знижена до 3 – 6 м/с., тобто вдвічі. Цим можна обумовити негативні висновки деяких вчених по відношенню до зміни структури ґрунту при фрезеруванні. Розпилення ґрунту значно зменшилось при правильному застосуванні і експлуатації фрезерних машин.

Ступінь кришіння ґрунту і знищення бур'янів, порівняно з машинами які мають пасивні робочі органи, ротаційні машини мають значно вищий, вони краще рихлять ґрунт, повніше підрізають бур'яни, рівномірніше заробляють в ґрунт органічні добрива і рослинні рештки.

Так П.А. Некрасов вказував на повну відсутність грудок після фрезерування, в той час як після оранки з плугом грудочковість ґрунту складала понад 10%. На ці якості роботи фрези вказують багато дослідників, підтверджуючи, що фрезерування повністю підготовлює ґрунт до сівби.

В землеробстві багатьох країн експериментально доведено, що найдосконалішою машиною, яка здатна розпушувати ґрунт і перемішувати його з добривами, є ґрунтообробна фреза. Високі результати роботи фрези отримують при рівномірному розподілі внесених добрив по поверхні перед робочими органами і ретельному розпушуванні внесеного матеріалу.

Інтенсивне розпушування ґрунту фрезою значною мірою впливає на волого-повітряний режим ґрунту, що обробляється. Багатьма дослідженнями було доведено, що збільшується аерація, зменшуються втрати вологи після фрезерування, значно знижується об'ємна вага ґрунту і відбувається встановлення сприятливого відношення капілярних пор до некапілярних, що важливо для забезпечення рослин водою. Після фрезерування ґрунт стає більш сприятливим для росту рослин, ніж після культивуації чи боронування, твердість зменшується у два рази.

Однак А.М. Архаменко вважає, що глибоке і інтенсивне розпушування ґрунту може привести до його висушування. В дослідях Ю.П.Першина відмічається, що після фрезерного обробітку ґрунту не помічається посилення втрати вологи навіть в період відсутності дощу.

Аналіз багатьох досліджень дозволяє відмітити гарний вплив фрезерування ґрунту на його агрофізичні властивості. Більш того, кришіння і значне збільшення повітрязабезпечення ґрунту сприяє підсиленню як мікробіологічних процесів в ньому, так і мінералізації його органічних запасів.

Вологоповітряний режим ґрунту обумовлює у ньому характер мікробіологічних процесів. Їх активація пов'язана з поліпшенням харчового режиму ґрунту, з забезпеченням його рослинними рештками, антибіотиками, вітамінами, а також з поліпшенням повітряної структури.

Багато дослідників розцінюють ефективність різних способів обробітку ґрунту по підсиленню біологічної активності в ньому, а також по накопиченню продуктів мінералізації органічних речовин та по рівню урожайності оброблюваних культур. Перемішування орного шару і рівномірне розподілення органічних та мінеральних добрив при підготовці поля під картоплю за допомогою фрези, підвищують біологічну активність ґрунту, внаслідок чого урожайність збільшується на 9-21%. В ґрунті, обробленому фрезою, знайдено значно більшу кількість поживного азоту, порівняно з ґрунтом, обробленим робочими органами дискового, боронного або культиваторного типу.

Поліпшення фізико-механічних показників стану ґрунту, підвищення показників його біологічної та біохімічної активності, в кінцевому рахунку, веде до збільшення урожайності різних культур на ґрунтах, оброблених фрезерною машиною. Таким чином, фрезерні машини по агротехнічним показникам, при виконанні деяких операцій, мають ряд явних переваг перед іншими ґрунтообробними машинами.

2.2. Агротехнічні та експлуатаційні вимоги до ґрунтообробних знарядь

Садові фрези повинні задовольняти наступним основним вимогам [22]:

1. обробляти ґрунт в пристовбурних смугах і в рядках між деревами при неперервному прямолінійному русі агрегату;
2. мати можливість регулювати глибину обробітку в межах 6 – 20 см.;
3. повністю знищувати бур'яни, а також подрібнювати та перемішувати з ґрунтом сидеральні культури на зелені добрива;
4. не повинні пошкоджувати кору та гілля плодкових дерев та кущів.

Показники якості технологічного процесу [21]:

1. глибина обробітку ґрунту 10 – 15 см. ± 2 см;
2. якість кришіння ґрунту по фракціях: кількість комків розмірами менше 10 мм. – 70%; 10 – 20 мм. – 15%; 20 – 50 мм. – 10%; більш ніж 50 мм. – 5%;
3. ступінь знищення бур'янів в зоні робочих органів фрези не менше 90%;
4. площа необробленої зони навколо стовбура дерева не повинна перевищувати 0,4 м²;
5. пошкодження наземної частини дерева допускається не більше 3%.

Доцільно відмітити, що фрезерні машини дають найкращі результати при окультурюванні нових земель.

З попередніх розділів видно, що обробіток ґрунту у садах фрезерними машинами не тільки відповідає агротехнічним вимогам, а й безперечно кращий, порівняно з іншими видами обробітку. При кращих показниках якості обробітку, збільшеній урожайності, ротаційні машини суттєво знижують трудомісткість виробництва.

3. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФРЕЗИ ДЛЯ ОБРОБІТКУ ГРУНТУ В ПРИКУЩОВИХ СМУГ ЯГІДНИКІВ

3.1. Обґрунтування технологічної схеми фрези

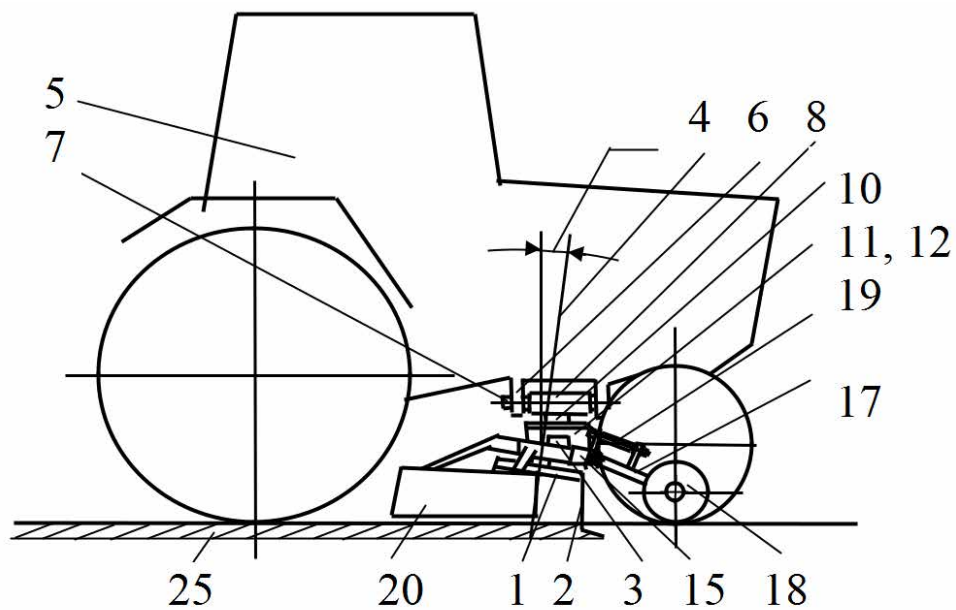
На першому етапі роботи над фрезою для обробітку прикущових зон було прийнято концепцію одночасного обробітку ряду з двох боків [19]. По суті, ідея була успадкована від концепції агрегування всього комплексу машин для розплідників і ягідників з висококліренним шасі.

В подальшому було зроблено кілька спроб адаптувати ідею до агрегування двороторної фрези зі звичайним просапним трактором класу 6 кН. Для цього було використано оригінальні аrochenні конструкції, що навішувалися на трактор позаду або збоку [21, 22].

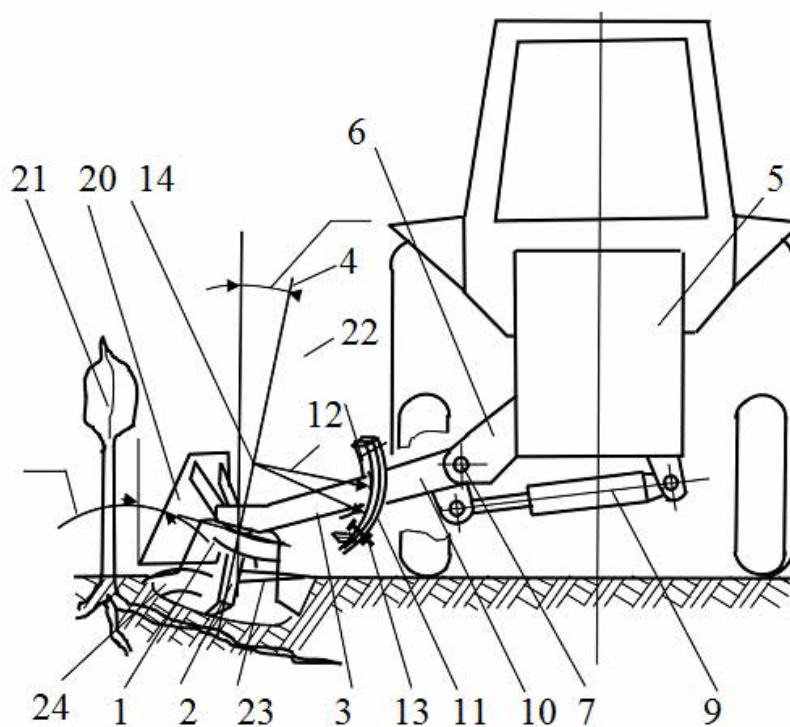
У результаті виробничих випробувань було встановлено, що деяке збільшення продуктивності праці під час використання двороторної машини не окупає істотного збільшення складності та ціни обладнання. Крім того, мінімальну ширину захисних зон без пошкодження стебел малини вдається витримувати лише за безпосереднього візуального копіювання плодової стінки з одного боку. Положення другого ротора в результаті цього виявляється ніяк не пов'язаним із завданням мінімізації ширини захисної зони на другій стороні оброблюваного ряду. Внаслідок цього, починаючи з 2012 року, фреза експлуатувалася у фермерському господарстві "Ягідне" в однороторному варіанті.

Модернізована в такий спосіб фреза (рис. 3.1.) включає ротор 1, забезпечений чотирма L-подібними назовні відігнутими ножами 2 та змонтований на рамі 3 з можливістю примусового обертання за допомогою механічного приводу, зокрема, не показаного на схемі конічного редуктора, відносно похилої осі 4 (рис. 3.1. а) вихідного вала якого і здійснюється обертання. Вісь обертання 4 ротора 1 нахилена вперед на кут β і в бік трактора 5 на кут α (рис. 1а, б). Рама 3 з'єднана з остовом трактора 5 за допомогою кронштейнів 6, поздовжньої осі 7, поперечки 8, гідроциліндра 9, а також

консольного важеля 10 і дугоподібних пластин 11 і 12, приварених до рами 3 і важеля 10, відповідно і з'єднаних між собою болтами 13.



а)



б)

Рис. 3.1. - Принципова схема модернізованого варіанта фрези (привід не показано, позначення позицій - у тексті): а - вигляд збоку; б - вид ззаді

У сукупності деталі 3, 10, 11 і 12 утворюють рукоять, зовнішня частина якої може за допомогою гідроциліндра 9 підніматися і опускатися, переводячи фрезу з робочого положення в транспортне і назад.

У пластинах 11 і 12 виконано два вертикальних ряди отворів (на схемі не показано), що дають змогу з'єднувати їх між собою в різних положеннях одна відносно одної шляхом повороту навколо спільного центру кривизни 14 (рис. 3.1.б) разом із рамою 3 і ротором 1. При цьому пластини 11 і 12 зорієнтовані так, що їхній спільний центр кривизни 14 розташований у поздовжній площині, що містить вісь обертань 4 ротора 1, а горизонтальна твірна циліндричної поверхні становить кут γ із поздовжньою віссю трактора 5 (рис. 3.1.а). У кронштейнах 15 рами 3 з можливістю повороту навколо горизонтальної осі змонтовано важіль 17 опорних коліс 18, забезпечений регулювальним гвинтовим механізмом 19. При цьому сумарна ширина b двох коліс 18 приблизно дорівнює половині діаметра D ротора 1. Крім того, на рамі 3 змонтовано відбійний щиток 20 криволінійної форми, встановлений із поперечним нахилом у бік трактора 5 на кут δ (рис. 3.1.б).

При наближенні до ряду оброблюваних рослин 21, механізатор гідроциліндром 9 опускає раму 3 з ротором 1 до торкання ножів 2 до поверхні ґрунту, після чого вмикають привід ротора, і він починає обертатися у напрямку стрілки 22.

Після переміщення відповідного золотника гідророзподільника трактора 5 у плаваюче положення, агрегат починає рух уздовж ряду рослин 21 на першій або другій уповільненій передачі трактора Т-25А. Ножі 2 ротора 1 заглиблюються в ґрунт до упору в нього опорних коліс 18 (рис. 1.а). При цьому гвинтовим механізмом 19 встановлюють висоту коліс 18 відносно ротора 1 таким чином, щоб кожен ніж 2 виглиблювався з ґрунту, не доходячи 40 – 50⁰ до крайньої задньої точки траєкторії його обертання у відносному русі. Унаслідок цього відкидання ґрунту ножами 2 відбувається під гострим кутом до поздовжньої осі агрегату, тому його більша частина залишається в межах

ширини захвату В ротора 1 (поверхня обмежена пунктирною лінією 23 на рис. 3.1.б).

Частина ґрунту неминуче отримує імпульс руху надлишкової величини, але її надмірну кінетичну енергію гасить відбійний щиток 20, що повністю перекриває сектор відкидання. Ударившись об його похилу поверхню, ґрунт обсипається вниз, заповнюючи виїмку 24 (рис.3.1.б), тимчасово утворену в прикущовій зоні завдяки вилученню з неї частини ґрунту ножами 2 обертового ротора 1, який обертається.

Оскільки вихідний профіль поверхні міжряддя, вологість і твердість ґрунту, а також ступінь засміченості оброблюваної смуги 25 можуть змінюватися в широких межах, інколи доцільно змінювати співвідношення між кутами поперечного та поздовжнього нахилу осі обертання ротора. Для цього достатньо відвернути болти 13 і перемістити пластини 11 і 12 одна відносно одної до збігу між собою чергових чотирьох пар отворів. Після цього болти 13 встановлюють у отвори, що знов збіглися, і проводять їх затягування. Оскільки твірна поверхонь пластин 11 і 12 має нахил щодо поздовжньої осі трактора на кут γ , процес приєднання фрези до трактора 5 істотно спрощується. Трактор переміщується до упору пластини 11 у поверхню пластини 12, після чого достатньо поправити поверхні, що контактують, вручну і вставити болти в отвори, що збіглися.

Багаторічна практична експлуатація фрези в ФГ "Ягідне" дала змогу виявити більшість недоліків конструкції. У результаті кількох етапів модернізації їх вдалося усунути і забезпечити оптимальну якість технологічного процесу, а також прийнятні зручності для механізатора під час агрегування та експлуатації машини.

3.2. Обґрунтування параметрів ротора фрези

Існують ґрунтообробні фрези із вертикальною або похилою осями обертання, завдяки чому можна спрямовано впливати на фракційний склад ґрунту, легше задавати та змінювати режим роботи фрези (подачу, робочу

швидкість руху, частоту обертання роторів і напрямок обертання), задавати глибину обробітку ґрунту, не ушкоджуючи кореневої системи, ретельно її копіюючи. До того ж розпушування ґрунту, підрізання бур'янів і копіювання кореневої системи рослин, не пошкоджуючи їх, у прикущових зонах ягідників і пристовбурних смугах молодих садів якісніше здійснюють фрези з вертикальною або похилою вісями обертання. Технологія застосування фрез із вертикальною віссю обертання дає змогу підводити активні робочі органи якомога ближче до кущів і стовбурів дерев, не пошкоджуючи їх і кореневу систему.

Під час обробітку ґрунту в міжряддях кущових ягідників (малина, смородина, агрус, виноградники та ін.) плуг або фреза повинні якомога ближче підходити до стовбурів дерев чи кущів, не ушкоджуючи кореневої системи, стовбурів і гілок рослин.

Умовно прийнято вважати, що плантації ягідних чагарників і садових насаджень поділяються на три зони (рис. 3.2):

- 1) Міжряддя;
- 2) Прикущова зона;
- 3) Кущова зона.

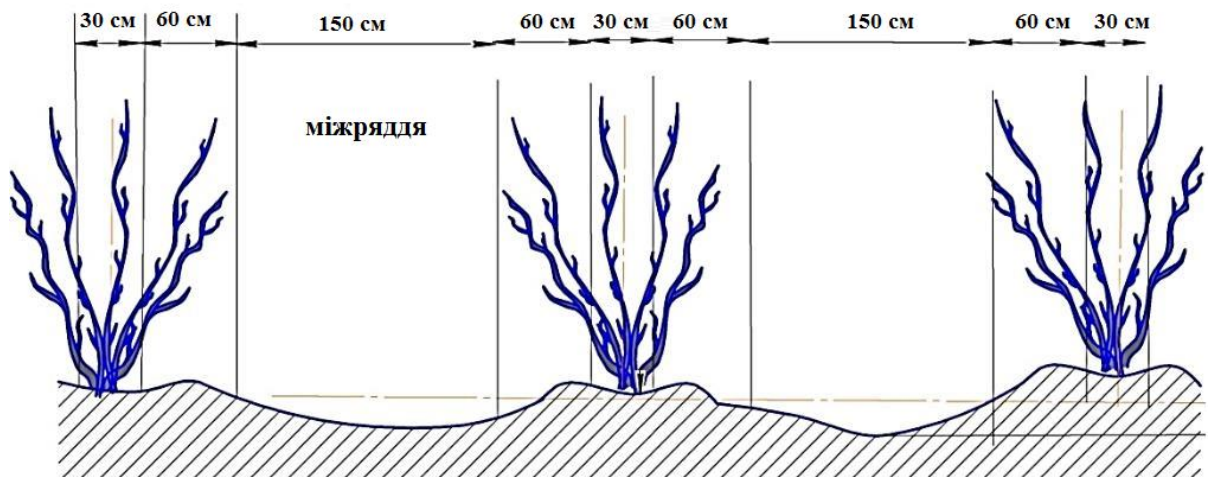


Рис. 3.2. – Схема розташування зон на плантаціях малини

Проведений нами аналіз технічних засобів для обробітку ґрунту засвідчив, що в міжряддях краще використовувати фрези, які містять активні та

пасивні робочі органи. Енергомiсткiсть такої ґрунтообробної машини [6] є меншою порiвняно з фрезою, яка має лише одні активні органи.

Для розпушування ґрунту і подрiзання бур'янів у прикущових зонах ягідників і пристовбурних смугах молодих садів краще використовувати фрези з вертикальною або похилою вiссю обертання.

Але теоретичні та експериментальні дослідження [7] показали, що фреза з похилою вiссю обертання (рис. 3.3, *a*) за обробітку ґрунту в прикущовій зоні рослин спричиняє нерiвномiрність руху фрези та додаткові навантаження на підшипники осі ротора, що призводить до підвищення енерговитрат на обробіток ґрунту та передчасного їхнього зносу.

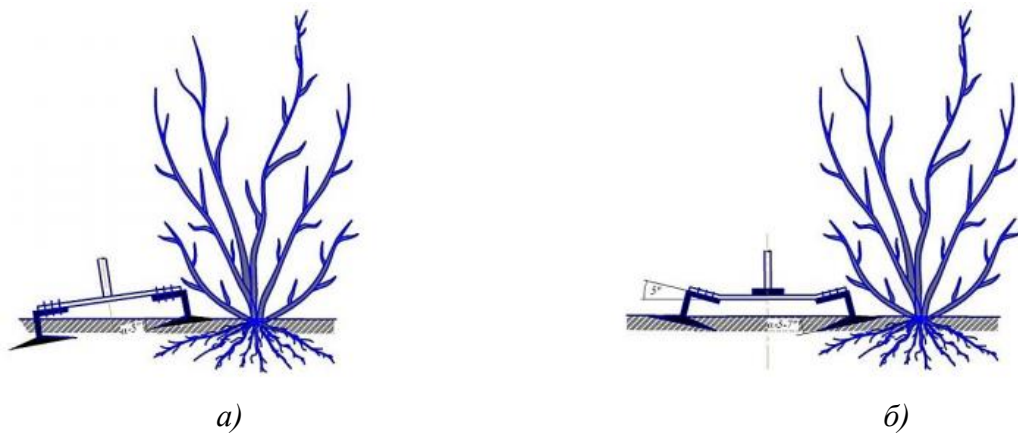


Рис. 3.3. – Схеми фрез: *a* – з похилою вiссю обертання; *б* – з вертикальною вiссю обертання

Для зменшення енерговитрат на обробіток ґрунту раціональніше застосовувати фрези [8,9] з вертикальною вiссю обертання (рис. 3.2, *б*), які якісно кришать ґрунт, не ушкоджуючи кореневу систему.

Оскільки кут залягання коренів у різних рослин (малина, смородина, агрус, виноград, яблуня тощо) неоднаковий, то краще використовувати фрезу [10], в якій є можливість регулювання кута встановлення робочих органів до поверхні ґрунту, що призводить до поліпшення якості копіювання кореневої системи (рис. 3.4).

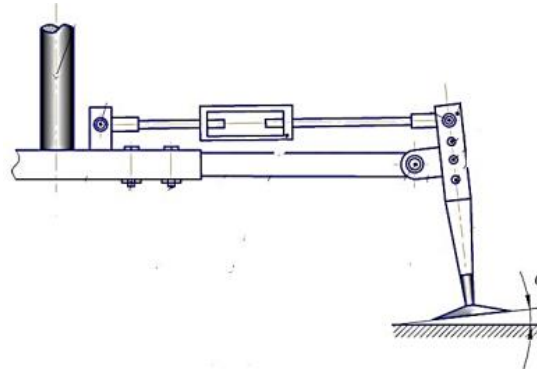


Рис. 3.4. – Конструкція фрези з вертикальною віссю обертання для обробітку ґрунту в прикустовій зоні

Головним завданням під час обробітку ґрунту в прикустовій зоні є копіювання кореневої системи рослини, не пошкоджуючи її.

3.3. Дослідження кінематичних параметрів фрези

Фреза з вертикальною віссю обертання виконує складний рух: рухається прямолінійно і обертається навколо своєї вертикальної осі.

Розміщені вертикально, кожний ніж фрези відрізає при цьому скибу ґрунту певного об'єму. Площа перерізу цієї скиби визначається траєкторіями руху двох сусідніх ножів, розміщених по колу. При чому ступінь розпушування ґрунту залежить від кількості ножів і кінематичного режиму їх роботи. При збільшенні кількості ножів і зростанні кутової швидкості їх обертання розпушування ґрунту покращується [20].

Робочий орган цього типу забезпечує утворення мульчуючого шару на поверхні ґрунту і майже повністю підрізає бур'яни. Такі фрези застосовують також для глибокого обробітку ґрунту. оранки.

Розмістивши схему фрези відносно нерухомої декартової системи координат (рис. 3.5), одержуємо рівняння руху точки A ножа I:

$$\begin{aligned} x &= r(1 - \cos \omega t), \\ y &= v_n t + \sin \omega t; \end{aligned} \quad (3.1)$$

де r – відстань даного ножа від центра обертання, м;

v_n – швидкість поступального переміщення фрези, м/с;

ω – кутова швидкість обертання фрези, с^{-1} ;

t – час, с .

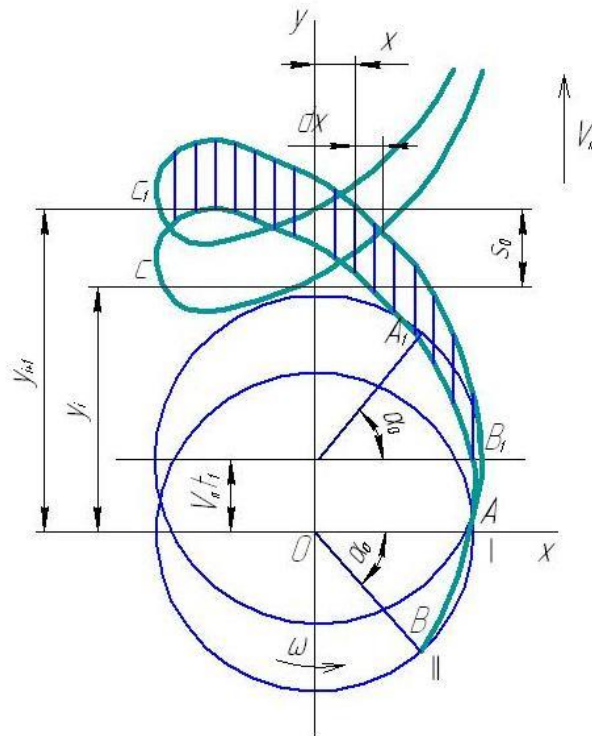


Рис. 3.5. Схема траєкторій переміщення двох сусідніх ножів фрези

Виключивши з рівняння (3.1) час t , знайдемо рівняння траєкторії руху точки A в декартовій системі координат:

$$y = \frac{v_n}{\omega} \arccos \frac{r-x}{r} + \sqrt{2rx - x^2}. \quad (3.2)$$

В одній площині на фрезі може бути розміщено різне число ножів. Рівняння руху для довільно взятого ножа має вигляд:

$$\begin{aligned} x_i &= r - r \cos \left\{ \left[2\pi - \frac{2\pi}{k} (i-1) \right] + \omega t \right\}; \\ y_i &= v_n t + \sin \left\{ \left[2\pi - \frac{2\pi}{k} (i-1) \right] + \omega t \right\}, \end{aligned} \quad (3.3)$$

де i – порядковий номер ножа;

k – число ножів на робочому органі.

З рівнянь (3.1) і (3.2), а також з рис. 3.5 випливає, що кожний ніж під час роботи описує подовжену трохоїду.

Очевидно, якість роботи фрези, зокрема розпушення ґрунту, залежить від площі перетину скиби, яку відрізає кожний ніж. В свою чергу розмір цієї площі визначається величиною радіуса фрези і кінематичним режимом її роботи. Отже, для проведення розрахунків і проектування фрези з вертикальною віссю обертання необхідно мати дані взаємозв'язку між згаданими параметрами [20].

3.3.1. Вибір раціональної геометричної форми ротора

Особливістю робочих органів вертикальної фрези є те, що на рух стружки по поверхні клину, який обертається навколо вертикальної осі, впливає відцентрова сила інерції $F_{Ц}$. Ця сила обумовлює значне розкидання ґрунту і зміну його рельєфу.

При дії відцентрової сили можливі три випадки руху стружки: елемент стружки відстає від ножа і сходить з нього з боку від задньої кромки; обходить ніж і сходить з нього, з боку ріжучої кромки; нерухомий відносно ножа і обертається разом з ротором.

Аналізуючи валив $F_{Ц}$ на швидкість і напрямок переміщення частинки ґрунту приймемо, що розміри останньої досить малі, в порівнянні з розмірами робочого органу, тому ними можна знехтувати, тобто частинка ґрунту являє собою матеріальну силу.

На рис. 3.3 показані сили, які діють на частинку, яка знаходиться на ножі вертикально-роторної фрези: сила тяжіння mg ; відцентрова сила $F_{Ц} = m\omega^2 R$; нормальна реакція N поверхні ножа і сила тертя fN .

Таким чином, при обробі пристовбурних смут вертикально-роторний робочий орган забезпечує відкидання в площині обертання при будь-якому куті повороту ротора φ . Вектор абсолютної швидкості частинки V_a відхиляється від вектора абсолютної швидкості ножа V_a' в сторону обертання. При цьому переміщення частинки буде направлено від осі обертання, що обумовлює розкидання ґрунту вертикальним ротором.

Розглянемо сили, які діють в вертикальній площині на частинку ґрунту, яка лежить на ножі, з врахуванням геометричної форми ротора.

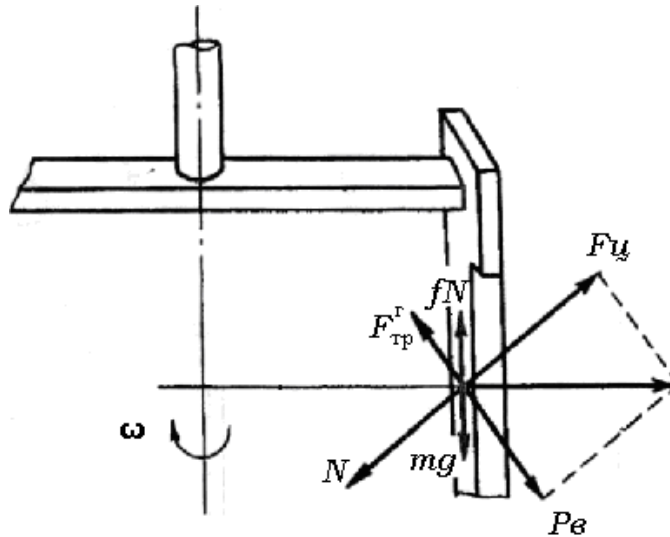


Рис. 3.6. Схема сил, які діють на частинку ґрунту

Умови початку руху елемента стружки в сторону ріжучої кромки визначаються з нерівності:

$$P_{\phi} > F_{\text{тр}}^{\Gamma}$$

де: P_{ϕ} – сила, яка втягує частинку в обертання;

$F_{\text{тр}}^{\Gamma}$ – горизонтальна складова сила тертя.

Розглянемо значення P_{ϕ} і $F_{\text{тр}}^{\Gamma}$ згідно схеми (рис. 3.3).

Тоді маємо:

$$m\omega^2 R \sin \varepsilon_0 > fm\omega^2 R \cos \varepsilon_0 \quad (3.49)$$

де: ε_0 – задній кут різання.

Для рівноваги елемента ґрунту в вертикальній площині необхідно:

$$fm\omega^2 R \cos \varepsilon_0 \geq mg \quad (3.50)$$

Перетворивши нерівність (3.49) у вигляд

$$\text{tg} \varepsilon_0 > f \quad (3.51)$$

одержимо умову початку руху елемента стружки в сторону ріжучої кромки.

Якщо коефіцієнт тертя ґрунту по сталі в середньому складає $f = 0,5$, а $\varepsilon_0 = 25 \dots 45^\circ$, то забезпечується умова нерівності (3.51).

На рис. 3.6 показані три, які найбільш часто зустрічаються, геометричні форми роторів: циліндричні (ножі мають пряну вертикальну стійку) і конічні з верхнім і нижнім розташуванням вершини конуса (стійка ножа нахилена).

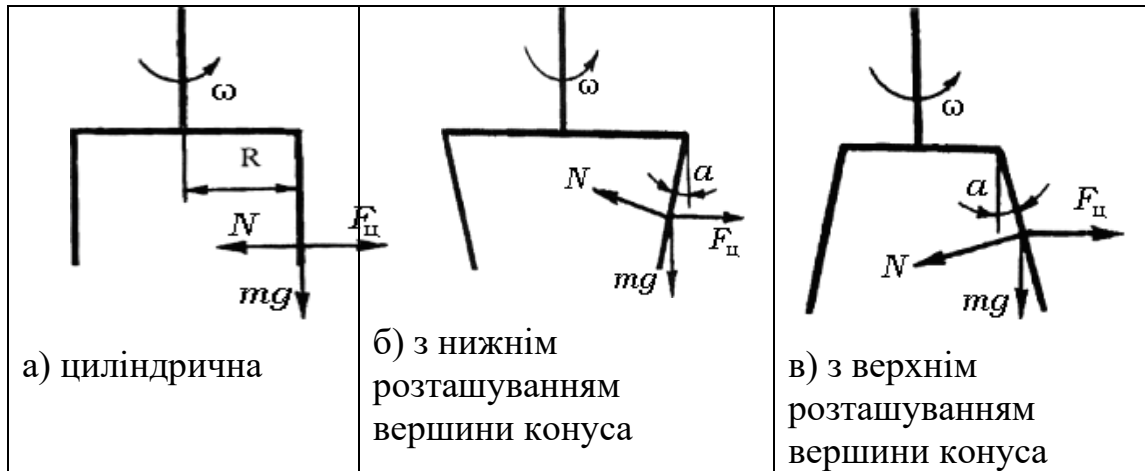


Рис. 3.7. Схема до обґрунтування геометричної форми ротора

Розглянемо умову, коли сили, які діють на частинку ґрунту, зумовлюють рівновагу або початок руху частинки вниз по стійці.

На основі силового аналізу запишемо:

а) циліндричний ротор

$$mg \geq F_{\text{т}} f$$

б) конічний ротор з нижнім розташуванням вершини конуса

$$mg \cos \alpha \geq F_{\text{т}} \sin \alpha + (F_{\text{т}} \sin \alpha + mg \sin \alpha) f$$

в) конічний ротор з верхнім розташуванням вершини конуса

$$mg \cos \alpha + F_{\text{т}} \sin \alpha \geq (F_{\text{т}} \sin \alpha - mg \sin \alpha) f$$

Після перетворення маємо:

$$а) g \geq f \omega^2 R$$

$$б) g \geq \left(\frac{\sin \alpha + f \cos \alpha}{\cos \alpha - f \sin \alpha} \right) \omega^2 R$$

$$в) g \geq \left(\frac{f \cos \alpha - \sin \alpha}{\cos \alpha + f \sin \alpha} \right) \omega^2 R$$

Позначимо вираз, що стоїть в дужках через $f_{\text{ум}}$ – умовний коефіцієнт тертя, розрахуємо його чисельне значення при різних кутах α з врахуванням прийнятого значення коефіцієнта тертя $f = 0,5$.

Як видно із таблиці 3.1 із збільшенням конусності ротора з нижнім розміщенням вершини конуса, умовний коефіцієнт тертя $f_{ум}$ зростає і завжди більший $f = 0,5$, тому можливо деяке переміщення частинок ґрунту ввєрх по стійці ножа, а отже залипання.

Таблиця 3.1.

Розрахункові значення $f_{ум}$ в залежності від величини кута α нахилу конуса

Ротор	Величина кута α , град			
	10	20	30	40
Конічний з нижнім розташуванням вершини конуса	0,62	1,06	1,51	2,31
Конічний з верхнім розташуванням вершини конуса	0,3	0,12	-0,06	-0,24

Для ротора з верхнім розміщенням вершини конуса $f_{ум}$ стає від'ємним при куті α , який перевищує кут тертя $\varphi_{ТР}$ (при $f=0,5$; $\varphi_{ТР} = 26^\circ$). При таких умовах дія відцентрової сили зумовлюватиме значне розкидання ґрунту.

Доцільною формою вертикальної фрези для обробітку міжстовбурних смуг являється циліндричний ротор.

Найбільш якісне підрізання бур'янів забезпечує L -подібний ніж фрези. Такий ніж встановлюють на ротор фрези відігнутою частиною до середини осі обертання, або назовні. Очевидно, що при заданій ширині захвату радіус ротора буде більший на її довжину в порівнянні з L -подібним ножем вигнутим назовні. Враховуючи, що відцентрова сила зростає із збільшенням радіуса L -подібні ножі слід встановлювати відігнутою частиною назовні [13].

3.4. Розрахунок основних параметрів і режимів роботи

Фреза призначена для обробітку ґрунту у прикущових смугах ягідників з шириною міжрядь від 1,7 до 2,5 м. і відстанню між кущами 0,3 – 0,5 м при паросидеральному утриманню міжрядь

Враховуючи характер розподілу коренів кущових ягідників, на сучасному етапі в господарствах переходять до диференціації ширини захисної зони, у міру зростання плантації. За трирічного віку рослин слід проводити обробку не

ближче ніж за 0,4...0,45 м від основи куша, 0,6...0,65 м - за п'ятирічного віку і 0,95...1,0 м - на дев'ятирічній плантації, на глибину 0,08...0,1 м, поступово збільшуючи її до 0,2...0,22 м до середини міжряддя [12].

Відстань від нижньої гілки до поверхні ґрунту повинна бути не менше 0,5 метра. Висота рослинного покриву не більше 0,25 метра, вологість верхнього шару ґрунту на глибину 0-15 см не повинна бути вищою 25%. В зоні роботи фрези не повинно бути сторонніх предметів. Відхилення кщів у рядку від осі ряду не повинно перевищувати ± 10 см.

За способом приводу робочих органів, фреза відноситься до тієї групи машин, у яких привод здійснюється як від валу відбору потужності трактора (ВВП так і від гідромотору.

Ширина пристовбурної смуги, яку потрібно обробити з боку одного напівряду фрезою, становить не більше 0,6 м. За один прохід фреза повинна обробити половину ширини пристовбурної смуги. Тому, враховуючи перекриття суміжних проходів, приймаємо робочу ширину захвату $B = 0,6$ м, а ширина захвату одного ротора $e = 0,3$ м.

Враховуючи якість виконання технологічного процесу діапазону швидкостей роботи фрези, приймаємо в межах $V_a = 3..5$ км/год.

Обробітку ґрунту на глибину $h = 5...10$ см.

Опір ґрунту $p = 50...100$ кН/м².

Діаметр ротора. В попередньому розділі нами обґрунтована доцільність застосування одного ротора, тобто фреза однороторна. Щодо затрат енергії, то вона залежить від загальної ширини захвату.

Діаметр ротора D вибирається з умови обробітку ґрунту у при кущовій смугі за оди прохід.

Отже

$$D = \frac{B}{n} + e$$

де B – ширина прикущової смуги, м;

n – кількість роторів;

e – величина перекриття при зворотньому проходженні, м.

Рекомендована величина перекриття до 0,05 м.

Підставивши у формулу (4.1) відповідні значення, одержуємо:

$$D = \frac{0,3}{1} + 0,05 = 0,305 \text{ м.}$$

Діаметр ротора - 305 мм

Кількість ножів на одному диску. У відомих конструкціях фрез з вертикальною віссю обертання на одному роторі встановлюють від двох до трьох ножів.

Один робочий орган встановлювати не можна через те, що в такому випадку для отримання якісних показників необхідно забезпечити більшу частоту обертання при незбалансованому роторі що дуже малу швидкість переміщення агрегату.

Основним критерієм при виборі числа ножів в одній площині є повний обробіток площі носками Г-подібних ножів у середині петлі (рис. 3.5). З таких міркувань вибирають кількість ножів тоді, коли відомі поступальна швидкість фрези, частота обертання ротора, відстань ножів від центру обертання.

У такому випадку знаходять ту кількість ножів, яка б забезпечила таку подачу на ніж при якій площа у середині петлі повністю оброблялася б носком ножа. Тобто подача на ніж має бути меншою або рівною довжині носка. Якщо ґрунт не дуже ущільнений, допускається варіант, при якому величина подачі на ніж більша за довжину носка. Це пояснюється тим, що ґрунт буде руйнуватися хвилиною деформації, яка поширюється в зоні руху ножа.

Кількістю ножів задаються. Тому приймаємо кількість ножів $k = 2$ [19]:

Після цього задаються орієнтовним значенням кінематичного параметра λ і знаходять довжину носка ножа l_n . Далі знаходять подачу на ніж s_0 і порівнюють її з довжиною носка. При необхідності збільшують значення кінематичного параметра.

Знаючи кінематичний параметр λ , поступальну швидкість руху v_n та відстань ножів до осі обертання, знаходять необхідну частоту обертання ротора.

Кінематичний режим роботи фрези. Щоб знайти умову, яка відповідає роботі ротора без пропусків, визначають кінематичний параметр λ , при якому траєкторії сусідніх ножів торкаються. Приймаємо кінематичний параметр $\lambda = 2,0$.

Довжина носка ножа l_n повинна бути такою, щоб обробляти простір усередині петлі. Підставивши у формулу відповідні значення, одержуємо:

$$l_i = r - \frac{r}{\lambda},$$

де r – відстань ножа від центра обертання, м;

λ – кінематичний параметр;

$$l_n = 0,2 - \frac{0,2}{2,0} = 0,1\text{ м}.$$

При цьому подача на ніж становить

$$s_0 = \frac{2\pi r}{k\lambda} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,2}{4 \cdot 2,0} = 0,157\text{ м},$$

де s_0 – подача на один ніж, м;

r – відстань ножа від центра обертання, м;

λ – кінематичний параметр;

k – число ножів на робочому органі.

Порівнявши s_0 з l_n , знайдемо, що ширина необробленої ділянки становить 0,0057 м.

В дійсності ця смужка ґрунту буде руйнуватися хвилею деформації, але поступальна швидкість не є постійною величиною і може настати такий момент, коли швидкість збільшиться, а кінематичний параметр зменшиться. Це, а також інші фактори, можуть призвести до того, що ґрунт у необробленій ділянці не буде руйнуватись. Тому доцільніше прийняти більше значення кінематичного параметра λ . Приймаємо:

$$\lambda = 2,1.$$

Знаходимо потрібну довжину носка:

$$l_n = 0,2 - \frac{0,2}{2,1} = 0,105 \text{ м}.$$

При цьому подача на ніж становить

$$s_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,2}{4 \cdot 2,1} = 0,150 \text{ і}.$$

Порівнявши s_0 з l_n , знайдемо, що необроблених ділянок немає.

Таким чином, для виключення пропусків ротор з $r = 0,2 \text{ м}$ і $k = 4$ повинен працювати при $\lambda \geq 2,1$. Довжину l_n носка ножа в цьому випадку можна не збільшувати, оскільки при виникненні необробленої ділянки ґрунту у середині петлі, ґрунт буде руйнуватися хвилиною деформації, яка поширюється в зоні руху ножа.

Отже, остаточно приймаємо:

$$\lambda = 2,1;$$

$$l_n = 0,100 \text{ м}.$$

Швидкість різання та частота обертання фрезерного барабана.

Припускаючи, що агрегат працює з поступальною швидкістю $v_n = 1 \text{ м/с}$, знайдемо необхідну частоту обертання ротора.

Підставивши у формулу відповідні значення, одержуємо:

$$\omega = \frac{V_n \cdot \lambda}{r}$$

$$\omega = \frac{1 \cdot 2,1}{0,2} = 10,5 \text{ с}^{-1}$$

або, знаходимо частоту обертання фрезерного барабана n :

$$n = \frac{30 \cdot 10,5}{3,14} = 1010 \text{ об/хв}$$

Колову швидкість ножів ротора можна знайти за формулою:

$$v_k = r\omega,$$

де v_k – колову швидкість ножів ротора, м/с;

r – відстань ножа від центра обертання, м;

ω – кутова швидкість обертання ротора, с^{-1} .

Підставивши у формулу (4.5) відповідні значення, одержимо:

$$v_k = 0,2 \cdot 10,5 = 2,1 \text{ м/с}.$$

4. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1. Програма досліджень

Обробіток ґрунту методом фрезерування забезпечує інтенсивне подрібнення, перемішування, розпушування оброблюваного шару та знищення бур'янів. Основним робочим органом фрези для роботи в при кущових смугах ягідників є ротор з вертикальною віссю обертання, до якого прикріплені ножі. Ротор обертається в протилежному напрямі до поступального руху фрези. Ножі фрези заглиблюються в ґрунт, відриваючи невеликі його часточки (від 1 до 5 см), які відкидаються з ротора і подрібнюються.

Для виконання експериментальні дослідження необхідно вирішити наступні проблеми:

1. З метою обґрунтування оптимальної величини кута установки вертикальної частини ножів фрези та раціональної швидкості різання, проведемо дослідження.
2. Знайдемо елементів циклу фрези в процесі заходження в зону при кущових зон ягідників
3. Визначення показників якості роботи фрези в умовах садівництва.

4.2. Методи експериментальних досліджень

В основу методики експериментальних досліджень покладено галузевий стандарт ДСТУ 70.4.9-94 „Машини і знаряддя для обробітку ґрунту в садах і виноградниках. Програма і методи досліджень” [32]. Оскільки цей стандарт розроблений в основному для випробувань, при дослідженні окремих питань застосовувались спеціальні методики. 63 Ґрунтові умови в процесі досліджень фіксувались за стандартною методикою ДСТУ 70.2.15-94 [33], згідно якої вологість ґрунту визначалась методом висушування проб до постійної ваги при температурі 105°C; твердість – методом вдавлювання каліброваного штампа статичною дією, агрегатний склад ґрунту – методом ситового аналізу.

Агротехнічна оцінка якості роботи експериментального фрезерного робочого органа проводилась за ДСТУ 70.4.9-95.

Економічну ефективність обґрунтованої за результатами досліджень фрези розраховано за стандартною методикою ДСТУ 3974-2000 [38].

Агровимоги на умови роботи

Фрезу використовували на важких ґрунтах після збирання різних просапних культур на рівних ділянках і схилах до 8° за вологості до 23% і твердості ґрунту до 6 МПа. На поверхні поля допускається наявність пожнивних залишків просапних культур висотою не більше 20 см.

Показники якості: повинно забезпечуватись рівномірне кришіння верхнього шару ґрунту на глибину від 6 до 8 см та суцільне розпушення нижнього шару на глибину до 16 см; має забезпечуватись у шарі від 0 до 8 см кришення ґрунту з переважною кількістю грудок розміром до 25 мм, грудки розміром менше 1 мм не допускаються; у розпушеному нижньому шарі грудок до 5 см повинно бути не менше 50%, а грудок розміром від 10 до 15 см – не більше 10%. У шарі від 0 до 16 см повинно забезпечуватись повне підрізання бур'янів; має дотримуватись щільність верхнього шару від 0,8 до 0,95 г/см³ та нижнього – від 1,0 до 1,2 г/см³; вміст ерозійнонебезпечних частинок розміром менш як 1 мм у шарі від 0 до 5 см не повинен збільшуватись; якість подрібнення рослинних залишків має забезпечувати нормальну сівбу (вміст частинок розміром понад 12 см – не більше 30%, рівномірний розподіл їх по поверхні); висота гребенів після проходу – близько 2 см.

Проводили повнофакторний експеримент, для точнішого результату при трьох рівнях перемінних (швидкість різання та кут установки стійок ножів) у трикратній повторності [34, 35].

Матрицю наведено в таблиці 4.1.

Для проведення експериментальних досліджень роботи фрези з вертикальною віссю обертання розроблено та виготовлено макетний зразок фрези (рис. 3.2), схему якої наведено в п.2.2.1 на рис. 2.10. Фреза монтується на шасі Т-16М і призначена для обробітку прикущових смуг ягідників, молодих і

плодоносних садів інтенсивного типу із загущеною системою посадки. Фреза агрегується з самохідним шасі Т-16М і розміщена збоку від нього в зоні, яка добре оглядається трактористом. Макетний зразок фрези (рис. 4.1) має начіпну раму 7, яка кріпиться за допомогою болтів до двох поздовжніх труб рами шасі. Робочий орган фрези – ротор з вертикальною віссю, що складається з диска, по периферії якого встановлено чотири L-подібних ножі. Ротор змонтовано на нижньому кінці веденого вала ланцюгового редуктора з фрезерного культиватора, який обертається за допомогою гідроциліндра 14 навколо вісі ведучого вала при проході фрези біля стовбура дерева. На рамі встановлено привідний конічний редуктор 7, вертикальний вал якого зв'язаний з ведучим валом секції 13. Вихідний вал редуктора з'єднаний з валом відбору потужності шасі за допомогою двох карданних передач 6 з телескопічними валами і редуктора 3. Глибина обробітку змінюється за допомогою регульованої по висоті стійки опорної лижі 8. Боковий винос фрези відносно поздовжньої вісі шасі дорівнює 1400 мм. Для обробітку повновікових дерев конструкцією передбачено додатковий боковий виніс, рівний 0,50 м.

Таблиця 4.1

Матриця виконання досліджень

Фактори		Значення факторів для дослідів								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
X ₁ – кут встановлення ножів, β, град.	Кодовані	-1	+1	-1	+1	0	+1	-1	0	0
	натуральні	10	30	10	30	20	30	10	20	20
X ₂ – середня швидкість різання, V, м/с	кодовані	-1	-1	+1	+1	0	0	0	+1	-1
	натуральні	3,2	3,2	6,0	6,0	4,6	4,6	3,2	6,0	3,2

Гідросистема автоматичного керування фрезою складається з масляного насоса НШ-32 15, який приводиться в дію від ВВП за допомогою ланцюгової передачі, масляного бака 2, гнучких трубопроводів та гідрослідкуючого пристрою.

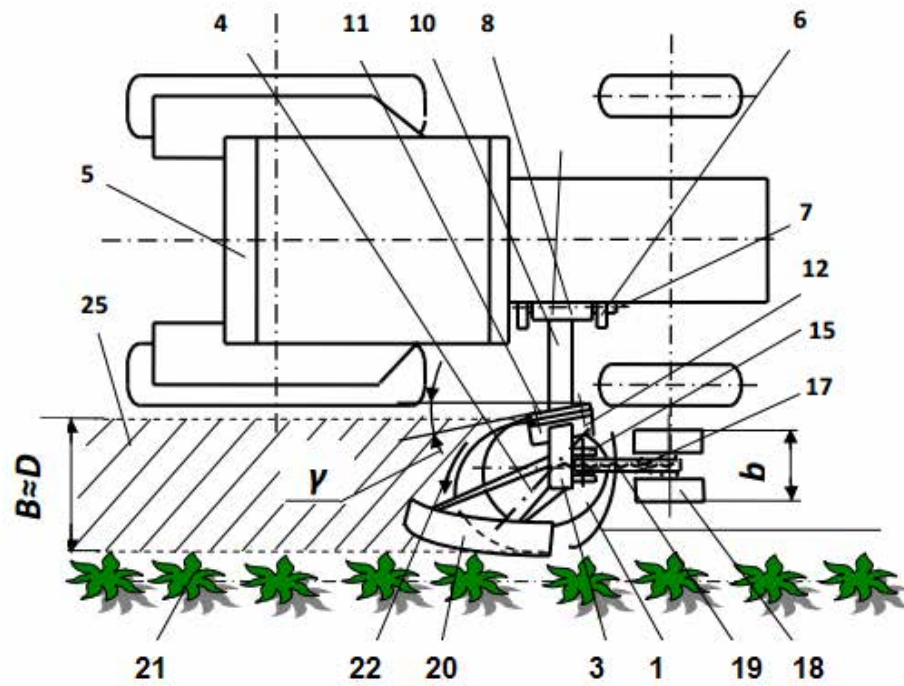


Рис. 4.1. Схема макетного зразка фрези з вертикальною віссю обертання для обробітку при кушових смуг в ягідниках

4.3. Результати досліджень енергетичних показників роботи фрези

Проводили досліди з обґрунтування кута встановлення вертикальної частини ножів фрези, а також статистичних характеристик умов роботи фрези.

Вплив кута встановлення вертикальної частини ножа фрези на енергетичні та якісні показники роботи.

Отримані значення критеріїв (потужність приводу, сила опору ґрунту переміщенню фрези та висота гребенів) при різних значеннях незалежних факторів (кут встановлення ножа β та швидкість різання (колова швидкість ножів) V_{ϕ} наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Експериментальні значення критеріїв в залежності від значень факторів

№ дослід у	Значення факторів				Значення критеріїв		
	β, град V _ф , м/с		β, град; V _ф , м/с		Потужність N, кВт	Сила опору P, Н	Висота гребенів h, мм
	Код	Натуральне значення	код	Натуральне значення			
		X ₁		X ₂	Y ₁	Y ₂	Y ₃
1.	-1	10	-1	3,2	3,8	25	57
2.	+1	30	-1	3,2	3,7	22	50
3.	-1	10	+1	6,0	10,5	56	120
4.	+1	30	+1	6,0	9,7	52	110
5.	-1	10	0	4,6	5,2	38	100
6.	+1	30	0	4,6	4,9	33	90
7.	0	20	-1	3,2	3,4	23	40
8.	0	20	+1	6,0	8,9	55	105
9.	0	20	0	4,6	4,6	35	80

В результаті обробки експериментальних даних отримано рівняння регресії (4.1) [13, 15], яке адекватно відображає залежність потужності на привід фрези Y₁ від кута X₁ установки ножа фрези та швидкості різання X₂:

$$Y = 15,478 - 0,229X_1 - 5,876X_2 + 0,007X_1X_2 - 0,013X_1^2X_2 + 0,901X_2^2 \quad (4.1)$$

У результаті коефіцієнтів регресії встановлено змінні величини X₁ та X₁·X₂ при рівні ймовірності 0,95 незначимі і їх можна з рівняння виключити. Після виключення цих членів та заміни символів (Y₁ = N X₁ = X₂ = V_ф ; β;) рівняння (4.1) прийме такий вигляд:

$$N = 15,48 - 5,88V_{\phi} + 0,007\beta^2 + 0,901V_{\phi}^2 \quad (4.2)$$

Відповідно рівнянню (4.2) на рис. 4.1 - 4.3 наведені графічні залежності потужності N від кута установки ножа фрези β та швидкості різання V_ф.

Аналізуючи графіки видно, що при збільшенні швидкості різання потужність істотно зростає. Наприклад, при β = 20 і V_ф = 3,5 м/с – N = 4 кВт, при V_ф = 6 м/с потужність збільшується до 8,5 кВт, тобто в 2,5 раза.

В залежності від кута β крива потужності (рис. 4.2) має явно виражений мінімум при $\beta = 20...22$. Після математичної обробки результатів експерименту щодо визначення сили опору переміщенню фрези отримано рівняння регресії, яке адекватно описує залежність сили опору переміщенню фрези Y_2 від кута X_1 установки вертикальної частини ножа та швидкості різання X_2 :

$$Y = 24,548 - 0,118X - 5X + 1,318e^{-16X} - 0,018X X + 1,786X \quad (4.3)$$

У результаті коефіцієнтів регресії встановлено, що при рівні ймовірності 0,95 значущими є змінні величини X_1 , X_2 та X_2^2 . З урахуванням цього, а також після заміни символів ($Y_2 = P$; $X_1 = \beta$; $X_2 = V_\phi$) рівняння регресії матиме вигляд:

$$2 P = 24,55 - 0,118\beta + 1,786V_\phi \quad (4.4)$$

Згідно рівнянню (4.4) на рис. 4.2 - 4.6 побудовані графічні залежності сили опору переміщенню фрези від зміни кута β установки вертикальної частини ножів фрези та швидкості різання V_ϕ

Відповідно графіків видно, що сила опору P в залежності від кута β змінюється неістотно (рис. 4.5), маючи тенденцію до зменшення при збільшенні кута β .

Збільшуючи величину швидкості різання сила опору зростає за закономірністю, близькій до залежності потужності від швидкості різання (рис. 4.2). Після математичної перетворень результатів експерименту щодо визначення висоти гребенів отримано рівняння регресії, яке адекватно описує залежність висоти гребенів Y_3 після проходження фрези від кута X_1 установки вертикальної частини ножів фрези та швидкості різання X_2

$$Y = -70,464 - 5,337X + 68,827X + 0,128X - 0,054X X - 4,932X \quad (4.5)$$

За результатами аналізу значущості коефіцієнтів регресії встановлено, що змінна величина $X_1 \cdot X_2$ при рівні ймовірності 0,95 незначима і її можна з рівняння виключити. Після виключення цього члена та заміни символів ($Y_3 = h$; $X_1 = \beta$; $X_2 = V_\phi$) рівняння (4.5) матиме такий вигляд:

$$h = -70,46 - 5,34\beta + 68,83V_\phi + 0,128\beta^2 - 4,932V_\phi^2 \quad (4.6)$$

Відповідно до рівняння (4.6) на рис. 4.3 - 4.4 наведені графічні залежності висоти гребенів від кута β установки ножів фрези та швидкості різання V_f

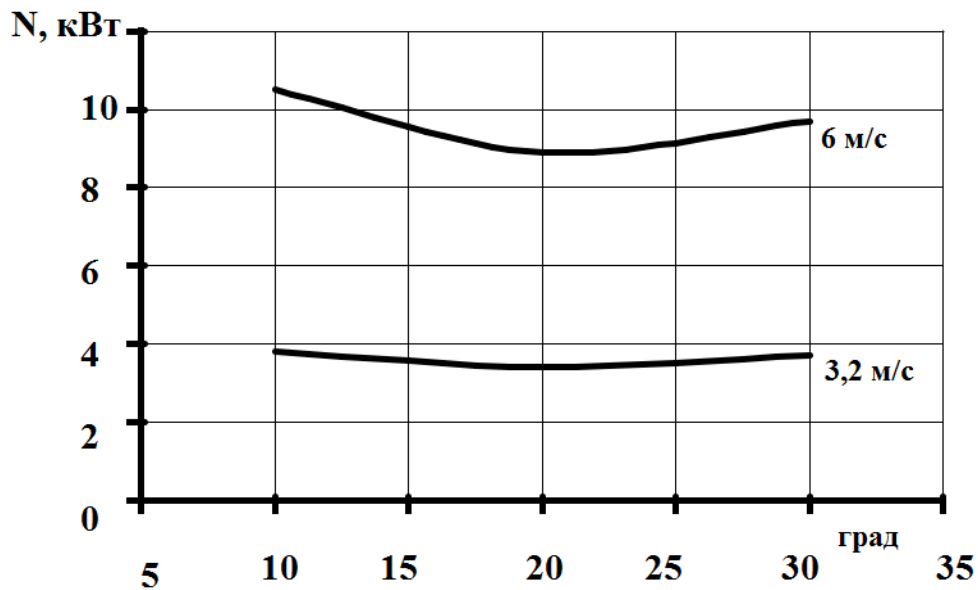


Рис. 4.2. Залежність потужності N на привід фрези від кута β установки вертикальної частини ножів при різних швидкостях

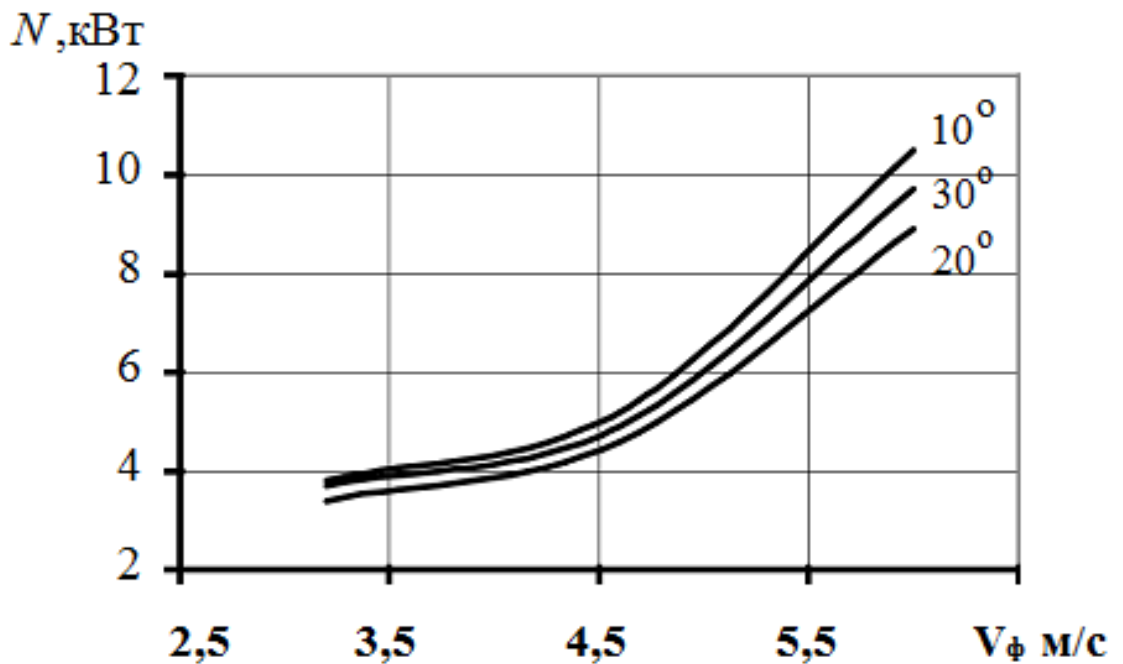


Рис. 4.3. Залежність потужності N на привід фрези від швидкості різання V_f при різних кутах

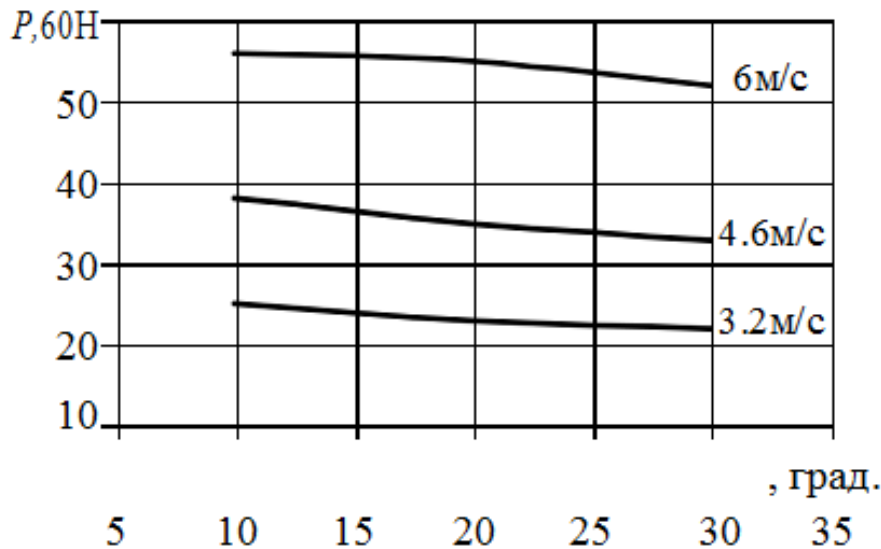


Рис. 4.4. Залежність сили опору P від кута установки вертикальної частини ножів фрези при різних швидкостях

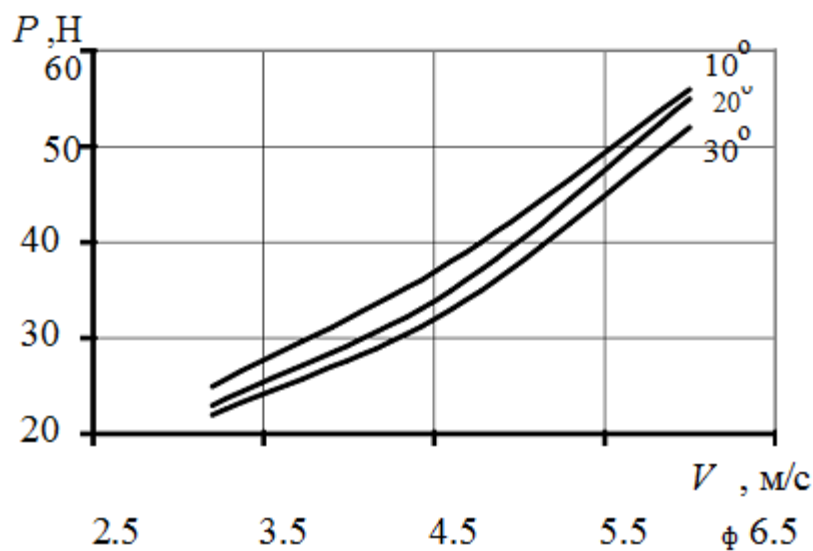


Рис. 4.5. Залежність сили опору P від швидкості різання V_{ϕ} при різних різання

4.4. Результати досліджень якісних показників роботи фрези

В попередніх розділах магістерської роботи встановлено, що для створення сприятливих умов розвитку кореневої системи ягідних культур слід створити дрібногрудкувату структуру ґрунту вільною від бур'янів.

Для створення оптимальних умов розвитку ягідних культур до робочих органів ґрунтообробних машин з вертикальною віссю обертання ставляться ряд агротехнічних вимог:

- упередження пошкодження кореневої системи ягідних культур;
- рівномірне та ефективне рихлення ґрунту з утворенням грудочок розміром не більше 2,5 см;
- руйнування ґрунтової кірки;
- ефективне видалення бур'янів;
- вирівнювання обробленої поверхні поля.

Із аналізу останніх закордонних та вітчизняних досліджень і публікацій відомо, що при вирощуванні та догляді за ягідними культурами доцільно застосовувати механічну обробку. Це забезпечує зменшення забур'яненості ягідників та їх враження хворобами, що підвищує їх врожайність. Але, для щорічного отримання оптимальних врожаїв ягід, слід, щоб умови докiлля відповідали біологічним вимогам.

Таким чином, пошук прийомів і робочих органів, направлених на знищення бур'янів і створення дрібно грудкуватої структури ґрунту є актуальним завданням [1–5].

Значний розвиток механізації догляду за ягідними культурами відзначається за кордоном. Там серійний випуск вертикально-ротаційних машин почався років 25...35 назад, що призначені для передпосівної обробки поля [6–12].

Такі машин виготовляють в Німеччині, Нідерландах, Італії, Франції, Швейцарії, Великобританії фірмами Лесі, Кюн, Рау, Кроне, Рабеверк, Еберхард, Амазоне, Ландеберг, Феррарі Матіо, Говард Ротаватор та їх дочірними фірмами. Аналіз літератури [13, 14] не виявив істотних відмінностей в конструкціях робочих органів культиваторів для міжрядної обробки ягідних культур. Оптимальні показники рихлення ґрунту досягаються з використанням вертикальнофрезерного культиватора для обробки ягідних культур, що підтверджується результатами досліджень ряду вчених [6, 13, 14].

Основні види механічних способів боротьби з бур'янами – це присипання бур'янів ґрунтом, їх підрізання та вичісування. Оптимальний

спосіб механічного знищення бур'янів передбачає порушення зв'язків кореневої системи з шарами ґрунту та внесення їх на поверхню поля.

Проведений аналіз переваг і недоліків відомих конструкцій робочих органів та вимог до якості обробки ґрунту при догляді за ягідними культурами та виконаний патентний пошук дозволив розробити технічне рішення вертикально-фрезерного культиватора та спосіб його використання, яке було подано в Національне патентне відомство для отримання правової охорони.

Мета роботи – це проведення досліджень впливу параметрів і режимів роботи фрезерного робочого органу культиватора на якість міжрядної обробки ягідних культур.

Аналіз відомих результатів досліджень встановив, що робочі органи для догляду за ягідними культурами характеризуються рядом конструкцій, які відрізняються за принципом роботи та будовою. Для обґрунтування розробленого робочого органу була проведена систематизація за основними критеріям виконання технологічного процесу та конструктивно-кінематичним особливостями.

Встановлено, що перспективним напрямком розвитку є культиватори з вертикально-фрезерними робочими органами. Однак, існуючі конструкції робочих органів мають ряд недоліків: недостатній рівень знищення бур'янів та низька надійність конструкції.

Ряд досліджень і практика показують, що істотний вплив на характер процесу обробки ґрунту мають: форма та геометричні розміри робочого органу, кінематичні особливості дії його на ґрунт, форма та параметри робочих елементів. Створення вертикального-фрезерного органу для догляду за ягідними культурами ґрунтується на загальних вимогах до конструкцій, тобто він повинен забезпечувати стійкий технологічний процес та мати просту та надійну конструкцію. Патентні дослідження показують, що за кордоном для механізації обробки ґрунту в ягідниках використовуються вертикально-фрезерні секції з тракторами та комбінацією просапного агрегату у вигляді мотоблока.

Конструкція культиватора визначається, в основному, агровимогами та умовами обробітку, а саме схемою посадки і реальний стан ділянки ягідника. Враховуються також показники енергоємності та металоємності машини.

Так як корені кущів розміщуються в орному горизонті, то при обробці відбувається витіснення ґрунту із центру міжряддя до основи кущів, що спричиняє можливе оголення коренів, і які наслідок їх висихання влітку і вимерзання взимку.

Для зменшення впливу визначених недоліків культиватор повинен мати два ротори з можливістю регулювання діаметрів та віддалі між вісями обертання роторів та глибиною виймання ножів в задній половині окружності.

Із аналізу кінематичних схем приводів вертикально-фрезерних культиваторів видно, що найбільш вдалою є схема з двома редукторами, повернутим один до одного вхідними валами. Виходячи із мінімальних енергетичних затрат вибираємо L-подібний ніж, а в якості опорного елемента стрілчасту лапу.

При взаємодії ротаційного органу з ґрунтом грудочки мають визначену абсолютну швидкість та напрямок її вектора. Оптимальним буде, коли кут напрям вектора швидкості складає до горизонту до 90° . У цьому разі дальність відкидання грудочок, а отже і ефективність руйнування зв'язків бур'яну з ґрунтом і винесення їх на поверхню поля буде максимальною.

Теоретичні дослідження показали, що рух ґрунту вздовж робочого органу є складним. Була складена математична модель системи – «ґрунт – робочий орган», розв'язок якої дав можливість спроектувати конструкцію ротаційного органу.

Згідно методики визначення оптимальних параметрів радіусу ротаційного органу та швидкості МТА в залежності від критерія ефективності був змодельований на комп'ютері процес взаємодії ротаційного органу з ґрунтом і визначені конструктивні параметри та число робочих елементів. Попередні пошукові експерименти виявили оптимальну конструкцію ротаційного органу. Для проведення досліджень при порівнянні способів

виймання ножів в задній половині окружності, яку вони описують у відносному русі, була виготовлена експериментальна установка. Установка включає раму з редуктором, на вихідному валу якого закріплений ротор. Два ножі закріплені в тримачах і через паралелограмний механізм з'єднуються з ротором.

Крутний момент передається від трактора на редуктор тензокарданом. Глибина занурення ножів регулюється опорними колесами, а кут нахилу вісі обертання ротора – розтяжкою. Дослідна установка має можливість працювати за наступних параметрів: при нахилі вісі обертання ротора по ходу руху агрегату на визначений кут; з вертикальною віссю обертання, без виймання ножів в задній половині окружності кола, яке описується ними в відносному русі; з плоскопаралельним зміщенням ножів. Для визначення показників був створений пристрій з тензометричною ланкою з передачею результатів безпосередньо в комп'ютер з наступною обробкою результатів. Методики досліджень розроблялись на основі нормативних документів. Дослідження проводились з використанням культиватора для обробки ґрунту в ягідниках з шириною міжрядь 1,5 м і 3,2 м.

Досліди виконувались в такій послідовності. Вибиралось міжряддя, одна із ділянок назначалась контрольною. На цій ділянці в трьох місцях визначався поперечний профіль поверхні міжряддя, а також твердість та вологість ґрунту. Початок і кінець досліджуваної ділянки відмічалась маячками. Після установки робочих органів перевірялась частота їх обертання. Далі робочий орган занурювався в ґрунт за 10...12 м до контрольної ділянки і агрегат починав рухатись. Дослідження проводились в таких умовах: міжряддя малини, смородини з густим бур'яном до 0,3 м; твердість ґрунту 1,65...2,5 МПа, відносна вологість – 15...35 %; поперечний профіль міжрядь – коритоподібний. Ступінь підрізання бур'янів визначалась візуально, а ступінь подрібнення ґрунту – ситовим аналізом. Ґрунт вибирався по ширині захвату на глибину обробки і на довжині 0,2 м (що відповідало одному обороту ротора) і розділялась на фракції: до 1 мм, 1...10 мм, 10...50 мм і більше 50 мм.

Згідно плану експерименту впливові фактори варіювались на рівнях: величина кута різання – 35° , 45° , 60° та швидкість різання – 0,44; 1,34; 1,73; 3,11 і 4,84 м/с.

Такий набір швидкостей руху відповідає основному діапазону реальних швидкостей різання, які характерні для ґрунтообробних машин активної та пасивної дії. Отримані результати досліджень оброблялись методом найменших квадратів з побудовою графічних та аналітичних залежностей.

Результати експериментальних досліджень

Комплексна перевірка якості роботи експериментального ротаційного органу проводилась дослідженням його агротехнічних показників. За результатами досліджень був побудований графік залежності зусилля від швидкості агрегату та кута різання ґрунту (рис. 4.6).

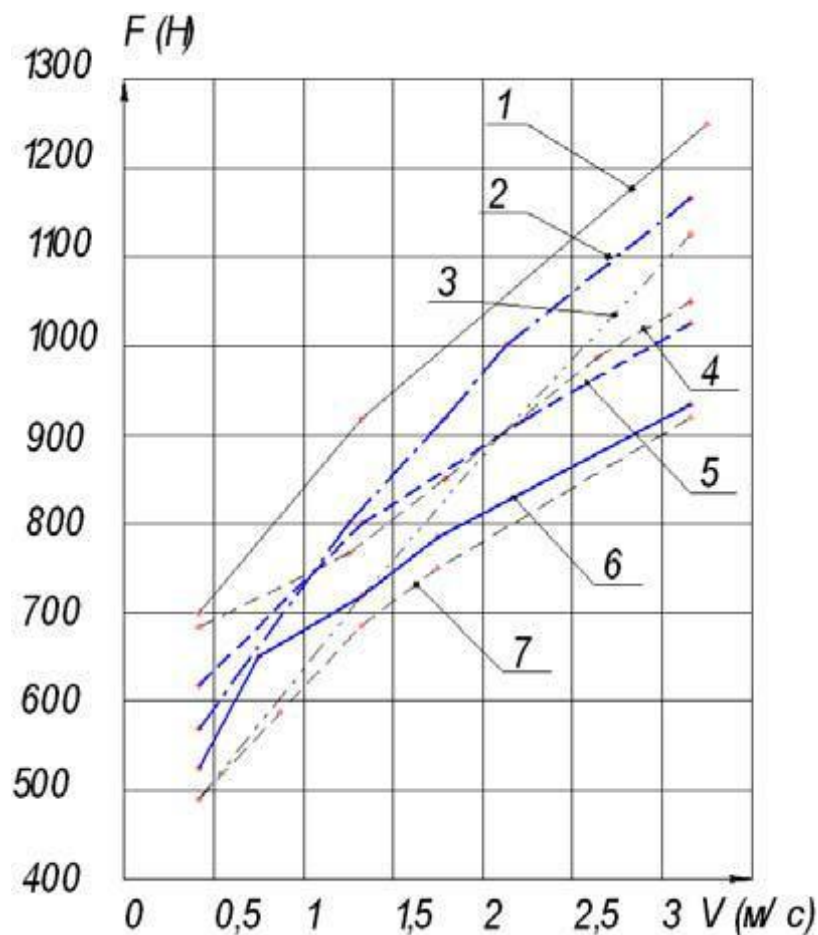


Рис. 4.6. Залежність зусилля різання F від швидкості V і кута різання $\gamma = 2$ – при $\gamma = 60^\circ$; 5 – при $\gamma = 45^\circ$; 6 – при $\gamma = 35^\circ$; 1, 3, 4 і 7 – межі інтервалів довіри

З рис. 4.6 видно, що зі швидкістю різання величина оптимального кута різання має деяку тенденцію до зменшення. Збільшення швидкості різання сприяє збільшенню сили опору на ніж, що сприяє розкиданню ґрунту.

При швидкості агрегату 3,11 м/с ґрунт деформувався і відкидався в сторону. Якість кришення при цьому була краще, чим при малих швидкостях різання. Оптимальний кут різання для умов міжрядної обробки ягідних культур знаходиться ближче до 45° .

Дослідження залежності якості обробки від способу виймання ножів показали, що спостерігається розкидання ґрунту в бік обертання ножів, при вийманні їх утворювалась виїмка, а при заглибленні – гребінь.

Для оцінки величини розкидання ґрунту досліджувався поперечний профіль поверхні міжряддя до і після проходу, потім видалявся рихлий ґрунт і аналізувався поперечний профіль дна борозни (рис. 4.7.).

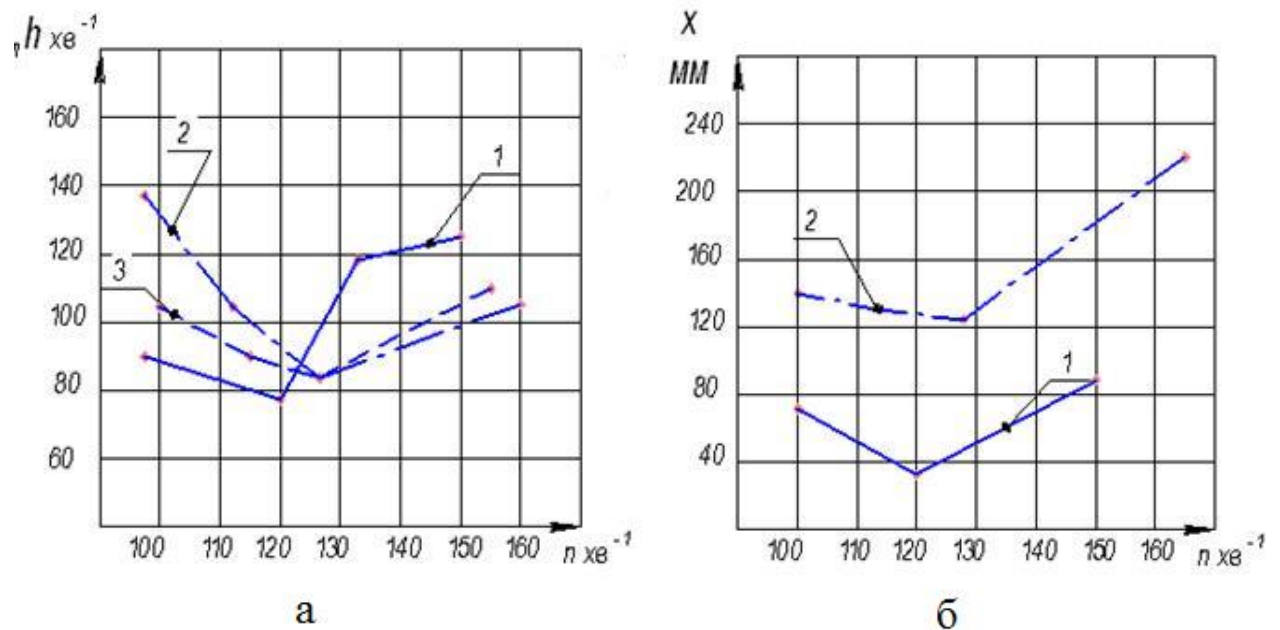


Рис. 4.7. Залежність мікрорельєфу та від частоти обертання ротора і способу заглиблення ножів:

а – зміни мікронерівностей h ;

б – зміщення центру тяжіння поперечного перерізу X обробленої слуги ґрунту: 1 – при обробці фрезою під нахилом вісі обертання;

2 – при обробці фрезою з плоско паралельним переміщенням ножів;

3 – при обробці фрезою з вертикальною віссю обертання.

Оцінка ступеню розкидання ґрунту проводилась на висоті мікронерівностей і величині бокового зміщення центра ваги поперечного перерізу обробленого пласта. Аналіз результатів показує, що спостерігається зменшення висоти мікронерівностей з ростом частоти обертання ротора до 140 хв-1. Подальший ріст частоти обертання ротора веде до збільшення висоти мікронерівностей. Це пояснюється тим, що при низькій частоті обертання ротора недостатня ступінь здрібнення ґрунту і наявність крупних грудок ґрунту погіршує стан мікрорельєфу. Зі збільшенням частоти обертання більше 140 хв-1 помітно збільшується розкидання ґрунту в сторону обертання ротора, що веде до збільшення глибини виямки в місцях заглиблення ножів та до росту висоти гребня в місцях їх виймання.

Виходячи із умов отримання вирівнювання поверхні встановлено, що на важких ґрунтах для досліджуваних робочих органів оптимальною є частота обертання ротора до 140 с⁻¹. Але, при збільшенні частоти обертання ротора спостерігався помітний ріст бокового зміщення центра ваги поперечного перерізу оброблюваної смуги ґрунту, причому більш інтенсивно у фрези з плоскопаралельним переміщенням ножів.

Показники бокового зміщення у фрези з нахиленою віссю обертання ротора приблизно в 2–3 рази менше, чим у фрези з плоскопаралельним переміщенням ножів. Відмітимо, що фреза з плоскопаралельним переміщенням ножів має більшу енергоємність, що пояснюється великими затратами енергії на розкидання ґрунту.

Встановлено, що по вирівнюванню поверхні та величині зміщення центра ваги поперечного перерізу обробленого пласта ґрунту оптимальним варіантом виконання фрези є ножевий ротор, який встановлюється з нахилом вперед по ходу агрегату. Повне підрізання бур'янів і достатню ступінь подрібнення ґрунту забезпечують ножі в обох випадках. Ситовий аналіз ґрунту показав, що при розмірі грудочок менше 1 мм складається фракція в 17,3 %, при 1...10 мм – 47,5 % при 10...50 мм – 28,3 %, більше 50 % – решта.

Але, наявність грудочок розміром більше 50 мм наголошує про те, що на важких ґрунтах краще було використовувати додатково каток.

Крім того, операція виймання ножів в задній половині окружності дозволяє зменшити величину захисних зон без ризику руйнування коренів культурних рослин – малини, смородини.

Під час рихлення ґрунту L-подібними ножами його об'єм збільшується в 1,35...1,65 рази при виставленій глибині обробки 0,12 м глибини обробленого шару досягає 0,2 м. При існуючій довжині стійки ножа проходить зависання бур'янів на тримачі і забивання ротора. Для попередження цього недоліку стійку збільшили на 0,12 м і загальна довжина L-подібного ножа приймається 0,27...0,32 м.

Встановлено, що зі збільшенням частоти обертання ротора спостерігається ріст крутного моменту і потужності на карданному валу. Найменш енергоємним виявився ротор з нахилом вісі обертання вперед. Запишемо емпіричну закономірність зміни величини крутного моменту для фрези з нахилом вісі обертання ротора:

$$M_{кр} = M_{max} \sin |\cos^k \varphi|,$$

де M_{max} – максимальне значення крутного моменту в даному циклі, Н · м ;

φ – кут повороту ротора, град.

Розрахунок коефіцієнта k здійснюється по середньому значенню кута φ тах ротора, при якому крутний момент приймає екстремальне значення:

$$k \operatorname{ctg} \varphi = \varphi.$$

Потрібна потужність для агрегування запропонованого культиватора визначається за формулою:

$$N_{np} = 0,5Nz$$

Для забезпечення працездатності і надійності запропонованої машини визначають розрахункову величину окружного зусилля на ножі:

$$P_p = \frac{M_{кр. max} i}{Rk}.$$

де i – передаточне відношення редуктора;

k – коефіцієнт, що враховує зменшення пікових навантажень після виключення частот другого порядку.

Для проведення виробничих досліджень були встановлені оптимальні режими роботи культиватора і проведений порівняльний аналіз якості обробленого ґрунту дисковою бороною. Виробничі випробування підтвердили результати теоретичних і експериментальних досліджень запропонованого культиватора з L-подібними ножами.

Висновки

1. Встановлено, що підвищення якості та зниження енергоємності технологічного процесу догляду за ягідними культурами досягається використанням фрезерного культиватора з робочими органами ротаційного типу.

2. Досліджено, що фрезерний культиватор повністю підрізає бур'яни, вичісує їх, вкладає на поверхню міжряддя, забезпечуючи мульчування і повторне приживання бур'янів, що не перевищує 5 %.

3. Підтверджено, що фрезерний культиватор не перевертає пласта ґрунту, а вирівнює поперечний профіль поверхні поля та забезпечує перепад висоти по ширині міжряддя на 4...5 см та залишаючи після проходу грудочок діаметром понад 50 мм до 5 %. Це сприяє збереженню вологи і зменшує вірогідність водної та вітрової ерозії.

3. При збільшенні швидкості різання фрези істотно зростають енерговитрати. Збільшуючи швидкості різання від 4,6 м/с до 6 м/с витрати потужності збільшились з 4,5 кВт до 9 кВт, тобто зросли в два рази.

4. Отримані оптимальні значення кута установки вертикальної частини ножів, яка становить 20...22°, що задовільно співпадає з теоретичними даними.

5. Роботу фрези з нахилом вісі обертання вперед найбільш повно задовольняє агровимогами до міжрядної обробки ягідних культур. Оптимальна довжина L-подібного ножа дорівнює 0,25...0,35 м.

5. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ФРЕЗИ

Економічну ефективність обґрунтованої за результатами досліджень фрези розраховано за стандартною методикою ДСТУ 3974-2000 [38].

В якості порівняння оцінку проводили за варіантами догляду за ґрунтом:

Варіант I (базовий) – обробіток міжрядь культиватором, прикущові смуги вручну. Склад агрегату:

1) Трактор Т– 25 А + культиватор КСМ-2,4

Варіант II (удосконалений) – обробіток міжрядь мульчувачем, прикущові смуги фрезою з вертикальною віссю обертання.

Склад агрегату: 1) Трактор Т– 25 А + мульчувач; 2) Трактор Т– 25 А + удосконалена фреза.

Таблиця 5.1.

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності фрези

Показники	Варіант I базовий		Варіант II удосконалений		
	Т-25	КСМ-2,4	Т-25	Мульчувач	Удосконалена фреза
Об'єм робіт, га	3		3		
Вартість, тис.грн.	127	64	127	66	32
Річне завантаження трактора, год.	1000	400	1000	600	400
Сумарні відрахування (амортизація, ТО, ремонт)%	18	12	18	12	12
Кількість обслуговуючого персоналу	1	-	1	-	-
Продуктивність за годину зміни, га:					
— по обробленій площі	-	0,4		0,1	0,8
— по площі саду	-	0,5		1,2	1,14
Заробітна плата, грн./год.	75	75	75	75	75

Розміри тарифних ставок для визначення витрати коштів на оплату праці брали відповідно діючим нормам у дослідному господарстві Інституту садівництва УААН. Змінна ставка тракториста 525 грн. Враховуючи різні надбавки, які становлять в середньому 20 % від прямої заробітної плати, при розрахунку витрат на заробітну плату будуть збільшені

Змінна норма виробітку при ручному обробітку міжстовбурних смуг – 0,04 га по чистій площі, а за годину змінного часу (при тривалості зміни 7 год.) – 0,0058 га. Ціну пального приймали 40 грн/кг.

Розрахунок експлуатаційних витрат проводять за формулою:

$$U = Z + A + P_{кр} + P_{пр} + \Gamma + I, \quad (5.1)$$

де A – затрати на реновацію, грн/га;

Z – заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн/га;

$P_{кр}$ – затрати на капітальний ремонт, грн/га;

$P_{пр}$ – затрати на поточний ремонт, грн/га;

Γ – затрати на паливо-мастильні матеріали, грн/га;

I – інші витрати, грн/га.

Заробітна плата визначається за формулою:

$$Z = \frac{L \cdot Z_2}{W_2},$$

де L – кількість обслуговуючого персоналу;

Z_2 – годинна ставка обслуговуючого персоналу, грн/год;

W_2 – годинна продуктивність машини, га/год.

Відрахування на реновацію підраховуються за формулою:

$$A = \frac{B \cdot a}{T \cdot W_2},$$

де B – балансова вартість машини, грн;

a – коефіцієнт відрахувань на реновацію;

T – річне завантаження машини, год.

Годинну продуктивність знаходимо за формулою:

$$W_{21} = 0,1V_p B_p \tau \psi,$$

де W_{z1} – годинна продуктивність розроблюваної фрези, га/год;

V_p – робоча швидкість руху, км/год;

B_p – робоча ширина захвату, м;

τ – коефіцієнт використання часу зміни;

ψ – коефіцієнт, який дорівнює відношенню ширини міжрядь саду до ширини оброблюваної пристовбурної смуги.

Робоча швидкість руху знаходять за формулою:

$$V_p = V_m \eta_\delta,$$

де V_m – теоретична швидкість руху, км/год;

η_δ – коефіцієнт, який враховує втрати на буксування.

Теоретична швидкість руху на другій передачі, відповідно до технічної характеристики трактора Т-25, становить 4,39 км/год.

Коефіцієнт η_δ визначається за формулою:

$$\eta_\delta = 1 - \delta,$$

де δ – допустимі втрати на буксування.

Для тракторів з колісною формулою 4к2 $\delta = 0,18$.

Підставивши у формулу (5.5) відповідні значення, одержимо:

$$\eta_\delta = 1 - 0,18 = 0,82.$$

За формулою (6.4) знаходимо робочу швидкість руху агрегату:

$$V_p = 4,39 \cdot 0,82 = 3,6 \text{ км/год}.$$

Робоча ширина захвату фрези становить 0,30 м.

Коефіцієнт використання часу зміни τ приймаємо 0,85.

Для ширини міжрядь 6 м $\psi = 4$.

Підставивши у формулу (5.3) відповідні значення, одержимо продуктивність роботи культиватора

$$W_{z1} = 0,1 \cdot 6,0 \cdot 2,4 \cdot 0,85 = 1,22 \text{ га/год}$$

Продуктивність мульчувала

$$W_{z1} = 0,1 \cdot 8,0 \cdot 2,4 \cdot 0,85 = 1,62 \text{ га/год}$$

Продуктивність нової фрези

$$W_{z1} = 0,1 \cdot 4,2 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 4 = 1,14 \text{га} / \text{год}$$

Розрахунок витрат на заробітну плату

Варіант I

Підставляємо у формулу (5.2) відповідні значення і одержуємо заробітну плату при обробітку міжрядь в ягідниках культиватором:

$$z_1 = \frac{1 \cdot 75,0}{1,22} = 61,5 \text{грн} / \text{га}.$$

Заробітна плата робітників при обробітку при кущових смуг вручну

$$z_2 = \frac{5 \cdot 35,0}{1,22} = 143,4 \text{грн} / \text{га}$$

Варіант II

Значення заробітної плати при мульчуванні міжрядь

$$z_1 = \frac{1 \cdot 75,0}{1,2} = 62,5 \text{грн} / \text{га}.$$

Значення заробітної плати при обробітку при кущових зон фрезою

$$z_2 = \frac{1 \cdot 75,0}{1,14} = 65,8 \text{грн} / \text{га}$$

Відрахування на реновацію підраховуються за формулою:

$$A = \frac{B \cdot a}{T \cdot W_z},$$

де B – балансова вартість машини, грн;

a – коефіцієнт відрахувань на реновацію;

T – річне завантаження машини, год.

Підставивши відповідні значення з таблиці у формулу (5.6), одержимо:

- для культиватора КСМ – 2,4

$$A_1 = \frac{64000 \cdot 0,142}{400 \cdot 1,14} = 23,85 \text{грн} / \text{га};$$

- для мульчувача:

$$A_2 = \frac{66000 \cdot 0,142}{400 \cdot 0,92} = 25,3 \text{грн} / \text{га}.$$

- для фрези:

$$A_2 = \frac{326000 \cdot 0,142}{400 \cdot 0,92} = 14,3 \text{ грн / га}$$

- для трактора Т-25

$$A_2 = \frac{127000 \cdot 0,142}{400 \cdot 0,92} = 52,4 \text{ грн / га}$$

Відрахування на поточний та капітальний ремонт знаходять за формулою:

$$P = \frac{B \cdot (p_{np} + p_{кр})}{T \cdot W_z},$$

де p_{np} і $p_{кр}$ – коефіцієнт відрахувань, відповідно, на поточний та капітальний ремонт.

Підставивши відповідні значення з таблиці у формулу (5.7), одержимо:

- для культиватора КСМ – 2,4:

$$P_1 = \frac{64000 \cdot 0,12}{400 \cdot 1,14} = 16,8 \text{ грн / га}$$

- для мульчувача:

$$P_1 = \frac{62000 \cdot 0,12}{400 \cdot 1,14} = 14,8 \text{ грн / га}$$

- для фрези:

$$P_1 = \frac{32000 \cdot 0,12}{400 \cdot 1,14} = 8,6 \text{ грн / га};$$

для трактора Т-25, який працює з розроблюваною фрезою:

$$P_{1T-25} = \frac{127000 \cdot 0,22}{400 \cdot 1,14} = 62,3 \text{ грн / га};$$

Сумарні відрахування на поточний та капітальний ремонт - Варіант I:

$$P = 62,3 + 16,8 = 80,9 \text{ грн / га};$$

Сумарні відрахування на поточний та капітальний ремонт - Варіант II:

$$P = 62,3 + 14,8 + 8,6 = 85,7 \text{ грн / га}.$$

Витрати на паливно-мастильні матеріали підраховуються за формулою:

$$Г = g \cdot Ц,$$

де g – витрати ПММ на 1 га, кг/га;

C – ціна 1 кг ПММ, грн/кг.

Середня ціна за 1 кг ПММ становить 40 грн/кг.

Підставивши відповідні значення у формулу (5.8), одержимо:

- для культиватора

$$\Gamma = 7,0 \cdot 40 = 280 \text{ грн / га}$$

- для мульчувача:

$$\Gamma = 5,0 \cdot 40 = 200 \text{ грн / га};$$

- для фрези ФА-0,76:

$$\Gamma = 1,10 \cdot 40 = 44 \text{ грн / га} .$$

Приймаємо, що інші витрати I дорівнюють нулю.

Знаходимо експлуатаційні витрати за формулою (5.2):

Варіант I:

$$U_1 = 204,9 + 160,4 + 80,9 + 280 = 726,2 \text{ грн / га};$$

Варіант II:

$$U_2 = 128,3 + 92,0 + 85,7 + 244,0 = 550,0 \text{ грн / га} .$$

Приведені витрати розраховуються за формулою:

$$\Pi = U + K_{нк} \cdot E_n ,$$

де U – питомі витрати, грн/га;

$K_{нк}$ – питомі капіталовкладення, грн/га;

E_n – коефіцієнт ефективності.

Питомі капіталовкладення розраховуються за формулою:

$$K_{нк} = \frac{B}{T \cdot W_z} ,$$

Підставивши відповідні значення з таблиці 5.1 у формулу (5.10), одержимо:

За варіантом I:

$$K_{нк1} = \frac{191000}{400 \cdot 1,14} = 418,8 \text{ грн / га};$$

За варіантом II:

$$K_{нк2} = \frac{225000}{400 \cdot 0,92} = 611,4 \text{ грн/га}.$$

Коефіцієнт ефективності дорівнює 0,15.

Підставивши у формулу (5.9) відповідні значення, одержимо:

За варіантом I:

$$\Pi_1 = 726,2 + 418,8 \cdot 0,15 = 789,02 \text{ грн/га};$$

За варіантом II:

$$\Pi_2 = 550,0 + 611,4 \cdot 0,15 = 641,71 \text{ грн/га}.$$

Річний економічний ефект розраховується за формулою:

$$E_p = (\Pi_1 - \Pi_2),$$

Підставивши у формулу (5.11) відповідні значення, одержимо:

$$E_p = (789,02 - 641,71) = 147,31 \text{ грн}.$$

Результати підрахунків були занесені в таблицю 5.2.

Таблиці 5.2.

Показники економічної ефективності

Показники	Варіант I базовий	Варіант II удосконалений
Витрати на заробітну плату, грн/га	204,9	128,3
Капітальні вкладення, грн/га	191	225
Витрати палива, грн/га	280	244
Експлуатаційні витрати, грн/га	726,2	550,0
Питомі капіталовкладення	418,8	611,4
Річний економічний ефект, грн/га	—	641,1

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що підвищення якості та зниження енергоємності технологічного процесу догляду за ягідними культурами досягається використанням фрезерного культиватора з робочими органами ротаційного типу.

2. Для розпушування ґрунту і підрізання бур'янів у прикущових зонах ягідників і пристовбурних смугах молодих садів краще використовувати фрези з вертикальною або похилою віссю обертання.

3. Досліджено, що фрезерний культиватор повністю підрізає бур'яни, вичісує їх, вкладає на поверхню міжряддя, забезпечуючи мульчування і повторне приживання бур'янів, що не перевищує 5 %.

4. Підтверджено, що фрезерний культиватор не перевертає пласта ґрунту, а вирівнює поперечний профіль поверхні поля та забезпечує перепад висоти по ширині міжряддя на 4...5 см та залишаючи після проходу грудочок діаметром понад 50 мм до 5 %. Це сприяє збереженню вологи і зменшує вірогідність водної та вітрової ерозії.

5. Роботу культиватора з фрезою з нахилом вісі обертання вперед найбільш повно задовольняє агрономічними до міжрядної обробки ягідних культур. Оптимальна довжина L-подібного ножа дорівнює 0,25...0,35 м.

6. При збільшенні швидкості різання фрези істотно зростають енерговитрати. Збільшуючи швидкості різання від 4,6 м/с до 6 м/с витрати потужності збільшились з 4,5 кВт до 9 кВт, тобто зросли в два рази.

7. Описані переваги використання фрезерного культиватора сприяють збереженню і збільшенню гумусу у верхніх шарах ґрунту та вирішують частково екологічну і соціальну проблему.

8. Річний економічний ефект від застосування фрези з вертикальною віссю обертання складає 641,1 грн/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підручник / Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, В.М. Барановський та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – 2-ге вид., перероб. та допов. – К.: Науково-методичний центр ВФПО, 2019. – 508 с.
2. Сільськогосподарські машини: підручник / Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, В.В. Іщенко та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. — К.:«Агроосвіта», 2015. — 679 с.
3. Бублик М.О. Методологічні та технологічні основи підвищення продуктивності сучасного садівництва / М.О. Бублик. – К.: Нора-Друк, 2005. – 288 с.
4. Проектування сільськогосподарських машин: навч.-метод. посіб. для виконання курсових проектів з розробки сільськогосподарської техніки при підготовці фахівців напряму 6.100202 «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» / І.М. Бендера, А.В. Рудь, Я.В. Козій [та ін.]; [За ред. І.М. Бендери, А.В. Рудя, Я.В. Козія]. – Кам'янець-Подільський: 2011. – 640 с.
5. Фрезерні ґрунтообробні машини. – К.: Урожай, 1985, – 325ст.
6. Бабій П. Т. Визначення параметрів фрези з вертикальною віссю обертання. – Зб.: Механізація і електрифікація сільського господарства, вип. 12. – К.: Урожай, 1969.
7. М.І.Розум. До визначення кута встановлення ножів фрези з вертикальною віссю обертання. – Зб.: Садівництво, вип 21. – К.: Урожай, 1974.
8. Мартишко В. М, Шатров Р. В. Обґрунтування деяких параметрів вертикального ротора фрези для обробітку ґрунту в між стовбурній смузі саду. – Зб.: Збірник наукових праць НАУ, том VI. – К.: НАУ, 2000.
9. Мартишко В. М, Шатров Р. В., Бабій В. П. Результати досліджень фрези з вертикальною віссю обертання. – Зб.: Збірник наукових праць НАУ, том V. – К.: НАУ, 1999.
- 10.Кравчук В.І, Грицишин М.І, Коваль С.М., Сучасні тенденції розвитку

- конструкцій сільськогосподарської техніки. – К.:Аграрна наука., 2004.
11. Сисолін П.В, Сало В.М, Кропівний В.М., Сільськогосподарські машини:теоретичні основи, конструкція, проектування. – К:Урожай, 2001.
 12. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин: У 2 т. – Т. 1 (частина 1). Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. – Харків: ОКО, 2001. – 443 с.
 13. Войтюк Д.Г., Теслюк В.В., Волянський М.С., Мартишко В.М. Дипломне проектування з сільськогосподарських машин. – Київ: ЦП «КОМПРІНТ», 2017. – 73с.
 14. Войтюк Д.Г., Яцун С.С., Довжик М.Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку. Навчальний посібник / за ред. Д.Г. Войтюка. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2008.- 543 с.
 15. Дацюк Л.М., Хайліс Г.А., Юхимчук С.Ф. Механізація комбайнового і роздільного способів збирання льону: монографія. – Луцьк: ЛНТУ, 2012. – 168 с.
 16. Дипломне проектування у вищих навчальних закладах Мінагрополітики України: Навчально-методичний посібник / За ред. Т.Д. Іщенко, І.М. Бендери. – К.; Аграрна освіта, 2006. – 256 с.
 17. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. – Х.: Око, 2001. – Т.1. – Ч.1: Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. – 444 с.
 18. Машиновикористання у рослинництві. Навч. посіб. / А.Д. Гарькавий, Л.П. Середа, В.А. Пльонсак та ін. – ВДАУ, НАУ, 2008. – 70 с.
 19. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Підручник / Д.Г. Войтюк, С.С. Яцун, М.Я. Довжик та ін.; За ред. С.С. Яцуна. – 2-е вид., переробл. і доп. – Суми: «Сумський національний аграрний університет», 2011. – 444 с.
 20. Панченко А. Н. Теорія і розрахунок сільськогосподарських машин: Лабораторний практикум. – Дніпропетровськ : Дніпропетр. держ. агр. ун-т, 2002. – 396 с.
 21. Погорілий Л.В. Сільськогосподарська техніка і технології майбутнього. – К.: Урожай, 1988. – 176 с.

22. Практикум з технологічної наладки та усунення несправностей сільськогосподарських машин / Г.Р. Гаврилюк, Г.І. Живолуп, П.С. Короткевич та ін. За ред. Гаврилюка Г.Р. – К.: Урожай, 1995. – 280 с.
23. Проектування сільськогосподарських машин: навч. посіб. / за ред. І.М. Бендери, А.В. Рудя, Я.В. Козія. – Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2011. – 640с.
24. Рудь А.В., Коваленко О.М., Мошенко І.І., Іванишин В.В. Практикум по сільськогосподарських машинах і знаряддях. – К.: Урожай, 1996. – 288 с.
25. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підручник / за ред. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2001. – Кн.1: Машини для рільництва. – 384 с.
26. Система техніко-технологічного забезпечення виробництва продукції рослинництва / за ред. В.В. Адамчука, М.І. Грицишина. – К.: Аграр. наука, 2012. – 416 с.
27. Сільськогосподарських машини. Практикум з розрахунку і досліджень робочих процесів / В. Я. Рибарук, І. І. Ріпка . – Львів : За вільну Україну, 1998. – 264 с.
28. Сільськогосподарські машини: електронний підручник / Д.Г.Войтюк, В.М. Мартишко, М.С. Волянський та ін. – ДУ «Науково-методичний центр інформаційно-аналітичного забезпечення діяльності ВНЗ «Агроосвіта» 2018.
29. Машини для садівництва: каталог. – Інститут садівництва НААН, 2011. – 30 с.
30. Сіленко В.О. Сучасні технології садівництва. Практикум /Навчальний посібник. В.О.Сіленко. – Вінниця: ТОВ «Нілан–ЛТД», 2015. –182 с.
31. Славінський А.В. Особливості поверхневого обробітку ґрунту в садах за інтенсивною технологією із застосуванням крапельного зрошення. Техніка АПК. 2008. №9, 10. С. 37–38.
32. Механізація виробництва плодів та ягід. Під ред. к.т.н. П.Т. Бабія. – К.: Урожай, 1980, – 256 с.

33. Мартишко В.М, Шатров Р.В. Обґрунтування деяких параметрів вертикального ротора фрези для обробітку ґрунту в між стовбурній смузі саду. – Зб.: Збірник наукових праць НАУ, том VI. – К.: НАУ, 2000, – С. 64 – 67.
38. Пастухов, В. І. Ротаційні робочі органи для обробітку міжрядь просапних культур[Текст] / В. І. Пастухов, С. А. Браженко// Вісник НТУСГ ім. П. М. Василенка. – 2011. – Вип. 107, Т. 1. – С. 292–297.
34. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: підруч. Кн.1: Машини для рільництва / П.В.Сисолін, Т.І.Рибак, В.М. Сало.; за ред. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2002. – 383 с.
35. Сільськогосподарські та меліоративні машини: підручник / Д.Г.Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; за ред. Д.Г.Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.
36. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / за ред. В.І. Кравчука, М.І. Грицишина, С.М. Ковалюка, – К.; Аграрна наука, 2004. – 396 с.
37. Терміни точного землеробства / Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, Г.Р. Гаврилюк, М.С. Волянський // Техніка АПК. – 1999. - №5. – С.29-30.