

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ІМЕНІ
ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

ДИПЛОМНА РОБОТА

Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: **„ Обґрунтування параметрів робочих органів
культиватора для передпосівного обробітку ґрунту ”**

Виконав: студент 6 курсу групи Аін-62
Спеціальності 208 „ Агроінженерія ”
(шифр і назва)

Мігулка Дмитро Орестович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., в.о.доц. Рис В.І.
(Прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доц. Миронюк О.С.
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

УДК 631. 312

Обґрунтування параметрів робочих органів культиватора для передпосівного обробітку ґрунту. Мігулка Дмитро Орестович – Кафедра експлуатації та технічного сервісу імені професора Олександра Семковича – Дубляни, Львівський НУП – 2024. 67 с. – Рис. 19. – 49 джерел.

Дипломна робота присвячена розробці та дослідженню комбінованих робочих органів культиватора, а також обґрунтування їх найважливіших параметрів та режимів роботи. У роботі викладено результати досліджень з обґрунтування параметрів та режимів роботи комбінованого робочого органу для передпосівної обробки ґрунту.

Розроблено комбінований робочий орган, що відрізняється простотою конструкції та надійністю в роботі. Використання комбінованих робочих органів дозволяє підвищити якість обробітку ґрунту, знизити енергоємність процесу розпушування, експлуатаційні та енергетичні витрати.

Ключові слова: культиватор, робочі органи, обробіток ґрунту, лапа культиватора

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	8
1.1 Основні агротехнічні та технологічні показники передпосівної обробки ґрунту.....	8
1.2 Огляд конструкцій машин для передпосівної обробки ґрунту.....	9
1.2.1. Конструктивні особливості робочих органів культиваторів.....	13
1.3. Короткі висновки мета та завдання дослідження.....	25
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ	29
2.1 Теоретичний аналіз впливу робочої поверхні та ріжучої кромки лапи культиватора на ґрунт.....	29
2.1.1 Особливості впливу ріжучої кромки лапи культиватора на ґрунт.....	29
Висновки до розділу 2.....	38
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	39
3.1 Мета та програма лабораторних досліджень.....	39
3.2 Методика досліджень щодо обґрунтування конструктивних параметрів робочого органу культиватора.....	40
3.2.1 Методика визначення фізико-механічних властивостей ґрунту.....	40
3.2.2 Лабораторні дослідження у ґрунтовому каналі.....	40
3.2.3 Методика обробки результатів експериментальних досліджень у ґрунтовому каналі.....	43
Висновок до розділу 3.....	44
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	45
4.1 Дослідження та обґрунтування параметрів робочого органу культиватора	45
4.1.1 Обґрунтування ширини захвату лапи робочого органу культиватора.....	45
4.1.2 Вплив висоти ножа-стабілізатора на енергетичні показники роботи.....	47
4.1.3 Вплив глибини обробки та швидкості руху робочого органу на його силові характеристики.....	49
Висновки до розділу 4.....	49

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	50
5.1. Моделювання виникнення травм та аварій.....	50
5.2. Розробка логічно-імітаційної моделі травм.....	51
5.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	54
Висновки до розділу 5.....	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	59
ДОДАТКИ.....	65

ВСТУП

Головним завданням сільськогосподарського виробництва є підвищення ефективності всіх його галузей, забезпечення країни продовольством та сировиною для переробної промисловості. Вирішення цих завдань можливе лише за наявності прогресивних технологій обробітку сільськогосподарських культур та ефективної техніки. Чільне місце тут належить розробці та впровадженню машин із прогресивними робочими органами, які можуть забезпечити якісне виконання технологічного процесу при зниженні його енергоємності.

Крім того, у цьому відношенні актуальним є створення комбінованих ґрунтообробних машин для поєднання операцій передпосівної обробки ґрунту, оскільки вони виконуються в умовах дефіциту продуктивної вологи, а також ст. найерозійніші небезпечні періоди. Використання таких машин стримується відсутністю надійних робочих органів. Комбіновані агрегати, створені з урахуванням традиційних робочих органів, мають явні переваги перед одноопераційними знаряддями. У той же час вони не повністю відповідають сучасним вимогам сільськогосподарського виробництва.

Тому потрібен перехід на принципово нові машини, робочі органи яких використовують прогресивні принципи впливу, на середовище, що обробляється, і повинні забезпечити якісне виконання агротехнічних вимог зі скороченням до мінімуму проміжні операції. При цьому виключається надмірна деформація та розпилення ґрунту.

Мета роботи: покращення передпосівної обробки ґрунту шляхом удосконалення робочого органу культиватора з подальшим обґрунтуванням його режимів роботи.

У зв'язку з цим виходячи з аналізу відомих конструкцій робочих органів та результатів їх досліджень, перед дипломною роботою були поставлені такі основні завдання:

1. Розробити конструктивну схему робочого органу культиватора для передпосівної обробки ґрунту.

2. Провести теоретичний аналіз робочого процесу взаємодії робочих елементів лапи; з ґрунтом залежно від висоти ножа-стабілізатора, а також особливості впливу робочої поверхні та зубчастого леза робочого органу культиватора на ґрунт.

3. Провести лабораторні дослідження розробленого робочого органу культиватора для підтвердження достовірності результатів теоретичних досліджень.

Об'єкти досліджень. Технологічний процес передпосівної обробки ґрунту та комбіновані робочі органи культиватора.

Предмет досліджень. Закономірності процесу взаємодії робочих елементів лапи; з ґрунтом залежно від висоти ножа-стабілізатора, а також особливості впливу робочої поверхні та зубчастого леза робочого органу культиватора на ґрунт.

Під час проведення теоретичних досліджень використовувалися закони землеробської механіки методи прикладної математики, і навіть становища аналітичної геометрії.

Експериментальні дослідження проводилися в лабораторних умовах відповідно до діючих загальноприйнятих методик. Обробка експериментальних даних проводилася за допомогою методів математичної статистики та теорії ймовірності.

Наукова новизна. Розроблено конструкцію та виявлено характер процесу взаємодії робочих елементів лапи з ґрунтом залежно від висоти ножа-стабілізатора, а також особливості впливу робочої поверхні та зубчастого леза робочого органу культиватора на ґрунт.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Основні агротехнічні та технологічні показники передпосівної обробки ґрунту

Найбільш значні вимоги висуваються до основних видів поверхневого обробітку ґрунту, зокрема, до передпосівного; обробці, до операцій культивуації та боронування. З метою створення сприятливих умов зростання рослин: зменшення втрат вологи; знищення бур'янів та створення гарних агротехнічних умов для посіву насіння сільськогосподарських культур, вищезазначені види, обробки виконуються культиваторами, луцильниками, боронами, фрезами та котками.

Якісне виконання поставлених завдань можливе лише за наявності великого набору різних машин та агрегатів, а також при раціональному їх використанні з урахуванням біологічних потреб розвитку насіння та рослин. Тому необхідно розглянути агротехнічні вимоги до них:

а) основні агротехнічні вимоги, що пред'являються до передпосівної обробки ґрунту, виходять з наступних пропозицій:

- поверхневий шар ґрунту має бути пухким;
- поверхня поля повинна бути рівною, без гребенів борозен і брил, так як їх наявність негативно позначається на якості посіву, збільшує поверхню випаровування вологи і веде до висушення ґрунту;

- товщина; розпушеного шару; має залежати від рельєфу: його поверхні. При нерівній товщині розпушеного шару ґрунту важко;

- досягти однакової глибини загортання насіння, що тягне за собою нерівномірний розвиток рослин;

- глибина передпосівного обробітку ґрунту повинна бути постійною, її відхилення від заданої не повинно перевищувати $\pm 2,0$ см;

- бур'яни мають бути знищені повністю.

б) при культивуації необхідно виконувати такі агротехнічні вимоги:

- культивуація повинна проводитись у встановлені терміни на задану глибину (до 12 см) (або на глибину загортання насіння);

- верхній шар ґрунту повинен бути дрібнокомкуватим;
 - глибина, розпушування має бути рівномірною, у своїй нерівномірність глибини обробки має, перевищувати +/- 1 см;
 - дно борозни та. поверхня поля після культивації повинні бути рівними, при цьому висота гребенів верхнього розпушеного шару має бути не більше 4 см;
 - не вивертати нижній вологий шар ґрунту;
 - бур'яни повинні бути підрізані повністю:
- в) боронування має відповідати наступним основним агротехнічним вимогам:
- поверхнєве розпушування оранки на глибину не менше 3...4 см щоб структура ґрунту була дрібнокомкуватою;
 - фарбування ґрунтових брил на дрібні грудки розміром не більше 2...3 см;
 - вирівнювання гребенів; вийшли при оранці;
 - ушкодження культурних рослин при боронуванні озимих, просапних культур та багаторічних трав не більше 3...5%;
 - знищення ґрунтової кірки та бур'янів.

1.2 Огляд конструкцій машин для передпосівної обробки ґрунту

Для проведення поверхневого обробітку ґрунту застосовуються різні машини та агрегати не в повною мірою задовольняють агротехнічним вимогам. З них найбільшого поширення набули культиватори; призначені для розпушування ґрунту з одночасним знищенням бур'янів, а також борони та інші.

Огляд літературних джерел [8,10,26,27,40,42-45,49] показує, що сучасні робочі органи, що випускаються промисловістю і перебувають у стадії розробки та дослідження за конструктивними особливостями, поділяється на три основні групи пасивні, ротаційні (активні, реактивні), і комбіновані (коливальні, реактивно-вібраційні та ін).

Також, з огляду літературних джерел видно низьку якість роботи культиваторів через відсутність відповідних робочих органів до них, що повністю

задовольняють вимоги агротехніки, а також через неправильний вибір типу та форми робочих органів стосовно ґрунтово-кліматичних умов.

Аналіз праць зарубіжних фахівців показав, що геометричні параметри робочих органів ґрунтообробних машин можуть бути оптимізовані: з мінімального тягового опору витрати, енергії та інших критеріїв за допомогою математичних моделей.

Практика обробітку сільськогосподарських культур показує, що багато відмінностей; у конструкції; культиваторів та параметрів їх робочих органів (форма, маса, розміри, відстань між ними), впливають на якість підготовки насінневого ложа, розподіл грудок ґрунту.

З огляду літературних джерел впливає, що теоретичні та експериментальні роботи в галузі розвитку машин для передпосівного обробітку ґрунту, зокрема робочих органів культиваторів, розглядаються в наступних напрямках:

1. Обґрунтування та визначення раціональних форм та геометричних параметрів лап, особливо робочої поверхні та ріжучої кромки, відповідно до вимог агротехніки.

2. Отримання силових характеристик необхідних для визначення енергетичних показників m розрахунку деталей і вузлів; культиватора на міцність.

3. Зниження, енергоємність процесу, розпушування, підвищення продуктивності та якості обробки ґрунту.

4. Дотримання рівномірності глибини ходу робочих органів культиваторів.

Вищезазначене поділ слід вважати умовним, оскільки геометричні параметри, якісні показники; роботи та інші характеристики знаходяться у взаємному зв'язку та взаємозалежності.

У зв'язку з цим у своїх роботах ще В.П. Горячкин, неодноразово вказував, що теорія будь-якої зброї має відповідати на два питання:

1) яку форму повинні мати працюючі частини зброї для найбільш досконалої якості роботи;

2) які мають бути розміри та розташування всіх складових частин зброї для найзручнішого управління ними за можливо малої витраті зусилля.

До основних параметрів робочих органів культиватора зазвичай відносять:

- бічну та поперечну форми, які впливають як на якість обробітку ґрунту, так і на їх опір руху Г.М. Синьооков неодноразово вказував на необхідність дослідженням та пошуки раціональних форм розпушувальних робочих органів.

При виборі форм, розробці та обґрунтуванні типорозмірів лап Г.М. Синьооковим вперше досліджено питання технологічного процесу роботи порожнистих лап з урахуванням стану ґрунтового середовища та фізико-механічних властивостей підземних частин бур'янів, проведено площинне динамометрування лап, розроблено методи проектування та розрахунку робочих органів. Однак тут криволінійна форма робочої поверхні порожнистих лап не розглядається.

Обґрунтування форми, стосовно розпушальних робочих органів, залежно від фізико-механічних властивостей ґрунту та якісних показників роботи, наведено в роботах А.В: Баукова та А.С. Кушнар'ова. Це завдання з обґрунтування раціональної форми робочої поверхні розпушувальних робочих органів культиваторів вирішується ними на принципах та методах механіки суцільних середовищ. Однак, і тут форма робочої поверхні лапи не обґрунтована, а форма її ріжучої кромки залишилася колишньою у вигляді прямої лінії.

Також у роботах низки дослідників намітилося напрям зміни конструктивного оформлення робочих органів культиватора, зокрема, лап для суцільної обробки. Відмінністю всіх змін є те, що вони були, спрямовані на конструктивну зміну кута зсуву пласта.

Вперше В.П. Горячкіним розроблено основи теорії робочих органів культиваторів. Сюди насамперед слід віднести його роботи з дослідження тригранного плоского клина. Подальший розвиток питання теорії висвітлено у роботах В.С. Жегалова, А.В.Желіговського, Г.М., Синьоокова, К.М., Короленко, Л.І. Воробйова та інших авторів [3,5-7,19].

Теорія різання лезом у сільськогосподарських машинах розглядалася також у роботах. В.П. Горячкіна, де особливе значення надається ковзному руху леза по матеріалу, що розрізається і при цьому відзначається великий ефект.

Необхідно зауважити, що в цих роботах не зверталось уваги на вплив форми самого леза на оброблюваний матеріал.

З іншого боку, як зазначають П.М. Василенко та П.Т. Бабій [9], ступінь стійкості ходу робочих органів культиватора залежить від рівноваги сил, що діють на робочий орган, і співвідношення параметрів ланок механізму кріплення робочого органу, до рами культиватора, а також конструкції робочого органу.

Питання впливу поступальної швидкості руху агрегату на глибину ходу ґрунтообробних та посівних машин було розглянуто І.С. Бернікова, К.І. Жукевичем та інших. Вони вказують, що зі збільшенням швидкості робочі органи прагнуть виглибленню. У цьому стійкість ходу серійних культиваторів з шарнірним кріпленням лап до рами швидкість може бути допущена до 10,2...10,9 км/год, а П.Т. Бабин вважає за можливе підвищення поступальної швидкості лише до 7,2 км/год.

Відомі три групи стрілчастих лап, що випускаються промисловістю в даний час, що відрізняються кутом розчину: для чорноземних ґрунтів - $2\gamma=50...58$, для середніх умов - $2\gamma = 60...78$, для піщаних ґрунтів - $2\gamma = 70... 80$.

Практика показує, що при таких параметрах лап спостерігається обволікання лез бур'янною рослинністю.

Для зменшення забивання лап бур'янами, А.В. Чумаком та Л.І. Воробйовим було запропоновано криволінійну форму ріжучої кромки. Проте, вважають, що це погіршує якість роботи лап, т.к. за рахунок зменшення кута розчину на кінці крила, збільшується пропуск непідрізаних бур'янів.

З метою зменшення забивання К.М. Короленко запропонував розчленувати широкозахватні, лапи на кілька вузькозахоплювальних лап шляхом утворення щаблів на лезі. У цьому, на думку автора; вирвані бур'яни при переході з щаблі на щабель повинні зазнавати удару, в результаті якого повинна зростати сила, що сприяє скиданню бур'янів з леза.

У цих роботах найчастіше намічаються напрями зміни параметрів робочих органів культиватора і вказується, необхідність створення; нових форм робочих

органів для забезпечення; якісного розпушування ґрунту, зниження енергоємності робочого процесу та знищення бур'янів.

1.2.1. Конструктивні особливості робочих органів культиваторів

Робочі органи культиваторів, що випускаються заводами сільгоспмашинобудування, стандартизовані і залежно від технологічного процесу їх можна розділити на такі типи:

1. Підлогові лапи (односторонні плоскорізальні лапи-бритви), призначені в основному для боротьби з бур'янами та підтримання верхнього шару в пухкому стані на глибину до 6 см.

2. Універсальні стрілчасті лапи та стрілчасті плоскорізальні лапи, призначені для підрізання бур'янів та інтенсивного розпушування ґрунту на глибину до 12 см.

3. Розпушувальні (долотоподібні) лапи, основне призначення яких розпушування як верхнього, так і глибших шарів ґрунту з метою створення сприятливих умов для розвитку кореневої системи рослин на глибині до 16 см.

4. Спеціальні робочі органи, підгортники та аричніки - бороздильники, лапи - відвальники, оборотні лапи, ножі, ланка пропалочної боронки, ротаційні голчасті диски та універсальні ротаційні борони, а також штанги, лемеші глибокі.

Односторонні та стрілчасті лапи в залежності від величини кута кришення β відносяться до плоскорізальних ($\beta = 15^\circ \dots 18^\circ$), які призначені для підрізання бур'янів і розпушування ґрунту на глибину 4...8 см. Лапи стрілчасті з хвостовиком відносяться до універсальних ($\beta = 20^\circ \dots 30^\circ$).

У літературних джерелах більш докладно вивчені та висвітлені питання роботи клину, пов'язані:

- а) із процесом різання надземних частин рослин;
- б) з впливом клину на ґрунт.

На відміну від зазначених вище стрілчасті плоскорізальні лапи культиваторів повинні одночасно виконувати дві основні функції:

а) впливати на підземну частину бур'янів з метою їх підрізання або виривання;

б) проводити підрізання та розпушування верхнього шару ґрунту.

Враховуючи вищевикладене, за технологічним призначенням у порожнистої лапи можна виділити такі елементи:

а) лезо - основним призначенням якого є різання підземних частин бур'янів, і підрізання знизу верхнього шару ґрунту;

б) крило лапи - для здійснення розпушування підрізаного шару ґрунту та деякого перемішування ґрунтових частинок.

При цьому робочий процес лапи визначається групами факторів:

а) конструкцією лапи, станом ріжучої кромки леза, положенням лапи у ґрунті;

б) фізико-механічними властивостями ґрунту;

в) механічними властивостями підземних частин бур'янів.

В даний час у практиці землеробства велика увага приділяється робочим органам, пов'язаним із збільшенням зони розпушування обробітку ґрунту.

З метою збільшення зони розпушування у Мелітопольському інституті механізації сільського господарства проводилися випробування комбінованих робочих органів такої конструкції трьох варіантів сегменту привареного до носіння долота зверху; сегмент, приварений до носіння долота знизу; оборотна наральникова вузька лапа, приварена зверху долота.

Візуальні спостереження показали, що лапи другого варіанта утворюють менше брил, ніж лапи першого і третього варіантів. З іншого боку, якість розпушування ними здебільшого, далеке від необхідного, оскільки форма робочих органів залишалася колишньої. Глибоких же досліджень з обґрунтування форми розпушувального робочого органу з метою забезпечення якісного розпушування ґрунту з урахуванням агротехнічних умов не проводилося.

В даний час підприємствами сільгоспмашинобудування випускаються розпушувальні робочі органи кількох типорозмірів долотоподібні, оборотні двосторонні, односторонні списоподібні.

Випробування показали, що форма списоподібних і клиноподібних розпушувальних лап є найкращою серед широких розпушувальних лап, завдяки чому менше обертається і змішається ґрунт.

Заслуговує на увагу новий розпушувальний робочий орган культиватора стрілчастого типу, який на переконання авторів, забезпечує глибоке розпушування, ґрунту до дрібнокомкуватої структури без виносу нижніх шарів на денну поверхню та рівну не ущільнену підшву. Також були обґрунтовані бічна та поперечна форми розпушувача та його основні параметри, причому бічний профіль виконаний за формою логарифмічної спіралі, а поперечний – за дугою кола. При цьому форма робочої поверхні та ріжучої кромки лапи залишилася незмінною.

У роботах вчених України Б.В. Фатянова та ін. [31,37,39] простежується розробка більш досконалої конструкції плоскорізального робочого органу для диференційованої обробки. Цей робочий орган створений з регульованим кутом установки, який забезпечує змінну глибину розпушування за шириною. При цьому кут нахилу змінюється поворотом лапи зі знімними носком на необхідну величину і фіксується на ній в заданому положенні за допомогою рифів, виконаних на торцевих прилеглих поверхнях стійки.

На думку авторів; обробіток ґрунту з використанням таких удосконалених лап забезпечує створення мульчуючого шару достатньої глибини, сприяє покращенню водного режиму ґрунту.

Інтерес представляє конструкція робочого органу культиватора, що включає стрілчасту лапу зі зміненою стійкою для запобігання виносу вологих шарів ґрунту на поверхню. У робочого органу прийнято комбіновану поверхню, яка відповідає вимогам, що пред'являються до поверхонь для швидкісних режимів роботи.

Результати роботи В.П. Гниломедова довели, що цей робочий орган має менший тяговий опір.

Відомий ряд технічних рішень, де робоча поверхня сконструйована по заданій кривій, а ріжуча кромка лапи виконана зубчастою або кривою, але вид

кривої не завжди вказаний, якщо навіть зазначений, то не обґрунтований (рисунок 1.1).

Це вказує на спробу зниження енергоємності даного процесу та збільшення якісного обробітку ґрунту.

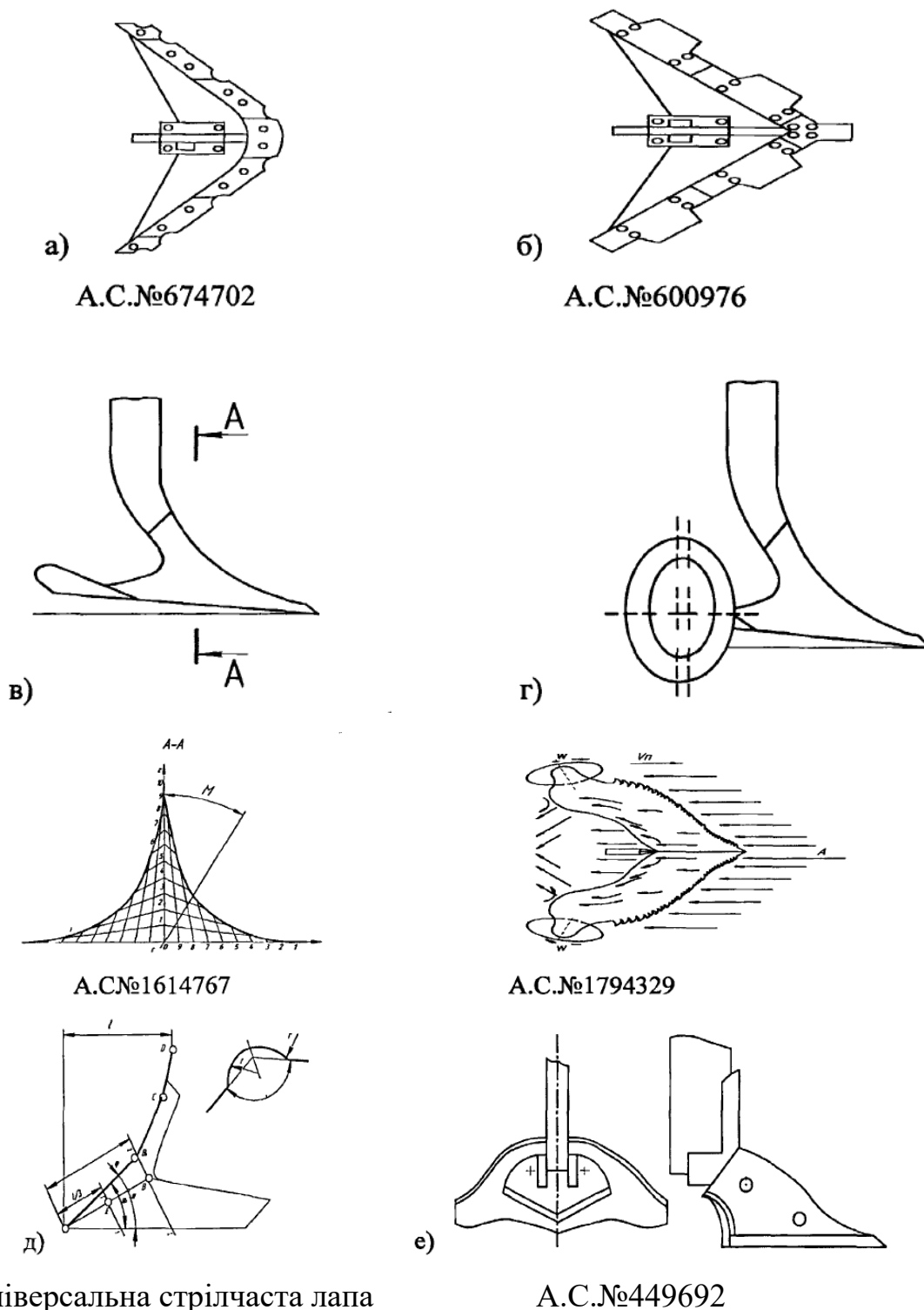


Рисунок 1.1 – Схема пасивних робочих органів культиваторів

Таким чином, всі дослідники доводять ефективність застосування плоскорізальних робочих органів культиватора, базуючись в основному на зниженні енерговитрат при обробці. Однак, незважаючи на велику кількість досліджень таких робочих органів, основні теоретичні розробки, спрямовані на вивчення, деформації ґрунту плоскорізальним органом, а щодо їх форми, то тут запропоновано лише деякі формули та результати, іноді навіть суперечливі, основні ж геометричні параметри зазвичай визначалися дослідним шляхом. Форма передньої ріжучої кромки та робочої поверхні лапи досі ще остаточно не досліджувалася, а сам робочий орган розглядався як найпростіший тригранний клин. Вплив форми леза на якісні показники обробітку ґрунту в основному лише констатувався.

Також за кордоном немає суворого теоретичного обґрунтування форми плоскорізальних робочих органів, незважаючи на велику різноманітність у їхній номенклатурі. Проведені дослідження переважно експериментальні хоча є роботи, які стосуються певною мірою фізики взаємодії робочих органів із ґрунтом.

Аналіз літературних, джерел та теоретичних досліджень показують, що проблемі обґрунтування форми плоскорізальних робочих органів присвячено велику кількість робіт. Зіставлення теоретичних досліджень показує, що автори користуються при цьому методами теоретичної механіки, механіки ґрунтів та експериментальними методами. При обґрунтуванні форми плоскорізальних робочих органів методами теоретичної механіки твердого тіла неможливо пояснити і врахувати велику групу явищ, що відбуваються в ґрунті при впливі на неї робочим органом. Методи експериментальних досліджень встановлюють залежність між фізичними властивостями ґрунту та конструктивними параметрами плоскорізних лап тільки у вигляді емпіричних формул і які є прийнятними для певних умов проведення дослідів.

Тому, незважаючи на велику різноманітність, плоскорізні лапи мають просту форму, в основі роботи яких лежить вплив елементарного тригранного клину на ґрунт. Проектування нових плоскорізальних робочих органів досі в

основному велося емпіричним шляхом виходячи з вивчення робіт раніше створених робочих органів.

Раціональна інтенсифікація процесу обробітку ґрунту передбачає створення найбільш ефективних робочих органів і можливість їх застосування в культиваторах і комбінованих агрегатах. Тому необхідно розглянути тенденції розвитку таких машин для поєднання операцій, що включають передпосівний обробіток ґрунту.

У цьому напрямку створені та розробляються комбіновані ґрунтообробні машини, що включають різні комбінації робочих органів, призначених для передпосівної обробки ґрунту.

Також розробляють або зовсім нові машини, з принципово новими робочими органами, або поєднуються існуючі пристрої, призначені для виконання окремих операцій. Причому такі машини, які з ряду послідовно з'єднаних існуючих робочих органів, отримали найбільше застосування, оскільки дозволяють скласти комбіновані машини з серійних конструкцій [44,45,49].

Найбільш актуальним є поєднання окремих прийомів та операцій поверхневої обробки ґрунтів, у тому числі і передпосівної обробки пояснюється тим, що ці операції виконуються в умовах дефіциту продуктивної вологи.

Тому для здійснення цих операцій розроблено велику кількість комбінованих ґрунтообробних машин і агрегатів. За способами проведення технологічних процесів їх можна об'єднати у кілька груп:

а) комбіновані машини та агрегати, що впливають на ґрунт у такій же послідовності, як і одноопераційні машини, що замінюються. Наприклад, вирівнювання поверхні, розпушування з перемішуванням та ущільнення;

б) машини з робочими органами надають складний вплив в інший спосіб. Наприклад, фрезерування замість вирівнювання та розпушування з перемішуванням;

в) машини, які мають комбінований вплив. Наприклад, фрезерування та подальше ущільнення.

За такими способами: здійснення; технологічних процесів, розрізняють кілька типів комбінованих агрегатів та машин:

- 1) агрегати, складені з кількох одноопераційних машин;
- 2) машини з кількома одноопераційними робочими органами;
- 3) машини з комбінованими (багатоопераційними) робочими органами;
- 4) комплексні агрегати.

Виходячи з вище викладеного слід, що прогресивним напрямом у розвитку засобів механізації для передпосівної обробки ґрунту є застосування ґрунтообробних машин або агрегатів з комбінованими робочими органами, що дозволяють в одному технологічному процесі поєднувати виконання декількох операцій.

Прикладами таких машин є комбіновані культиватори та агрегати основної та передпосівної підготовки ґрунту КШУ-12-01, КПС-4, КПК-12, КППР-3,6, а також РВК-3,0 та подібні до них.

Для вибору раціональних видів робочих органів та найбільш ефективного способу обробки та знищення бур'янів необхідно вивчити конструктивні особливості існуючих знарядь та принципи їх взаємодії з ґрунтом.

Відомий розпушувач вирівнювач каток РВК-3,0 (рисунок 1.2) за один прохід виконує культивацію на глибину 15 см, руйнування брил у цьому шарі, вирівнювання мікрорельєфу та коткування ґрунту. На рамі зброї послідовно розташовані пухкі пружинні культиваторні лапи, розріджена кільчасто-шпорова ковзанка, кільця якого встановлені позаду між стійками лап, за ними слідує другий ряд культиваторних лап, двосекційний брус і кільчасто-шпорова ковзанка.

Недоліками таких комбінацій робочих органів є нездатність стабілізувати глибину обробки, неможливість регулювати технологічним процесом з метою управління якістю його роботи, а також є вони незручні при транспортуванні і дуже громіздкі.

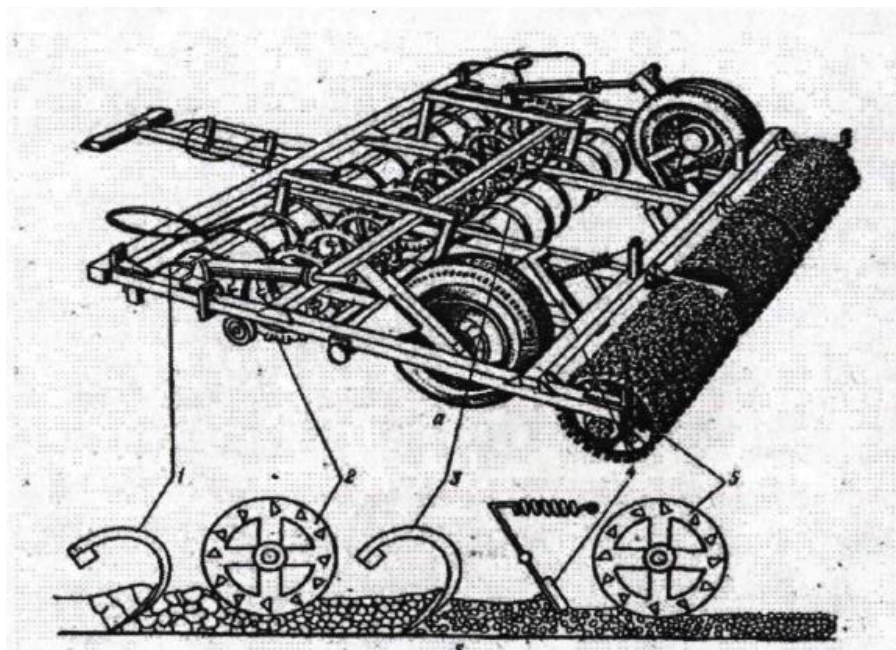


Рисунок 1.2 – Комбінована машина RBK-3,6

Загальний вигляд і схема роботи машини типу RBK: 1-розпушуючий зуб переднього ряду; 2- розріджена кільчасто-шпорова ковзанка; 3 рихлячий зуб другого ряду; 4- вирівнювач; 5- кільчасто-шпорова ковзанка.

Тому агрегати типу RBK та подібні до них (АКГШ-3,6 і т.д.) потребують докорінної модернізації для підвищення якості роботи, продуктивності та надійності в роботі [2].

У нашій країні основним знаряддям для передпосівного обробітку ґрунту є культиватор КПС-4 зубними або пружинними боронами (рисунок 1.3). Він має, окрім основної моделі, ще п'ять її модифікацій.

Однак зубні та пружинні борони, що працюють спільно з культиватором зі стрілочастими лапами, для роботи в умовах нечорноземної зони мають обмежене застосування, т.к. вони не забезпечують якісного дроблення грудок та брил, недостатньо вирівнюють поверхню поля. Після їхнього проходу поверхня поля стає гребнистою, а верхній шар ґрунту не має необхідного ущільнення. Щоб поліпшити якість передпосівного обробітку ґрунту, потрібно досягти кращого вирівнювання поля, а також ущільнення верхнього шару.



Рисунок 1.3 – Культиватор КПС-4 причіпний з універсальними стрілочастими лапами

Для реалізації вищезгаданої мети було запропоновано культиватор блочно-модульний КБМ-14,4ПС (рисунок 1.4), який призначений для комплексної передпосівної обробки ґрунту.



Рисунок 1.4 – Культиватор блочно-модульний КБМ-14,4ПС

За один прохід агрегату виконується культивація, створення ложа для насіння, вичісування бур'янів, мульчування, вирівнювання та коткування. Це забезпечує підвищення продуктивності праці, а також значне зниження енерго- та ресурсозатрат на передпосівну підготовку ґрунту.

Культиватори виробляються в комплектації з S-подібними пружинними стійками зі стрілчастою лапою, що забезпечують суцільне підрізування бур'янів. Можливе виготовлення культиваторів з 4-ма рядами робочих органів (у базовому виконанні 3 ряди) для зменшення забивання рослинними рештками, з двома рядами ковзанок, з переднім планковим вирівнювачем.

Дані агрегати гарантують високу якість обробітку ґрунту повну відсутність брил і гребенів, ефективне вирівнювання, підповерхневе ущільнення ґрунту на глибину посіву, вичісування бур'янів у ниткоподібній стадії їх розвитку, створення мульчованого шару ґрунту, що створює сприятливі умови для дружних сходів, появи а також забезпечує насіння і рослин оптимальний тепло-волого-повітряний режим.



Рисунок 1.5 – Культиватор комбінований КПК-12

Інтерес представляє культиватор Причіпний комбінований КПК-12 (рисунок 1.5), який призначений для суцільної передпосівної та парової обробки ґрунту на глибину 6...12 см з одночасним вирівнюванням. Машина складається з стрілчастих лап і пристроїв, що вирівнюють Відомий комбінований культиватор беззачепний для суцільної обробки ґрунту КШУ-12-01 (рисунок 1.6) призначений для суцільної передпосівної та парової обробки ґрунту у всіх зонах.

Вищевказані культиватори придатні для роботи на кам'янистих ґрунтах, обробляють ґрунт підвищеної вологості, придатні для роботи на підвищених швидкостях (до 15 км/год), у них мала енергоємність і висока надійність у роботі, висока продуктивність,

проста конструкція, мала металоємність, хороші маневреність та транспортабельність.



Рисунок 1.6 – Культиватор беззцепний для суцільного обробітку ґрунту КШУ-12-01

До недоліків даних машин можна віднести наступне: недостатня жорсткість стійок пружинних зубів для ефективного розпушування ґрунту по колії трактора, недостатня несуча здатність опорних коліс на пухких та м'яких ґрунтах, що призводить до зайвого заглиблення зубів у ґрунт та порушення агротехнічних вимог на якість обробки.

Великий інтерес представляє комбіновані машини, що складаються з пасивних стрілочастих лап, пружинних зубів або черешкових ножів та ротаційних робочих органів. Так, у Північно-Західній зоні при догляді за гребневими посадками просапних культур застосовуються комбіновані машини, що складаються з ротаційних універсальних борін БРУ-0,7 та стрілочастих лап.

За даними ряду дослідників, використання комбінованого робочого органу БРУ-0,7 дозволяє підвищити продуктивність праці, збільшити ступінь кришення

грунту та знищення бур'янів. Разом з тим слід підкреслити, що цей робочий орган використовується тільки для обробки гребенів.

Відома комбінована, навісна машина для передпосівного обробітку ґрунту (патент Австралії, 329305). Вона включає пасивні робочі органи у вигляді пружинних зубів або черешкових ножів, ротаційну мотику і пристрій, що розрівнює.

До багатоцільових машин для передпосівної обробки ґрунту, на рамі яких можуть монтуватися різні робочі органи, для виконання широкого набору технологічних операцій відноситься комбінований агрегат КА-5,6, створений народним підприємством Ваймар-Комбінат (Німеччина). Він складається з основної та поворотних рам, на яких можуть монтуватися різні зуби, ковзанки, вирівнювачі тощо.

Ці робочі органи об'єднані в секції, які монтуються на рамах залежно від типу ґрунтів та культури, що обробляється.

Недоліком таких ґрунтообробних знарядь є висока металоємність і великі трудовитрати, необхідні притих переналагодженню.

Заслуговує на увагу дисковий, культиватор Smaragd фірми Lemken (Німеччина), який містить два. ряду змінних крильчатих лемешів, похилі увігнуті диски, встановлені зі зміщенням, і трубчаста ребриста ковзанка (рисунок 1.7).

Також цікавить широкозахопний культиватор Magnum III фірми Morris (Канада), він включає два ряди стрілочастих лап і зуби боронки-загортачі (рисунок 1.8).

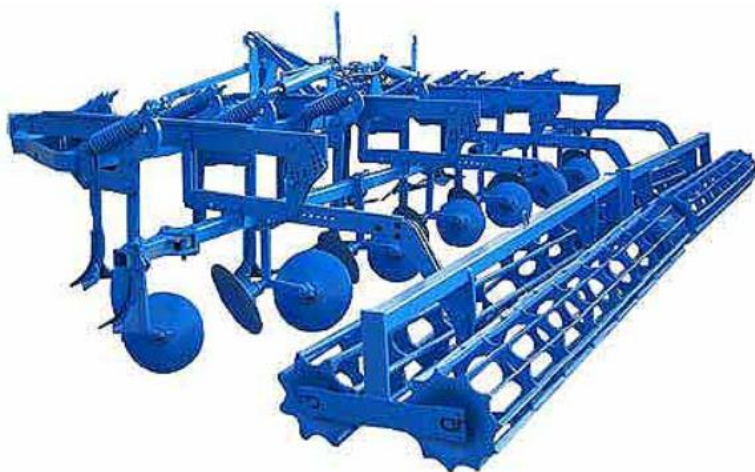


Рисунок 1.7 – Дисковий культиватор Smaragd фірми Lemken



Рисунок 1.8 – Широкозахватний культиватор Magnum III фірми Morris (Канада)

У цьому плані найбільший інтерес представляють розробки, спрямовані на розвиток нового ступеня механічного обробки ґрунту на принципі його мінімалізації.

На підставі аналізу роботи комбінованих ґрунтообробних знарядь слід зазначити, що вони є перспективними з погляду повнішого задоволення вимог, що висувуються агрономічною наукою до поверхневої обробки ґрунтів. Однак відомі конструкції комбінованих машин і робочих органів, в силу ряду причин конструктивного та технологічного характеру, не знайшли поки що широкого впровадження у виробництво.

1.3. Короткі висновки мета та завдання дослідження

Проведений аналіз культиваторів показує, що найбільш перспективними з точки зору виконання агровимог, а також по металоємності та конструктивному компонуванню, є робочі органи, з криволінійною формою робочою поверхнею і зубчастою ріжучою кромкою, що сприяє ковзанню.

Багатьма авторами у своїх роботах наголошується на необхідності розробки матеріалів з обґрунтування та створення нових форм робочих органів, зокрема, їх поверхонь та ріжучих кромок.

Найперспективнішим напрямом у створенні нової форми робочого органу слід вважати комбінований робочий орган культиватора, який зможе виключити

недоліки існуючих: збільшення тягового опору, нерівномірність ходу по глибині забивання ґрунтом рослинними рештками та вивертання на поверхню нижніх зволожених шарів ґрунту.

У багатьох існуючих лапах при обґрунтуванні їх геометричних параметрів не враховуються ґрунтово-кліматичні умови та фізико-механічні властивості ґрунту, внаслідок чого такі робочі органи не завжди задовольняють агротехнічним вимогам до передпосівної обробки.

Хороша якість передпосівної обробки переважно залежить від форми робочих органів. Проте раніше проведені дослідження з обґрунтування конструктивних параметрів культиваторних лап було спрямовано лише на зниження тягового опору, а питанням обґрунтування форми та основних геометричних параметрів таких робочих органів за заданими деформаціями та фізико-механічними властивостями ґрунту, що визначають якісні показники роботи, приділялося мало уваги. Тому це невирішене питання у землеробській механіці й досі є дуже актуальним.

Відомо, що існуючі аналоги комбінованих машин не можуть забезпечити високоякісне фарбування ґрунту та дуже енергоємні.

Крім того, вони мають недосконалі робочі органи, які не дають достатньої якості обробки, причому після проходу таких машин поверхня ґрунту залишається нерівною.

Враховуючи вищезазначені недоліки та основні напрямки розвитку (у вдосконаленні) робочих органів для передпосівної; Обробітку ґрунту виникла нагальна необхідність у вишукуванні нових форм та конструкцій робочих органів культиватора, засновані на раціональних принципах впливу їх елементів на оброблюване середовище.

Для вирішення зазначеної задачі нами запропонована нова конструкція робочого органу культиватора для передпосівного обробітку ґрунту (рисунок 1.9), де робоча поверхня виконана у вигляді двох сполучених ділянок логарифмічних спіралей опуклістю вгору кривизни негативною в підрізаючій і позитивної в розпушуючій частині. Робоча поверхня забезпечена радіально ножами

стабілізаторами, причому останні плавно огинають поверхню, лапи і встановлені паралельно її поздовжньої осі.

Крім того, ріжуча кромка кожного крила лапи виконана зубчастою, причому передня кромка кожного зуба має прямолінійну форму і розміщена під деяким кутом ковзаючого різання до поздовжньої осі лапи і з перекриттям в поперечному напрямку передньої кромки розташована попереду зуба, а тильна кромка кожного зуба розташована перпендикулярно до відповідної дотичної точки контуру ріжучої кромки лапи.

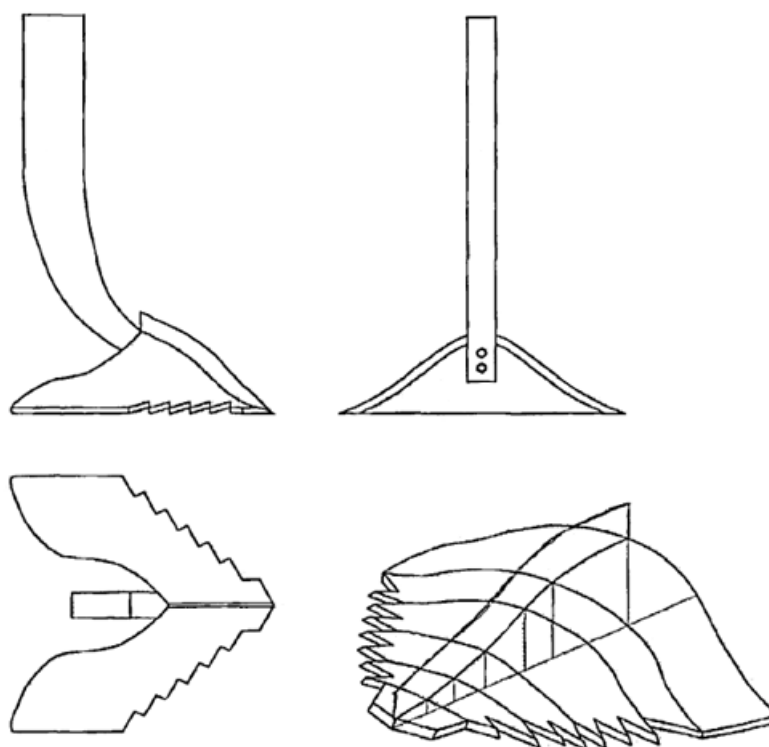


Рисунок 1.9 – Робочий орган культиватора для передпосівної обробки ґрунту

Слід зазначити, що це робочі органи, хоча можуть одночасно виконувати кілька операцій; окремо не здатні, якісно виконувати агротехнічні вимоги передпосівної обробки, Тому при виконанні заданого технологічного процесу не можна розглядати їх окремо від ротаційних органів, тому що тільки в цьому випадку можливо керувати процесом кришення та формування вирівняної поверхні поля, причому після проходу такого агрегату поверхня обробленого

ґрунту відрізняється. високою однорідністю ґрунтових грудок, що забезпечує створення оптимальних умов для розвитку насіння та росту рослин.

Враховуючи вищевикладені передумови створення нових робочих органів та необхідність пошуку їх раціональних параметрів, було визначено мету роботи – покращення передпосівної обробки ґрунту шляхом удосконалення робочого органу культиватора з подальшим обґрунтуванням його параметрів та режимів роботи.

У зв'язку з цим, виходячи з аналізу відомих конструкцій робочих органів та результатів їх досліджень, перед роботою були поставлені такі основні завдання:

1. Розробити конструктивну схему робочого органу культиватора для передпосівного обробітку ґрунту.

2. Провести теоретичний, аналіз робочого процесу взаємодії робочого органу з ґрунтом з використанням методів теорії планування експериментів.

3. Провести лабораторні дослідження розробленого робочого органу культиватора задля підтвердження достовірності результатів теоретичних досліджень.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Теоретичний аналіз впливу робочої поверхні та ріжучої кромки лапи культиватора на ґрунт

Процес взаємодії робочих органів культиваторів із ґрунтом має ряд відмінностей від роботи інших ґрунтообробних пристроїв. Наприклад, лапи культиваторів рухаються поступально, відрізають пласт певного перерізу та створюючи напругу в ньому, кришать його. У цьому ступінь впливу робочого органу ґрунт визначається його геометричними розмірами (параметрами).

Тому одним із важливих завдань у землеробській механіці є обґрунтування форми та геометричних параметрів ґрунтообробних робочих органів на підставі вивчення напружено-деформованого стану ґрунту, що знаходиться під впливом робочого органу. Дана задача стає ще більш актуальною з огляду на те, що до теперішнього часу немає надійних теоретичних методів визначення форми робочих органів ґрунтообробних машин за заданими деформаціями та фізико-механічними властивостями ґрунту [15,17,33].

2.1.1 Особливості впливу ріжучої кромки лапи культиватора на ґрунт

Початок процесу впливу леза на ґрунт пов'язаний з її різання в площині дна борозни, що характеризується рядом показників (кутом різання; заднім кутом ріжучої кромки). При цьому на процес (включаючи і зісковзування з лапи ґрунту та бур'янів), при незмінній ширині захвату лапи; впливає не тільки величина кута відкриття γ , але і форма ріжучої кромки. Справжні їх значення є параметрами, що характеризують енергоємність робочого процесу, які визначають стійкість руху робочого органу по глибині.

Розглянемо деякі елементи теорії та закони, які виявляються при вивченні процесу різання лезом. При цьому особливий інтерес представляють початкові дослідження акад. В.П. Горячкіна. Тут він вказав на дуже важливе в механіці різання явище, а саме: якщо змусити лезо при різанні переміщатися перпендикулярно до його довжини сила, яка необхідна для різання; буде

максимальною; але якщо лезо не тільки поглиблювати в матеріал, а й змусити його при цьому проковзувати вздовж своєї довжини, то чим більше буде позовжне переміщення щодо нормалі, тим меншою виявляється сила, за допомогою якої можна перерізати той самий об'єкт. Також він зробив висновок, що опір різання ґрунту та інших матеріалів помітно менше у разі, коли різання здійснюється зі ковзанням. Тому кут τ між нормально до даної точки леза та її швидкістю має бути обраний таким чином, щоб енергоємність процесу різання ґрунту та коренів бур'янів крайкою леза було менше, і вони у процесі підрізування ковзали вздовж леза [29].

Розвиток питання теорії різання відображено у роботах А.В. Желіговського на прикладах черенкового ножа з використанням різних умов:

1. Переміщення черенкового ножа за умовою $\tau < \varphi$, тобто кут τ між напрямом швидкості та нормаллю до леза менше кута тертя φ леза по матеріалу, що розрізається. З розглянутого прикладу він прийшов до висновку, що у випадку $\tau < \varphi$ ніякого ковзання леза по розрізаному матеріалу не відбувається.

2. Якщо виявиться, що $\tau = \varphi$, то N_T нормального тиску N і сила тертя F повністю взаємоурівноважуються і ґрунтові частинки, що зустрічаються р лезом, переміщуються за напрямом руху самого леза. Різання відбувається без ковзання.

3. Переміщення черенкового ножа за умовою $\tau = \varphi$, тобто коли лезо поставлено так, що кут τ між напрямком його швидкості та нормаллю до леза більше кута тертя φ леза, по розрізаному матеріалу. При цьому ґрунтова частка буде переміщатися; під дією сили R , поки ущільнення ґрунту в результаті цього переміщення не приведе до того, що опір ґрунту під лезом досягне межі його міцності та ґрунтова частка, переміщена силою R , тобто зім'ята ножем, зруйнується.

4. Дотикання частки ґрунту з точкою леза черенкового ножа за його русі. Розглянутий приклад показує, що в процесі різання, яке супроводжується зім'яттям матеріалу під тиском леза, разом з тим відбувається ковзання леза по матеріалу або матеріалу по лезу. Звідси видно, що такому різанню зі ковзанням можуть піддаватися тільки податливі матеріали.

Абсолютно тендітний матеріал, нездатний відчувати деформацію під тиском, нездатний піддатися процесу різання зі ковзанням.

Виходячи з вищевикладеного можна виділити, що умов різання зі ковзанням два:

1. Напрямок швидкості леза повинен становити з нормаллю до нього кут, що перевищує величину кута тертя леза по розрізаному матеріалу або, різання зі ковзанням можливе в тому випадку, якщо кут τ між нормаллю до цієї точки леза та її швидкістю перевищує кут, тертя φ леза по матеріалу, що розрізається.

2. Матеріал, що розрізається, повинен бути податливий (пружний, пластичний).

Далі розглянемо, прямолінійну форму ріжучої кромки культиваторних лап (рисунок 2.1).

Як відомо, основою вибору величини кута розкошу 2γ є вимога, відповідно до якої коріння та стебла рослин повинні ковзати по лезу лапи. Цим досягається, протікання процесу різання зі ковзанням, що полегшує перерізання бур'янів або сходів їх з леза лапи якщо перерізання не станеться. Завдяки цьому усувається можливість обволікання лапи бур'янами.

Як видно із рисунка 2.1 сила опору бур'яну R може бути розкладена на дві складові - N і T . Складова T прагне зрушити бур'ян вздовж леза, але цьому протидіє сила F . При цьому очевидно; що корінь по лезу зможе переміщатися у тому випадку, якщо звиконується умова $T > F$.

$$\text{Але } T = R \cdot \cos \gamma \text{ і } F = N \operatorname{tg} \varphi, \text{ або } F = \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Підставивши в вищезазначену умову значення T і F отримаємо:

$$R \cos \gamma > R \sin \operatorname{tg} \varphi$$

Звідси $\operatorname{ctg} \gamma > \operatorname{tg} \varphi$ або $\operatorname{tg}(90^\circ - \gamma) > \operatorname{tg} \varphi$.

Відповідно, $\gamma < 90^\circ - \varphi$

У цьому випадку кут τ між нормаллю до цієї точки леза та її швидкістю перевершує кут тертя φ , леза по матеріалу, що розрізається, а це означає, що різання відбувається зі ковзанням.

Якщо величина кута γ більш допустима (тобто $\gamma > 90^\circ - \varphi$), то сила тертя, що

виникає між корінням бур'янів і лезом, стане більшою силою опору. У зв'язку з цим бур'яни не сходять із леза лапи, що може стати причиною забивання останньої. При цій умові кут τ може бути дорівнює куту φ або менше. Ось чому прямолінійна форма лез культиваторних лап не дозволяє збільшити їхню ширину захоплення. Звідси і велике зношування, поломки лап і низька якість обробки ґрунту.

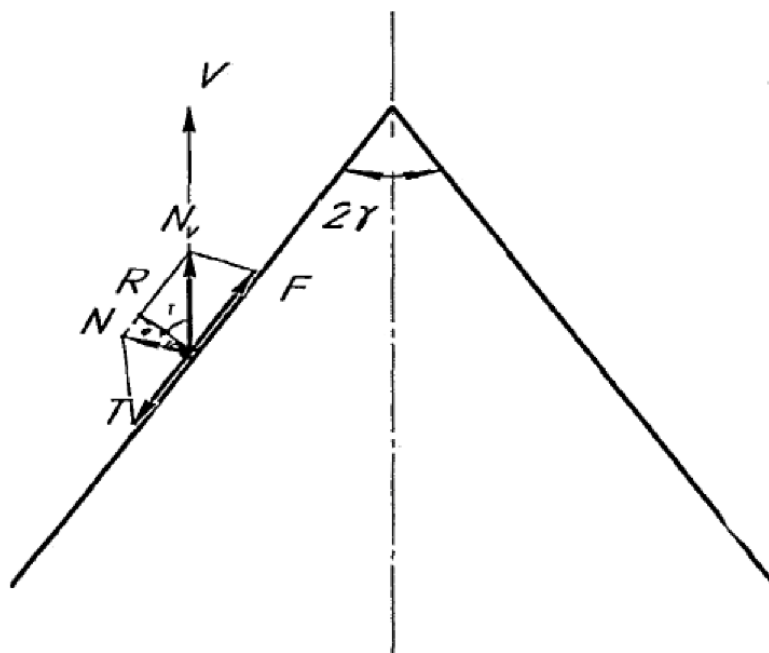


Рисунок 2.1 – Схема роботи лапи культиватора в момент зустрічі її з бур'янами

При виборі форми ріжучої кромки лапи певний інтерес представляють різні криві, а також форма та параметри зубів.

Для усунення недоліків досить перспективним у цьому відношенні є застосування зубів у плоскорізних лапах, викладене в розділі 1.

Встановлено, що "зубчасті" (вирізні) робочі органи сприяють різанню зі ковзанням і сколюванням, при яких поділ ґрунтових частинок відбувається з найменшим зусиллям і без ущільнення дна борозни. При цьому технологічні та енергетичні показники робочого процесу плоскорізальних органів залежать від параметрів та форми зубчастої ріжучої кромки та від фізико-механічних властивостей оброблюваного ґрунту.

Крім того, зуби на ріжучому лезі збільшують зосереджену навантаження на

одиницю довжини, ріжучої кромки в порівнянні з навантаженням суцільну прямокутну кромку. і створюють зони деформацій, які повинні змикатися. Найкраще змикання зон деформацій та утворення рівних поверхонь тріщин відриву в міжзубовому просторі буде забезпечена при рівномірному розподілі напружень по ширині робочого органу [1,13].

З урахуванням тертя, на підставі рівняння плоскої контактної задачі Л.Ф. Бабицький отримав вираз, що задовольняє рівномірному розподілу напружень по ширині робочого органу у вигляді:

$$f_T(x) = VP(t) \left\{ (x + a)[\ln(x + a) - 1] - (x - a)[\ln(x - a) - 1] + \frac{|x|}{a} \right\} \quad (2.1)$$

При цьому автор вказує на то, що розташування ріжучих кромки зубів вздовж довжини леза по логарифмічній кривій виду (2.1) забезпечить розвинену поверхню тріщин відриву по ширині робочого органу сприяють підвищенню якості обробки.

Зуби на робочому органі повинні мати таку розстановку, яка сприяла б максимальному тріщиноутворенню у між зубовому просторі.

Якщо обробіток ґрунту проводиться зубчастим робочим органом шириною L із числом зубів Z прямокутної форми шириною $2a$ та кроком S (рисунок 2.2), виразивши ширину робочого органу через основні геометричні параметри зубів [47] можна визначити їх кількість:

$$Z = \frac{L+S-2a}{S} \quad (2.2)$$

Позначивши відношення напівширини зуба до кроку S через коефіцієнт розміщення зубів K отримаємо:

$$Z = \frac{L+S(1-2K)}{S} \quad (2.3)$$

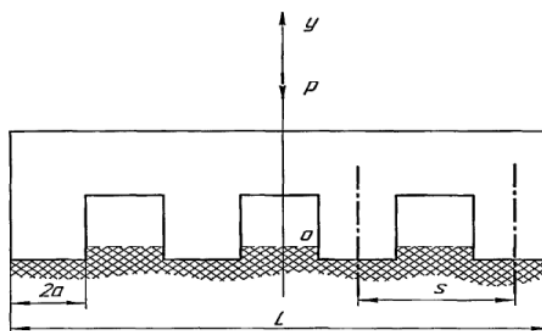


Рисунок 2.2 – Зубчастий робочий орган

Отримані автором, у вигляді графіків залежності створюваного зубчастим робочим органом зусилля P від числа зубів Z представлені на рисунку 2.3. Як видно з цього малюнка, зі збільшенням числа зубів на робочому органі загальне зусилля P зменшується. Особливо різко це позначається зі збільшенням числа зубів від 1 до 4, після чого збільшення число зубів на загальне зусилля істотного впливу не надає. Тому в зубчастих робочих органах можна обмежуватися вже кількістю зубів дорівнює 4, що добре узгоджується з даними роботи [6].

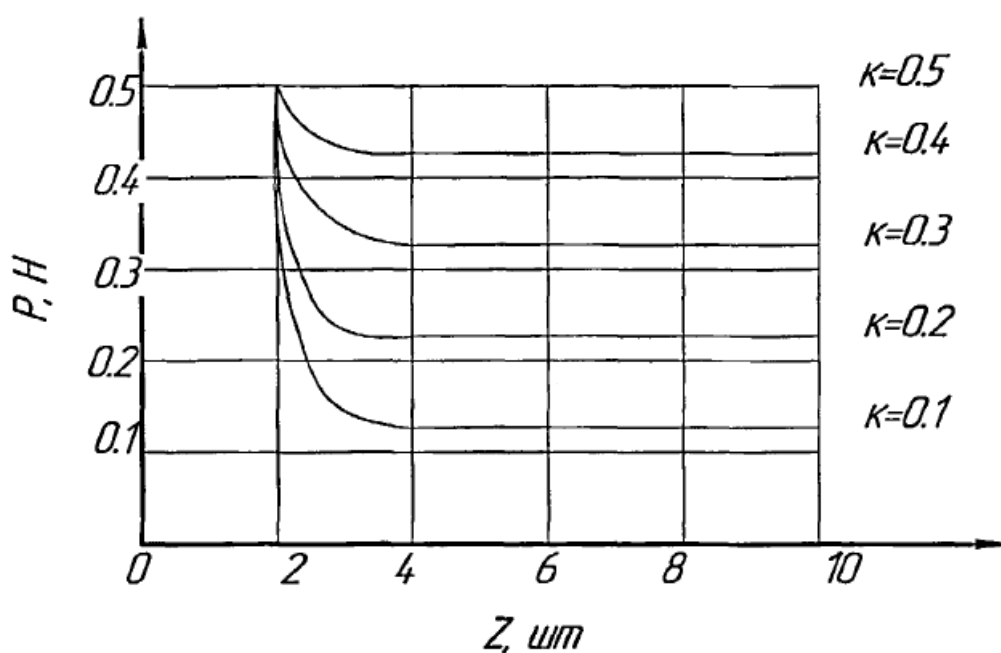


Рисунок 2.3 – Характер зміни зусилля P від числа зубів Z

Різні рівні кривих зміни зусилля P при різних коефіцієнтах розміщення зубів K пояснюється тим, що ширина робочого органа L постійна, а ширина зубів змінюється відповідно коефіцієнту розміщення.

У разі впливу на ґрунт робочого органу з прямокутними зубами ширину зуба $2a$ слід брати таку, щоб наш процес руйнування ґрунту не позначався вплив сусідніх зубів, а тріщини відриву в міжзубовому просторі стуляючись, утворили рівну поверхню.

Отже, для ефективної роботи зубчастого леза необхідно витримати дві умови:

- а) зони деформацій від сусідніх зубів повинні стулятися;
- б) зони деформацій від зубів не повинні перекриватися.

Крім того, автором встановлено (рисунок 2.4), що із збільшенням числа зубів на робочому, органі від 2 до 10 значення K змінюється в незначних межах (від 0,21 до 0,4). Отже, оптимальною величиною коефіцієнта розстановки K зубчастих робочих органів можна вважати 0,21...0,24.

Наведені значення коефіцієнта розміщення зубів досить близькі до аналогічних співвідношень, отриманих професором В.І. Виноградовим за результатами досліджень зубчастих лемешів [28].

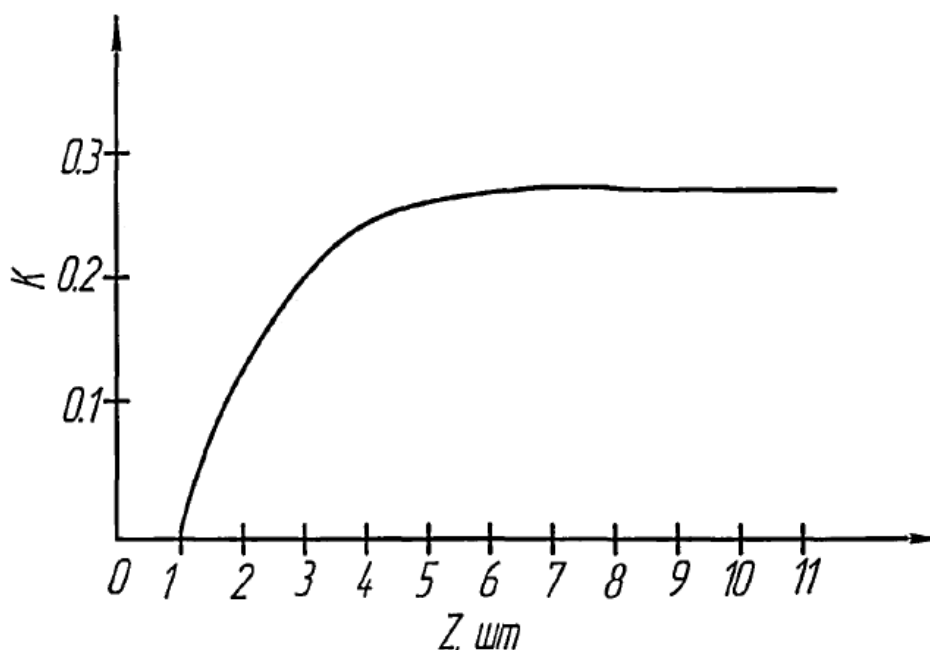


Рисунок 2.4 – Залежність коефіцієнта розміщення K від числа зубів Z

Ширина зубів, крім відповідності її коефіцієнту розміщення, має бути узгоджена з глибиною обробки ґрунту. Ширину зубів робочого органу з урахуванням глибини обробки можна визначити на підставі досліджень ліній ковзання ґрунту перед робочим органом. Такі дослідження вже наведені для ґрунту А.Н: Зеленим, який довів, що поворот ліній ковзання ґрунту вниз відбувається на глибині максимальних тисків; рівною:

$$H_{м,д} = H - \frac{4}{3}a \quad (2.4)$$

де H – глибина різання;

a – напівширина профілю.

Для суглинку середньої вологості О.М. Зеленим знайдено значення глибини, максимальних тисків $H_{м,д}$ дорівнює $0,75H$, що з достатнім ступенем

точності може бути застосовано для кутів різання 0,53 рад. до 1,57 рад [38], в тому числі і для ґрунту з оптимальною вологістю для його обробки. Тоді, використовуючи цю залежність, виходячи з формули (2.4) отримаємо вираз для визначення напівширини зуба з урахуванням глибини обробки у вигляді:

$$a=0.18H \quad (2.5)$$

Як відомо, довжина зуба різального леза має бути такою, щоб верхня, грань леза міжзубового простору не руйнувала ґрунту, в іншому випадку опір просуванню зубчастому робочого органу значно зростає.

Розглянемо вплив на ґрунт частини робочого органа шириною, дорівнює кроку S з зусиллям P_i (рисунок.2.5).

Функції, що описують конфігурацію зуба $f_3(x)$ і вирізів леза міжзубовому просторі $f_n(x)$, відповідно дорівнюють:

$$\begin{aligned} f_3(x) &= 0, \text{ при } -2a < x < 0; \\ f_0(x) &= h, \text{ при } 0 < x < (s - 2a). \end{aligned} \quad (2.6)$$

Виходячи з рівняння (2.20) отримаємо

$$\begin{aligned} f_3(x) &= 0, \text{ при } -2a < x < 0; \\ f_0(x) &= a - \varepsilon, \text{ при } 0 < x < (s - 2a). \end{aligned} \quad (2.7)$$

За умов (2.6) та (2.7) отримаємо рішення інтегрального рівняння у вигляді:

а) для леза у міжзубовому просторі

$$P_n(x) = \pm \frac{C_{0n} - P_1 x}{\pi x \sqrt{(s-2a)^2 - x^2}} \quad (2.8)$$

б) для зуба

$$P_3(x) = \pm \frac{C_{03} - P_1 x}{-\pi x \sqrt{x^2 - 4a^2}} \quad (2.9)$$

де C_{0n} і C_{03} - постійні інтегрування; знак плюс береться за $X < 0$ і знак мінус $X > 0$.

$$C_{03} = \frac{ah}{vK(R)} \quad (2.10)$$

$$C_{0n} = \frac{(1-2a)h}{2vK(R)} \quad (2.11)$$

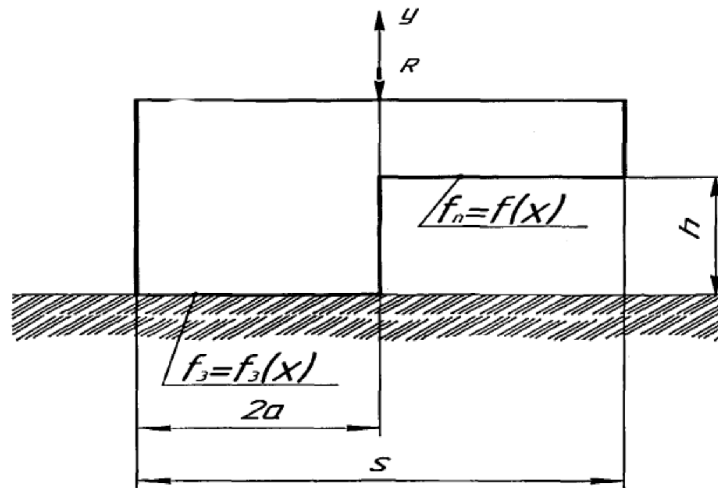


Рисунок 2.5 – Схема впливу зуба на ґрунт

Модуль повного еліптичного інтеграла першого ряду, який визначається як відношення граничних значень координата X згідно з виразом (2.6), у цьому випадку дорівнює нулю, а сам інтеграл дорівнює:

$$K(R) = \int_0^1 \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}} = \frac{\pi}{2}$$

При введеній передумові рівності нулю контактної тиску на леза міжзубового простору для координати x , що дорівнює півширині леза в міжзубовому просторі, визначаємо довжину зуба, враховуючи вираз (2.7) із умови:

$$P_n(x) = \frac{C_{оп} - P_1 x}{\pi x \sqrt{(S - 2a)^2 - x^2}} = 0,$$

Звідки

$$h_3 = \frac{\pi^2 P_{кр} a v}{2} \quad (2.12)$$

Кут загострення зуба повинен забезпечувати при обробці ґрунту мінімальну витрату зусилля. Представляючи у першому наближенні конфігурацію різальної частини зуба близькою до клину, за рівнянням отримаємо вираз розподілу тиску по ділянці контакту зуба з ґрунтом, а напівширина контакту, виходячи з рівняння визначиться з виразу:

$$a = \frac{\pi P_3 v}{2 \operatorname{ctg} \beta} \quad (2.13)$$

Як зазначалося раніше, максимальний тиск розвивається у вершини зуба. Цей тиск, що дорівнює критичному, має перевищувати величину тимчасового опору руйнування ґрунту. За цієї умови первинна тріщина та руйнування ґрунту повинні виникнути біля вершини зуба. Підставляючи рівняння визначення зусилля на зубі: $P_z = \pi a P_{KP}$ в (2.13) вираз для кута загострення зуба набуде вигляду:

$$\beta = \text{arcCtg} \left(\frac{v\pi^2 P_{KP}}{2} \right). \quad (2.14)$$

Враховуючи, що за наявності тертя тиск дорівнює

$$P_{TP} = \frac{P}{\cos \pi \gamma},$$

отримаємо вираз визначення кута загострення зуба з урахуванням тертя у вигляді:

$$\beta_{mp} = \text{arcCtg} \left(\frac{v\pi^2 P_{KP}}{2 \cos \pi \gamma} \right). \quad (2.15)$$

Виходячи з вищевикладеного, для досягнення вказаної мети проєктовано форму робочого органу культиватора, де ріжуча кромка кожного крила лапи має контур у вигляді прямої лінії та виконана зубчастої. Причому передня кромка кожного зуба має прямолінійну форму, та розміщена під деяким кутом ковзного різання до поздовжньої осі лапи та з перекриттям у поперечному напрямку передньої крайки розташованого попереду зуба; а.тильна кромка. кожного зуба виконана прямолінійною і розташована перпендикулярно до контуру зубчастого леза лапи.

Висновки до розділу 2

На; на підставі виконаних теоретичних; досліджень та аналізу їх результатів можна зробити наступне висновок:

1. Отримано аналітичні залежності, які дозволили обґрунтувати, раціональні значення основних конструктивних параметрів робочого органу культиватора.
2. Визначено характер процесу взаємодії робочих елементів лапи з ґрунтом в залежності від установки ножа-стабілізатора, а також особливості впливу робочої поверхні із ріжучою кромкою лапи культиватора на ґрунт.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Мета та програма лабораторних досліджень

З метою уточнення раціональних параметрів робочого органу, що забезпечують якісні агротехнічні та енергетичні показники роботи та перевірки отриманих теоретичних залежностей, стає необхідним проведення комплексу лабораторних досліджень.

На підставі поставлених завдань та огляду літературних джерел [4] були розроблені програма та загальна методика досліджень.

Програмою лабораторних досліджень було передбачено:

1. Визначення деяких фізико-механічних властивостей ґрунту.
2. Проведення порівняльних випробувань експериментальних робочих органів культиватора із серійними лапами з метою перевірки правильності висновків теоретичних досліджень.
3. Визначення впливу швидкості руху робочих органів на складові сил опору та енергоємність робочого процесу.
4. Дослідження впливу ширини захоплення робочого органу на величину складових тягового опору.
5. Визначення раціональних параметрів ножа-стабілізатора, радіально встановленого на робочій поверхні проектованої лапи та його впливом геть енергетичні показники роботи.
6. Дослідження процесу взаємодії робочого органу з ґрунтом звикористанням методів теорії планування експериментів.
7. Перевірка отриманих аналітичних залежностей визначення найважливіших конструктивних властивостей робочого органа.

Згідно програми всі лабораторні дослідження комбінованого робочого органу культиватора проводились у ґрунтовому каналі на кафедрі агроінженерії та технічного сервісу ЛНУП.

3.2 Методика досліджень щодо обґрунтування конструктивних параметрів робочого органу культиватора

3.2.1 Методика визначення фізико-механічних властивостей ґрунту

З метою зведення до мінімуму витрат матеріалів, часу та робочої сили та отримання надійних результатів відповідно до методики, лабораторні дослідження були проведені у ґрунтовому каналі згідно схем, поданих у таблиці 3.1.

Під час проведення лабораторних досліджень визначалися фізико-механічні властивості ґрунту відповідно до ДСТУ Б В.2.1-6-2000 [14]. Для визначення вологості і щільності ґрунту застосовувалися циліндр-бур, ваги, електричну сушильну шафу, а твердість ґрунту, визначалася твердоміром.

3.2.2 Лабораторні дослідження у ґрунтовому каналі

Лабораторні дослідження були проведені у ґрунтовому каналі з використанням спеціально розробленої експериментальної установки.

Досліджувалися варіанти робочих органів культиватора в дерново-підзолистому ґрунті середньосуглинного механічного складу, вологістю у шарі 0...13 см - 17...18,5%. В основу оцінки прийнято горизонтальні та вертикальні складові тягового опору робочого органу раціональна висота ножа-стабілізатора, радіально встановлених на робочій поверхні лапи.

Після досліджень твердості ґрунту в ґрунтовому каналі проводились експерименти із визначення тягового опору стрілкової лапи, закріпленої в тримачах кронштейна рухомої каретки, які є елементами лабораторної установки на базі вище згаданого ґрунтового каналу.

Сама лабораторна установка – це ґрунтовий канал 7 (рисунок 3.1), виконаний у вигляді жолоба, заповненого ґрунтом на глибину 0,30 м. зверху ґрунтового каналу змонтовано рейси 12, по яких примусово переміщується візок 14, виготовлений у вигляді прямокутної рами зварної конструкції, яка опирається на чотири колеса 13. У передній частині рами передбачено кріплення для приєднання електричного динамографа 5. На бокових лонжеронах рами візка 14

змонтовано два кронштейни 4 з валом квадратного перерізу, у середній частині якого змонтовано тримач 2, у якому, в свою чергу, закріплено стрілочасту лапу 1 на пружній стійці. Тягами 3 кронштейна 4 можна регулювати кут входження стійки лапи культиватора безпосередньо в ґрунт каналу 7.

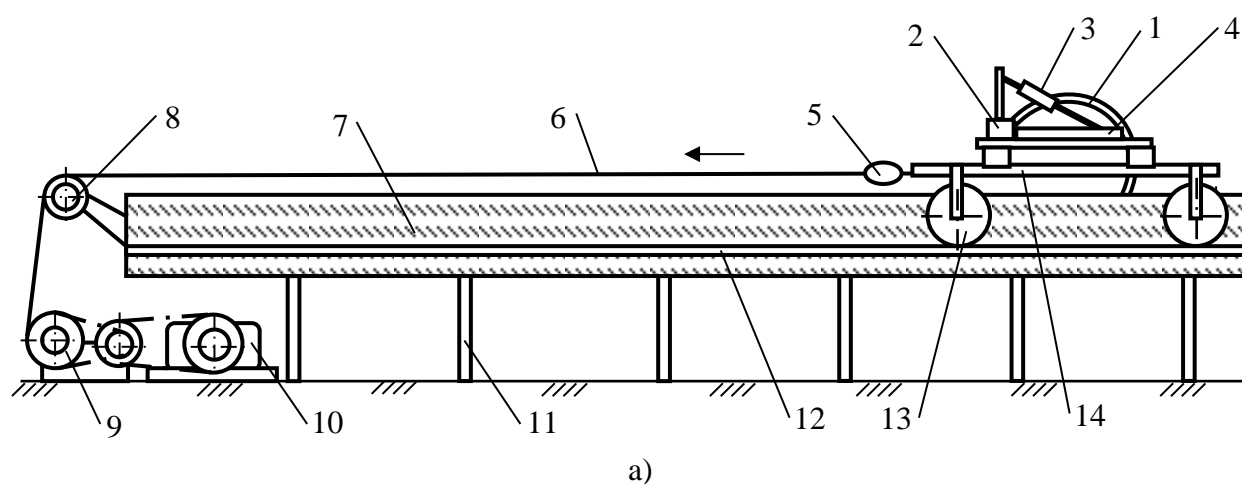


Рисунок 3.1 Лабораторна установка для дослідження опору стрілочасті лапи культиватора POLARIS 10 PREMIUM:

а) схема; б) загальний вигляд; 1 – робочий орган (стрілочаста лапа); 2 – тримач; 3 – тяга регульовальна; 4 – кронштейн; 5 – динамограф електричний; 6 – трос; 7 – ґрунтовий канал; 8 – шків; 9 – варіатор швидкостей; 10 – електродвигун; 11 – опора; 12 – рейси; 13 – колесо візка; 14 – візок; 15 – кабель.

Під час проведення кожного експерименту візок 14 з колесами 13 активно рухався вздовж рейок 12 завдяки приводу від електродвигуна 10, який був технологічно та конструктивно пов'язаний з варіатором швидкостей 9 та шківом 8 через спеціальний трос 6. Цей трос, в свою чергу, був пов'язаний з тяговим електричним динамографом 5, який був відтарований у лабораторних умовах. Він був приєднаний до візка 14.

Тяговий електричний динамограф 6 взаємодіяв з реєструвальною апаратурою персонального комп'ютера через кабель 15, забезпечуючи надійний збір та реєстрацію даних під час експериментів.

Під час експериментальних досліджень візок 14, обладнаний робочим органом у формі стрілкової лапи 1, позиціонувався на початку ґрунтового каналу 7 на зазначену глибину для подальшого обробітку. За допомогою тяг 3 та кронштейнів 4 встановлювався необхідний кут входження лапи в ґрунт. Після включення живлення електродвигуна 10, візок 14 рушав уперед через трос 6, забезпечуючи робочий хід культиваторної лапи 1.

Протягом всього робочого ходу, на осцилографі персонального комп'ютера фіксувалися осцилограми, відображаючи опір стрілкової лапи культиватора. Одночасно, за допомогою секундоміра, реєструвався час проходження ґрунтового каналу 7 між двома крайніми точками відліку, що визначало робочу швидкість V_p руху культиватора під час кожного окремого експерименту.

Після завершення кожного дослідження візок 14 повертався у вихідне положення, вихідні умови змінювалися, і експерименти продовжувались за налагодженою схемою. Для зміни швидкості руху візка із робочим органом використовувався варіатор 9.

Стрілчасті лапи культиватора можуть мати різні кути α , β та γ , і їх співвідношення впливає на опір культиваторної лапи. Таким чином, для ґрунтів різної твердості важливо вибирати стрілчасті лапи з "м'якою" геометрією, щоб ефективно виконувати технологічний процес обробітку ґрунту в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах.

Дослідження проводились для стрілчастих лап з кутами β в межах 8, 12 та 16 градусів та кутами γ в межах 70, 80 та 90 градусів. Глибина обробки ґрунту залишалась незмінною на рівні 60 мм, а швидкість переміщення візка змінювалась у діапазоні 1,5 – 2,5 м/с.

Після обробки отриманих під час дослідів осцилограм визначався тяговий опір стрілчастої лапи культиватора за відомою залежністю:

$$R_{cl} = Y \cdot \delta, \quad (3.1)$$

де Y – середнє значення ординати осцилограми, мм,

δ – масштаб динамографа.

Перед кожною серією експериментів ґрунт вздовж усього жолоба каналу вирівнювався та піддавався ущільненню. Вологість ґрунту під час проведення експериментів становила 23-24 %, а його твердість змінювалась від 2,1 до 5,1 кПа.

Експериментальні дослідження проводились для стрілчастих лап, якими комплектують сучасні культиватори.

3.2.3 Методика обробки результатів експериментальних досліджень у ґрунтовому каналі

Достовірність висновків, зроблених на основі експериментальних досліджень, в основному залежить від точності вимірювань та від правильності обробки їх результатів. Тому при дослідженнях на ці питання було приділено особливу увагу. Обробка отриманих під час досліджень сигнали проводилися на комп'ютері. При цьому були отримані середні значення горизонтальної та вертикальної складових тягового опору.

За тарувальним графіком тензопластики та тензостійки визначаємо масштаби складових тягового опору:

$$m_i = \frac{P_i}{h_s} \quad (3.2)$$

де P_i - величина навантаження за зразковим динамометром;

h_s - висота ординати на графіку.

Швидкість поступального руху візка ґрунтового каналу, значить і робочого органу визначається за формулою:

$$V_c = \frac{h_t}{h_s} S \cdot t, \quad (3.3)$$

де h_t -відстань між імпульсами датчиком часу, що подаються за час дорівнює одній секунді, мм

h_s відстань між імпульсами поданими датчиком оборотів візка за один оберт колеса візка, мм;

S - довжина обода колеса візка, м;

t - час між імпульсами, що подаються датчиком часу, рівний одній секунді, с.

Для приладів та інструментів (рулетка, лінійка, кутоміри, секундомір, вольтметр і т.д.) максимальна величина похибок приймається рівною $\pm 3\%$. Так як у показниках, що вимірюються, у своїх поточних значеннях похибка носить випадковий характер, то найбільш прийнятною у разі є математична обробка даних методом варіаційної статистики, що утворюється на основі теорії ймовірності, елементи, які були викладені вище.

Достовірність отриманих експериментальних даних перевірялася шляхом проведення систематичних контрольних дослідів з великою кількістю повторностей.

Висновок до розділу 3

Відзначимо, що описані загальні та приватні методики дозволили всебічно дослідити та випробувати комбінований робочий орган, вирішити питання про доцільність впровадження його в сільськогосподарське виробництво.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Дослідження та обґрунтування параметрів робочого органу культиватора

Лабораторні експерименти проводилися з дослідження впливу наступних параметрів лапи культиватора: ширини захвату ріжучої кромки, висоти ножа-стабілізатора h_H на тягове зусилля і вертикальну складову реакції ґрунту при різних значеннях глибини ходу робочого органу a та швидкості v руху V . З цією метою була виготовлено спеціальну тензометричну установку, яка розміщувалася на візку ґрунтового каналу. Результати цих досліджень у вигляді графіків представлені на малюнках 4.1; 4.2; 4.3, а чисельні значення - в Додаток В.

4.1.1 Обґрунтування ширини захвату лапи робочого органу культиватора

Одним з основних конструктивних параметрів лап культиватора є ширина захвату, яка встановлюється на підставі емпіричних даних (з умов різання-ковзанням, кришення, заглиблюваності та їх розміщення та ін) [25,27].

Як відомо, будь-яка зміна кута тертя викликає відповідна зміна координат точок зубчастого леза. Тому всяка зміна координати точки до осі Y впливає на оптимальне значення ширини захоплення робочого органу, отже, ця величина має обиратися відповідно до конкретних умов робочого процесу.

З аналізу наведених результатів досліджень випливає, що для зниження енергоємності розпушування-ґрунту ширину захоплення лапи необхідно приймати в межах 0,27...0,30 м. При цьому глибина обробітку ґрунту змінювалася від 0,05 м до 0,12 м.

Як видно з малюнка 4.1, зі збільшенням глибини обробки, питомий опір ґрунту куд спочатку знижується, досягаючи мінімуму, потім знову зростає.

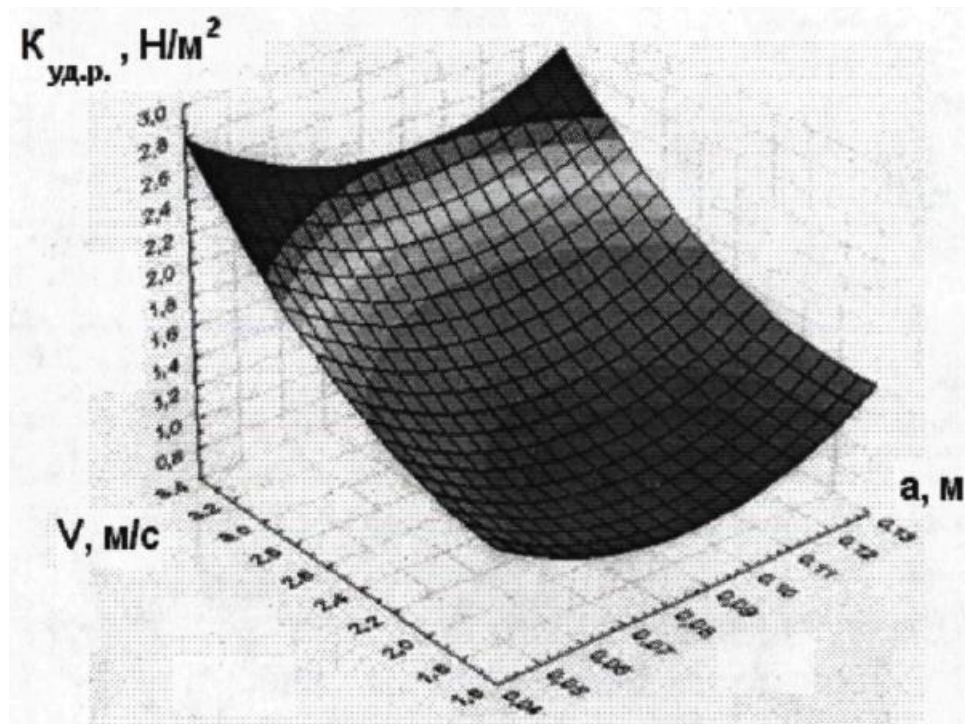


Рисунок 4.1 – Залежність $K_{уд}$ від глибини обробки a та швидкості робочого органу V

Мінімальне значення $K_{уд} = 1,312 \text{ Н/м}^2$ при швидкості руху робочого органу $V = 2,5 \text{ м/с}$, відповідає глибині обробки $a = 0,0893 \text{ м}$. Це можна пояснити тим, що спочатку зі збільшенням глибини обробки a , площа поперечного перерізу оброблюваного пласта зростає інтенсивно, ніж тяговий опір ґрунту, а потім, при подальшому збільшенні глибини, навпаки тяговий опір зростає більш інтенсивно. Ймовірно, це пов'язано з тим, що зі збільшенням глибини обробки, робочий орган взаємодіє з більш щільними шарами ґрунту.

На малюнку 4.2 показано графік залежності тягового опору робочого органу P_x від висоти ножа-стабілізатора h_H , а також від ширини захвату лапи b .

Залежність $P_x = f(b)$ показує збільшення тягового опору з збільшенням ширини захвату лапи через зростання енергоємності процесу розпушування ґрунту одним робочим органом, за рахунок зростання площі поперечного перерізу пласта, яку впливає лапа. Ця залежність є квадратичною і зі збільшенням ширини захоплення лапи більше $0,30 \text{ м}$ тягове опір P_x зростає інтенсивніше.

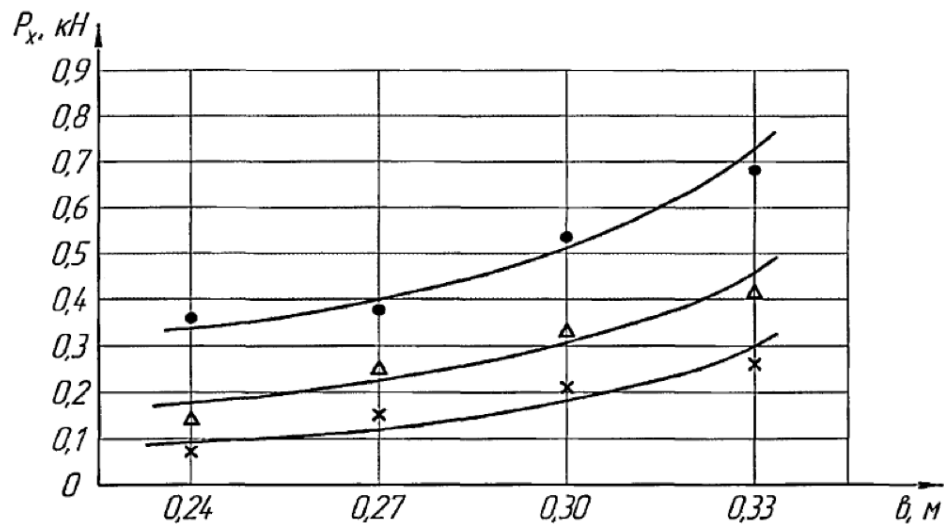


Рисунок 4.2 – Залежність P_x від ширини захвата лапи b : $x - a = 0,05$ м;
 $\Delta - a = 0,08$ м; $\bullet - a = 0,312$ м

4.1.2 Вплив висоти ножа-стабілізатора на енергетичні показники роботи

Важливим конструктивним параметром стабілізатора ножа є його висота, радіально встановлена на робочій поверхні лапи.

Ця висота також встановлюється на підставі емпіричних даних [2].

Виходячи з теоретичного аналізу та результатів наших експериментів можна вибрати раціональну зону встановлення висоти ножа-стабілізатора межах від 0,025 до 0,035 м [18].

З малюнка 4.2 видно, що за зміни висоти h_n не більше від 0,015 до 0,025 м настає значне збільшення тягового опору робочого органу. Це пов'язано з явищем защемлення та звантажування ґрунту, яке, супроводжується зростанням об'єму тіла ковзання та збільшенням площі контакту ножа-стабілізатора з ґрунтом. Мінімальне значення тягового опору та стійкий режим роботи в зоні 0,025...0,035 м пояснюється збігом площини ножа-стабілізатора з площиною сколювання ґрунту.

Як відомо; при роботі лапи культиватора розвиваються випереджаючі тріщини, сколювання. При цьому основна деформація ґрунту відбувається на робочій поверхні лапи в області її поздовжньої осі де встановлений ніж-стабілізатор. Останній переміщаючись цими, площинами сколювання відчуває менший тяговий опір [16].

З аналізу наведених результатів витікає, що для зниження енергоємності розпушування ґрунту, ширину захвату лапи b необхідно приймати в межах; 0,27...0,30м.

З рисунку 4.3 видно, що зі збільшенням висоти ножа-стабілізатора h_H , тяговий опір робочого органу; зростає увігнутою кривою.

Це можна пояснити тим; що з збільшенням h_H зростає і площа взаємодії з ґрунтом поверхні робочого органу.

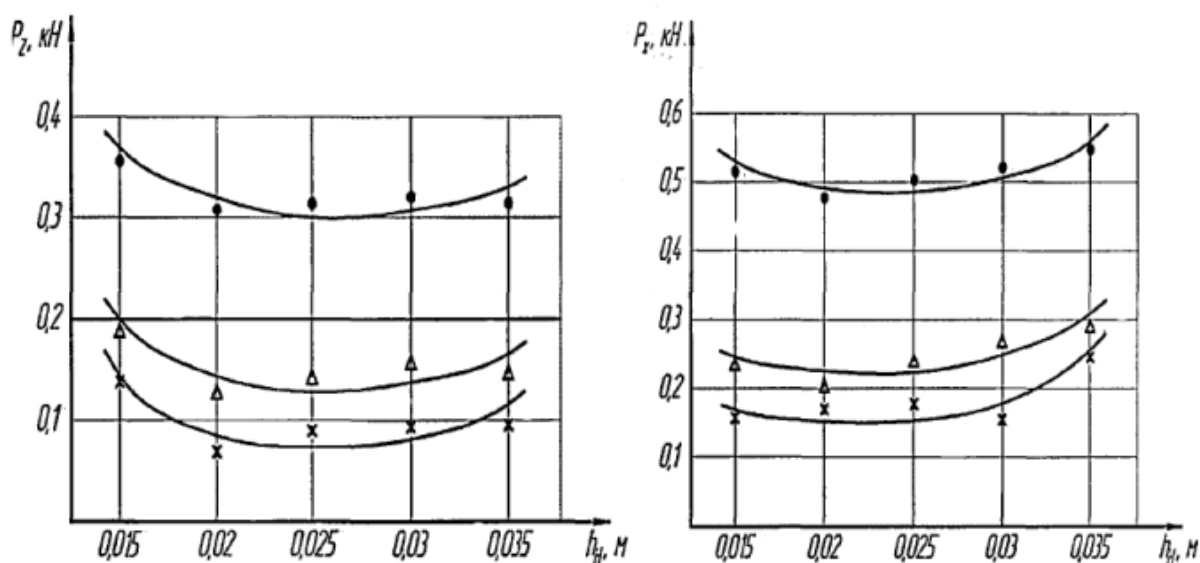


Рисунок 4.3 – Залежності P_z і P_x від висоти ножа-стабілізатора h_H і глибини обробки a : x - $a = 0,05$ м; Δ - $a = 0,08$ м; \bullet - $a = 0,12$ м.

Також із рисунка 4.3 видно; що залежність $P_z = f(h_H)$ має мінімум при $h = 0,025$ м, для значень $a = 0,085$ м. Це показує кращу стійкість ходу робочого органу по глибині, коли висота ножа-стабілізатора має розмір, близький до цього значення. Стійкий режим від 0,022 до 0,028м пояснюється, в основному, процесом тріщиноутворення. З вищевикладеного аналізу результатів досліджень можна вибрати раціональну висоту h_H у вищезгаданих межах.

Тому слід зазначити, що при заданих межах h_H має місце стабілізація вертикального навантаження робочий орган. Це простежується та за рівняннями регресії, отриманими за результатами дослідів (4.1); (4.2) та (4.3).

4.1.3 Вплив глибини обробки та швидкості руху робочого органу на його силові характеристики

При дослідженні впливу глибини обробки та швидкості руху робочого органу на його силові характеристики діапазон варіювання глибини обробки становив від 5 до 12 см. Результати досліджень показують, що складові тягового опору в міру збільшення глибини обробки також зростають.

Як видно з рисунку 4.1, залежність питомого навантаження по лініях рівного рівня відповідає мінімальній швидкості поступального руху (2,5 м/с) та глибині обробки в межах 0,0893 м.

Виявлені явища відображаються і за рівняннями регресії, які вийшли, в результаті математичної обробки експериментальних даних, у такому вигляді:

$$P_x = -282,2 - 902,2 h_H + 5572,7 v - 16569,3 a - 241V - 2870,5 h_H v - 26666,8 h_H a - 2404,6 h_H V + 12381,0 v a + 103,7 v V + 1265,1 a V + 249790,6 h_H^2 - 7716,1 v^2 + 89693,9 a^2 + 60,1 V^2 \quad (4.1)$$

$$P_z = -230,2 - 9078,8 h_H + 1810,8 v - 6188,9 a + 232,8 V - 8287,0 h_H v - 10297,6 h_H a - 72,8 h_H V + 6150,8 v a + 18,4 v V - 15,1 a V + 208854,1 h_H^2 - 3096,7 v^2 + 47125,8 a^2 - 37,4 V^2 \quad (4.2)$$

$$K_{y0} = 3,667 + 19,627 h_H - 33,083 v - 0,808 a + 0,827 V - 198,750 h_H v - 258,393 h_H a - 8,131 h_H V - 32,103 v a - 3,054 v V - 1,586 a V + 1913,270 h_H^2 + 84,78 v^2 + 114,432 a^2 + 0,215 V^2 \quad (4.3)$$

де K_n - питомий опір ґрунту, Н/м².

Оцінка адекватності отриманих математичних моделей та визначення її значущості емпіричних коефіцієнтів регресії є сутністю регресивного аналізу [46]. Результати розрахунку вищезазначених параметрів: представлені в додатку В.

Висновки до розділу 4

Проведені лабораторно-польові дослідження дозволяють обґрунтувати важливі конструктивні параметри експериментального робочого органу та підтвердили теоретичні передумови щодо поліпшення процесу передпосівної обробки ґрунту, отримані позитивні результати за агротехнічними та енергетичними показниками робочого процесу, що виконується експериментальними робочими органами.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Моделювання виникнення травм та аварій

Методикою оцінки рівня небезпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію (показника) рівня небезпеки для конкретного об'єкта. Таким показником вибрана ймовірність виникнення аварії, травми або катастрофи залежно від досліджуваного явища.

Для того щоб оцінку рівня небезпеки певного об'єкта чи явища запровадити на виробництві, необхідний простий і доступний метод обчислення значень ймовірності будь-якого випадкового явища. Основні принципи цього методу полягають у тому, що на основі обстеження робочого місця чи окремої машини (об'єкта) виявляють виробничі небезпеки, можливі аварійні або травмонезбезпечні ситуації. При оцінці ситуацій визначають події, які можуть стати головною подією при побудові логіко-імітаційної моделі аварії або травми (чи катастрофи). Після цього будують модель («дерево відказів і помилок оператора»). При цьому важливе значення має правильний вибір головної випадкової події.

Після вибору головної випадкової події (події) розпочинають побудову моделі («дерева») [11,12,32]. Використовуючи оператори «І» та «АБО», виконують набір ситуацій (відомих до цього), які можуть призвести до тієї події, яка вибрана як головна. Наприклад, на схилі працював комбайн, небезпечним явищем цього буде перекидання його або випадіння комбайнера з кабіни. Отже, приймаємо подію «травма» її як головну зв'язують з наступною подією шляхом логічного аналізу. Після визначення відповідних аварійних, травмонезбезпечних або катастрофічних ситуацій та їх кількості, визначаємо інші події, що входять до кожної такої ситуації, логічним аналізом із застосуванням операторів «І», «АБО» та інших. Процес побудови моделі триває поки не будуть знайдені усі базові події, що визначають межу

моделі.

Кожна логіко-імітаційна модель як правило характеризується із застосуванням різних символів тієї чи іншої події, яка першою чергою бере свій початок з головної події, а наступні розміщуються після неї зверху вниз, аж до базових подій.

5.2. Розробка логічно-імітаційної моделі травм

Зробимо опис розробки методики логічно-імітаційної моделі.

Головну випадкову подію, модель якої нам необхідно побудувати, вибираємо виходячи з оцінки відповідного об'єкта, виробництва чи окремої одиниці обладнання і змісту його найбільш небезпечного явища, яке за певних умов виробництва може виникнути. Вибір головної події розпочинають побудову моделі. Використовуємо оператори «І» та «АБО» – виступають у ролі набору ситуацій, які можуть призвести до тієї події, яка вибрана як головна [11,12,32].

Слід мати на увазі, що кожна випадкова подія, до якої входять базові події, може формуватися й виникати при входженні у неї двох, трьох і більше базових подій за допомогою відповідних операторів.

Повністю побудована і перевірена модель підлягає математичній обробці для визначення ймовірності кожної випадкової події, що увійшла до моделі, починаючи з базових і закінчуючи головною.

Ймовірності базових подій визначають за даними виробництва. Наприклад, базова подія «стан контролю з охорони праці». Для визначення ймовірності ми повинні встановити наскільки (%) від ідеального рівня здійснюється відповідний контроль на об'єкті. Якщо буде встановлено, що такий рівень контролю становить 50 або 30 %, то ймовірність відповідно дорівнює 0,5 і 0,3. При відсутності контролю ймовірність «не здійснення контролю» становитиме 1, якщо контроль ідеальний, то відповідна ймовірність дорівнює 0.

Після обчислення ймовірності всіх подій, розміщених у ромбах, і базових подій, починаючи з лівої нижньої гілки «дерева», позначають номерами всі випадкові події, що увійшли до моделі.

На цьому можна вважати, що певна модель підготовлена до математичної обробки. Для виконання математичних обчислень ймовірностей випадкових подій логіко-імітаційної моделі застосовують формули [11,12,32].

Побудуємо логіко-імітаційну модель процесу, формування і виникнення аварії та травми в процесі механізованого обробітку ґрунту та складемо перелік базових подій. Кожній події (пункту) присвоюємо певне значення ймовірності його виникнення:

1. Відсутність елементів системи	$P_6 = 0,14;$
2. Професійний рівень тракториста	$P_1 = 0,21;$
3. Наявність дефектів	$P_8 = 0,15;$
4. Підвищений люфт в рульовому керуванні	$P_7 = 0,09;$
5. Досвід роботи	$P_2 = 0,13;$
6. Пошкодження елементів системи	$P_5 = 0,15;$
7. Психо-фізіологічний стан комбайнера	$P_3 = 0,09;$

Складені події дають можливість побудувати матрицю логічних взаємозв'язків між окремими пунктами.

Отже, розглядаємо травмонебезпечну ситуацію, що можлива виникнути за умови роботи машинотракторного агрегату на значних ухилах поля, близько ярів чи при їх об'їзді, котра може призвести до його перекидання, а також зробимо розрахунок ймовірності виникнення подій, що формують логіко-імітаційну модель процесу механізованого скошування у валки.

Ймовірність виникнення події P_{10} визначаємо так:

Ймовірність виникнення події P_9 визначаємо наступним чином:

$$P_9 = P_1 + P_2 + P_3; \quad P_9 = 0,21 + 0,13 + 0,09 = 0,43;$$

Ймовірність виникнення події P_{11} визначаємо:

$$P_{11} = P_6 \cdot P_5; \quad P_{11} = 0,14 \cdot 0,15 = 0,021$$

Ймовірність виникнення події P_{12} визначаємо так:

$$P_{12} = P_7 + P_8; P_{12} = 0,09 + 0,15 = 0,24;$$

Ймовірність події P_{13} :

$$P_{13} = (P_1 + P_2 + P_3) \cdot P_4; P_{13} = (0,21 + 0,13 + 0,09) \cdot 0,13 = 0,0559;$$

Ймовірність події P_{16} :

$$P_{16} = P_{13} \cdot P_{14} \cdot P_{15}; P_{16} = 0,0559 \cdot 0,021 \cdot 0,24 = 0,00282;$$

За нашими розрахунками ймовірність виникнення травми оператора під час перекидання машинотракторного агрегату є досить мала і становить $P_{16} = 0,00282$.

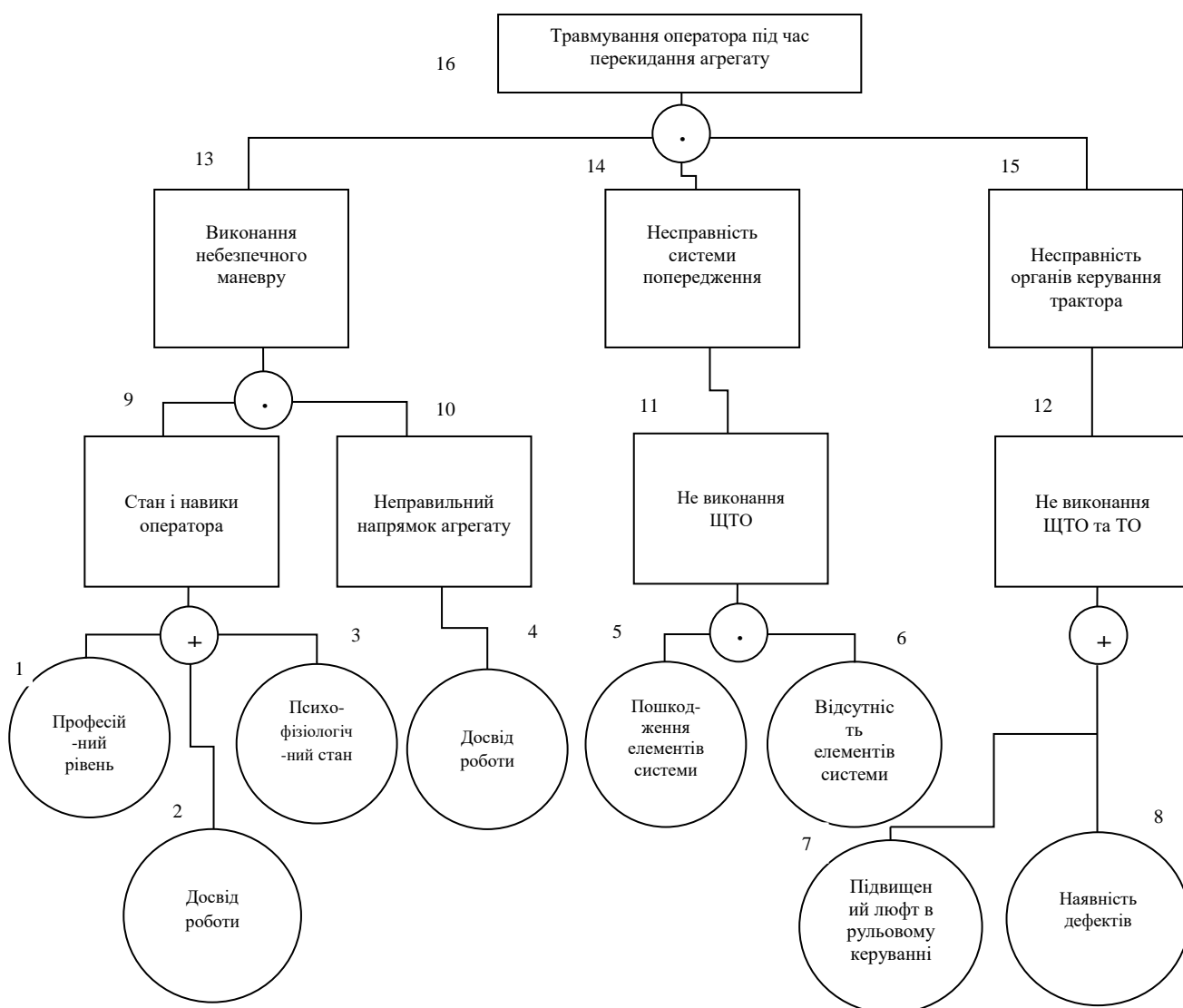


Рисунок 5.1 – Матриця логічних взаємозв'язків між окремими подіями травмонебезпечної ситуації.

5.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Ефективність захисту населення у НС може бути досягнута тільки на основі усвідомленого урахування принципів забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях і ефективному використанні всіх засобів і способів, що послаблюють її негативні впливи та збільшують безпеку населення. Принципи забезпечення безпеки в умовах НС за ознаками їх реалізації умовно ділять на три групи [32,51].

Перша – це завчасна підготовка і накопичення засобів захисту (колективних та індивідуальних) від небезпечних і шкідливих чинників, забезпечення їхньої готовності для використання населенням, а також підготовка до проведення заходів щодо евакуації населення з небезпечних зон (зон ризику).

Друга – диференційований підхід у забезпеченні повного обсягу захисних заходів в залежності від виду джерел небезпечних і шкідливих чинників, а також від місцевих умов.

Третя – комплексне ефективне застосування засобів і способів, які забезпечують надійний захист від наслідків НС, узгоджене здійснення усіх заходів, що гарантують безпеку життєдіяльності в сучасному техносотіальному середовищі.

Основний засіб захисту населення в надзвичайних ситуаціях - це евакуація населення, його укриття в захисних спорудах, наприклад у бомбосховищах, використання засобів індивідуального захисту і медичної профілактики [32,51].

Захисні споруди – це інженерні об'єкти, спеціально призначені для захисту населення від фізичних, хімічних, біологічно небезпечних і шкідливих чинників. В залежності від захисних властивостей їх ділять на захисні і протирадіаційні укриття (ПРУ), які повинні відповідати будівельним нормам і правилам (СНіП 2.01.51-90).

Крім цього колективного способу захисту, важливі засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) населення від потрапляння всередину організму, на шкірні покриви та одяг радіоактивних, отруюючих речовин і бактеріальних засобів.

Важливу роль в цьому відіграють медичні засоби індивідуального захисту, які призначені для профілактики і надання медичної допомоги населенню, постраждалому у НС. З їх допомогою можна зберегти життя, попередити або значно зменшити ступінь розвитку поразки людей, підвищити стійкість організму людини до впливу деяких небезпечних і шкідливих чинників (іонізуючих випромінювань, токсичних речовин і бактеріальних засобів). До них відносяться радіопротектори (наприклад, цистамін, що знижує ступінь впливу випромінювань), антидоти (речовини, що попереджують або послаблюють дію токсичних речовин), протибактеріальні засоби (антибіотики, інтерферони, вакцини, антитоксини), а також засоби часткового санітарного опрацювання (індивідуальний перев'язувальний пакет, індивідуальний протихімічний пакет) [32,51].

Велике значення для забезпечення безпеки життєдіяльності населення у НС має завчасне здійснення заходів, адекватних від виникнутої ситуації. Для цього необхідно навчити населення, робітників діям у НС, організувати своєчасне оповіщення про загрозу виникнення НС, проведення радіаційної, хімічної і бактеріологічної розвідки, а також дозиметричного і лабораторного (хімічного) контролю; проведення профілактичних протипожежних, протиепідемічних і санітарно-гігієнічних заходів, створення запасів матеріальних засобів для проведення рятувальних невідкладних аварійних робіт (РНАВР), які необхідно провести після аварії.

Для зменшення негативних наслідків аварії на підприємстві важливим є порядок оповіщення. При аварії, масштаби якої не виходять за межі санітарно-захисної зони (СЗЗ) об'єкту сповіщаються чергові зміни аварійних служб, невоєнізована охорона, цехи, які потрапляють в зону хімічного зараження, керівний склад та штаб ЦЗ об'єкту, керівництво підприємства, установи, організації, в тому числі тих, які розташовані поблизу СЗЗ.

Оповіщення про аварію проводиться черговим диспетчером по об'єктовій системі оповіщення з використанням гучномовців та електросирен. Черговий

диспетчер повинен доповісти черговому по відділу з надзвичайних ситуацій (НС) підприємства та міста (області).

Якщо масштаби аварії виходять за межі СЗЗ об'єкту черговий диспетчер в першу чергу сповіщає чергову зміну аварійно-технічних служб, керівництво цехів, які потрапляють в зону хімічного, біологічного, радіаційного зараження. Необхідно сповістити керівний склад та штаб ЦЗ об'єкту, органи державної адміністрації, чергових по відділу з НС міста (області) та по відділу внутрішніх справ. Це необхідно для швидкого оповіщення підприємств, установ, організацій (в першу чергу дитячі заклади і школи) та населення. Текст звернення до працівників і службовців та населення повинен бути розроблений завчасно і затверджений начальником цивільної оборони міста (району, області).

Своєчасне попередження населення про виникнення надзвичайних ситуацій здійснюється за допомогою сирен, гудків промислових підприємств, що означає: "Увага всім!". За цим сигналом всі повинні включити радіотрансляційні точки, радіо-, телеприймачі і прослухати повідомлення. Щоб орієнтуватися у власних діях, необхідно знати зміст сигналів, характерних для НС на кожному небезпечному об'єкті і виконувати суворо визначені дії. Всі повідомлення штабу ЦО повторюють впродовж 5 хвилин [32,51].

Висновки до розділу 5

1. Перед початком збиральних робіт керівниками господарств, фермерами повинні бути проведені певні організаційні профілактичні заходи, які можуть вплинути на стан здоров'я виконавця робіт. А саме, в першу чергу необхідно забезпечити: проведення інструктажів з охорони праці та пожежної безпеки, кваліфікація і вік працівника, експлуатаційний стан робочого пристрою (трактора, комбайна).

2. За допомогою опису в підручнику Лехман С.Д побудови "дерева" відмов і помилок операторів різних систем, дало змогу вести математичну обробку моделі ціль якої є одержання ймовірності виникнення таких випадкових подій, як аварія, травма, катастрофа та ДТП. Цей метод, варто використовувати

для аналізу існуючих або потенційних небезпек, що виявлені при обстеженні робочих місць, окремих марок машин, агрегатів.

3. В основі методики оцінки рівня небезпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію рівня небезпеки для конкретного об'єкта. Таким показником вибрана ймовірність виникнення аварії, травми залежно від явища що досліджується.

4. Найбільш вагоме значення для забезпечення безпеки життєдіяльності населення у НС має завчасне здійснення заходів, адекватних від виникнутої ситуації. Ефективність цих засобів захисту населення у НС може бути досягнута тільки на основі усвідомленого урахування принципів забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях і ефективному використанні всіх засобів і способів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено нову конструктивну схему робочого органу культиватора для передпосівної обробки ґрунту, робоча поверхня якого виконана у вигляді поєднання двох ділянок логарифмічних спіралей, опуклістю вгору кривизни: негативною — у підрізальній частині і позитивною в розпушувачій частині, радіально забезпеченої ножем-стабілізатором, що огинає поверхню лапи та встановлений паралельно її поздовжньої осі. При цьому ріжуча кромка кожного крила лапи виконана зубчастою, причому передня кромка кожного зуба має прямолінійну форму та розміщена під кутом ковзного різання до поздовжньої осі лапи та з перекриттям у поперечному напрямку передньої кромки розташована попереду зуба, а тильна кромка кожного зуба виконана прямолінійною і розташована перпендикулярно до, дотичної, відповідної точки контур ріжучої кромки лапи.

2. В результаті виконаних теоретичних досліджень визначено характер процесу взаємодії робочих елементів лапи з ґрунтом в залежності від вибору висоти ножа-стабілізатора, особливості впливу робочої поверхні та зубчастого леза лапи робочого органу на ґрунт;

3. Лабораторними дослідженнями впливу робочого органу на ґрунт встановлено, що для зниження енергоємності розпушування ґрунту і ширину захвату лапи необхідно приймати в межах 0,27...0,30 м; а також раціональним технологічним регулюванням робочого органу культиватора є радіальна установка висот ножа-стабілізатора щодо робочої поверхні лапи, яка вибирається в межах 2,5 см.

4. Найбільш вагоме значення для забезпечення безпеки життєдіяльності населення у НС має завчасне здійснення заходів, адекватних від виникнутої ситуації. Ефективність цих засобів захисту населення у НС може бути досягнута тільки на основі усвідомленого урахування принципів забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях і ефективного використання всіх засобів і способів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алфьоров О. І. Теоретичний аналіз автоколивань ґрунтообробних органів на пружній підвісці з урахуванням стохастичних факторів / Алфьоров О.І., Гринченко О. С., Савченко В. Б., Юр'єва Г. П. // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів, 2016.- № 5.- С. 225–231.
2. Армашов Ю.В. Надійність сільськогосподарської техніки: навчальний посібник / Ю.В. Армашов, П.К. Охмат. Дніпропетровськ.: РВВ ДДАУ, 2008. 208 с.
3. Бакалець Д. В., Савуляк В. І. Підвищення надійності та відновлення металоконструкцій транспортних та сільськогосподарських машин / Збірник наукових праць ВНАУ. Серія Технічні науки, 2012. Випуск 11(66). Т. 2. С.302–306.
4. Білуха М. Т. Методологія наукових досліджень: Підручник. Київ: АБУ, 2002. 480 с.
5. Булгаков В.М. Від класичних основ землеробської механіки до сільськогосподарських машин майбутнього / В.М. Булгаков, А.С. Заришняк, І.В. Головач // Механізація і електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2012. – Вип. 96. – С. 26-34.
6. Булгаков В.М. Побудова математичної моделі коливального руху у ґрунті / В.М. Булгаков, І.В.Головач, В.П. Горобей, О.М. Свірень // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин/Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник КНТУ. – Кіровоград, 2015. Вип.45. – Ч.1. – С. 50-62.
7. Булгаков В.М. Пріоритетні напрями наукових досліджень з механізації сільського господарства / Булгаков В.М., Лінник М.К., Гуков Я.С. – Збірник наукових праць НАУ “Механізація сільськогосподарського виробництва”, т. X, 2001. – С. 8–14.
8. Булгаков В.М. Стан та перспективи створення в Україні сучасних сільськогосподарських машин / В.М.Булгаков, В.В.Адамчук // Наук. вісник

Луганського нац. аграр. ун-ту. – Луганськ, 2011. – № 29. – С. 252-260. – (сер. «Технічні науки»).

9. Василенко П. М. До історії розвитку землеробської механіки на Україні / Василенко П. М., Войтюк Д. Г. // Наук. вісник Нац. аграрн. ун-ту. Київ, 1997. Вип. 9. С. 3 - 8.

10. Гевко Р.Б. Машини сільськогосподарського виробництва / Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Павх І.І. Тернопіль: Т, 2005. 228 с.

11. Гогіташвілі Г.Г., Лапін В.М. Основи охорони праці. Львів: Новий світ, 2000. 230 с.

12. Городецький І. В, О. Тимочко. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях: методичні рекомендації до виконання розділу у роботах ОКР "Магістр" студентами факультету механіки та енергетики. Львів: Львівський НАУ, 2011. 16 с.

13. Грінченко А.С. Результати моделювання напружено-деформованого стану S-подібної стійки культиватора / Грінченко А.С., Алфьоров О.І., Марченко М.В., Полтавченко О.В. // Вісник Харків. НТУСГ ім. П. Василенка. Харків, 2011. Вип. 114: Проблеми надійності машин та засобів механізації с.-г. вир-ва. С. 299-304.

14. Грунти. Польові випробування Загальні положення https://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY_ALL/DSTY4/dsty_b_v.2.1-6-2000.pdf (Дата звернення 30.08.23)

15. Гуков Я. С. Технологія і техніка. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України. Київ: ДІА, 2007. 276 с.

16. Довбуш А.Д. Опір матеріалів: навчально-методичний посібник до виконання курсової роботи / А.Д. Довбуш, Н.І. Хомик. Тернопіль: Видво ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. 191 с.

17. Довбуш Т.А. Методи проектування сільськогосподарських машин: навчально-методичний посібник до курсового проектування / Т.А. Довбуш, Н.І. Хомик, А.Д. Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. 72 с.

18. ДСТУ 3004-95. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. Київ: Держстандарт України, 1995. 119 с.

19. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т.1 (ч.1). Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. Харків: Око, 2001. 444 с.

20. Застосування способів основного обробітку ґрунту в сівозмінах/ В.М. Кабанець, М.Г. Собко, О.В. Радченко / під ред. М.Г. Собка. Сад, 2015.16 с.

21. Калетнік Г.М Використання сучасних методів механіки для сільського господарства // Г.М. Калетнік, О.М Черниш, М.Г Березовий / Збірник наукових праць ВНАУ. Вінниця, 2011.Т1 (65). С.8-18.

22. Калетнік Г.М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність та жорсткість. Ч.І, ІІ: Підручник / Г.М. Калетнік, М.Г. Чаусов, В.М. Швайко, В.М. Пришляк та ін.; за ред. Г.М. Калетніка, М.Г. Чаусова. Київ: Хай ТекПрес, 2011. 616 с.

23. Калетнік Г.М. Теоретична механіка в прикладах та завданнях: Навч. посібник / В. М. Булгаков, Г. М. Калетнік, І. В. Гриник та ін.; За ред.: В. М. Булгакова. Київ: Аграрна наука, 2014. 348 с.

24. Калетнік Г.М. Теорія плоскопаралельного руху удобрювальнопосівного машинно-тракторного агрегату / Калетнік Г.М., Адамчук В.В., Петриченко Є.А., Булгаков В.М., Кувачов В.П.// Всеукраїнський науковотехнічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». Вінниця: ВНАУ, 2017. №2 (97). С. 6-18.

25. Калетнік Г.М. Технічна механіка [Текст]: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Калетнік Г.М., Булгаков В.М.; Черниш, О.М. та ін.. - Київ: Хай-Тек Прес, 2011. 340 с.

26. Коваленко А.В. Культиватор для суцільного обробітку ґрунту для ґрунтозахисної системи землеробства [Текст] // Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХДТУСГ Харків, 2004. Вип.29. С. 180 - 184.

27. Ковцун Ю.М. Комбіновані агрегати для обробітку ґрунту /О.В. Рак, Ю.М. Ковцун //Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей, том I IX міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів (Тернопіль, 25-27 листопада 20120. Тернопіль. ТНТУ, 2020. С. 118-119.

28. Козаченко О. В., Шкрегаль О. М. Дослідження конструкцій і режимів роботи робочих органів культиваторів. Техніка і енергетика АПК: Науковий вісник НУБіПУ України. Київ: НУБіП, 2010. Вип. 144, Ч.4. С.122-127.

29. Коломієць С. М. Обґрунтування параметрів культиваторів розпушників для передпосівного обробітку ґрунту. Вісник Харків. НТУСГ ім. П. Василенка. Харків, 2014. Вип. 145: Технічний сервіс машин для рослинництва. С. 75–81.

30. Кузнецов В.Д., Степанов Д.В. Технологія та устаткування для наплавлення. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка. Київ, 2017. 78 с.

31. Культиватори ЛЕМКЕН-Україна [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://lemken.com.ua/ua/harrow_karat1 (дата звернення 03.04.2023р.)

32. Левченко О.Г. Охорона праці у зварювальному виробництві Навчальний посібник. Київ: Основа, 2010. 240 с.

33. Мелконян Д.В. Фізико-механічні властивості ґрунтів: методичні вказівки до практичних занять з дисципліни "Ґрунтознавство" для студентів III курсу спец. 103 "Науки про Землю" спеціалізації "Інженерна геологія та гідрогеологія" / Д. В. Мелконян; Одес. нац. ун-т імені І. І. Мечникова, Геологогеографічний ф-т. Херсон: Видавничий дім "Гельветика", 2019. 24 с.

34. Надійність сільськогосподарської техніки. / С.Г. Гранкін та ін. За ред. В.Ю. Черкуна. Київ: «Урожай», 1998. 208с.

35. Опір матеріалів / Під заг. ред. акад. АН УРСР Г.С. Писаренко. Київ: Вища школа, 1986. 775 с.

36. Пастухов В.І. Довідник з машиновикористання в землеробстві. [текст]/. В.І. Пастухов, А.Г. Чигрин, П.А., Джолос та ін. Харків: Весна, 2001. 344с.

37. Пат. 97217 Україна, МПК А 01В 35/02. Культиватор для обробітку ґрунту [Текст]/ С.О. Харченко, Г.В. Фесенко, С.С. Антоненць., В.П. Лубенець, І.С. Тіщенко; Бюл.№1, 2012 р.

38. Пришляк В.М. Умови експлуатації і основні причини виходу з ладу ріжучих елементів робочих органів сільськогосподарських машин / В.М. Пришляк, В.М. Яропуд // Збірник наукових праць ВНАУ. - В.: Вінниця, 2010.- №5.- С.117-119.

39. Сисолін В. П., Сало В. М., Кропівний В. М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування / за ред. М. І. Черновола. Київ: Урожай, 2001. 384 с.

40. Сисолін П.В. Конструкторські розробки: нових, вітчизняних, універсальних машин для звичайної, стерньової, мульчо-стерньової, екологічнобезпечної, енергозберігаючої технології вирощування сільськогосподарських культур в Україні. Кіровоград, 2009. 128 с.

41. Сисолін П.В., Сало В.М. Український комплекс нових ґрунтообробних машин для гнучких ґрунтозахисних технологій. Кіровоград, 2007. 58с.

42. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини. Київ: Урожай, 2001. 382 с.

43. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Кн.1: Машини для рільництва /П.В. Сисолін, Т.І. Рибак, В.М. Кропівний; За ред. М.І. Черновола. К.: Урожай, 2001. 382 с.

44. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін., за ред. Д.Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2005. 464 с.

45. Сільськогосподарські машини: Підручник / Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Іщенко Т.Д. та ін. Київ: "Аграрна освіта", 2015. 678с.

46. Теорія ймовірностей, математична статистика та імовірнісні процеси: навч. посіб. / Ю. М. Слюсарчук, Й. Я. Хром'як, Л. Л. Джавала, В. М. Цимбал ; М-

во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2015. 364 с.

47. Техніка сільськогосподарська. Методи визначення умов випробувань: ДСТУ 7435:2013. [Чинний від 2004-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2013. 25с. (Національний стандарт України).

48. Цивільна оборона. Підручник /За редакцією В.С. Франчука. Київ: Знання, 2001. 256 с.

49. Шустік Л. Техніка для передпосівного обробітку ґрунту // Пропозиція, 2015. №1. С.44 – 51.

Додатки

Матриця планування лабораторних дослідів щодо дослідження робочого органу культиватора

№ досліду	$x_1=h_H$, см	$X_2=B$, м	$X_3 = a$, м	$X_4= V$, м/с
1	2	3	4	5
1	2,5	0,330	0,12	3,33
2	2,5	0,330	0,12	1,67
3	2,5	0,330	0,05	3,33
4	2,5	0,330	0,05	1,67
5	2,5	0,240	0,12	3,33
6	2,5	0,240	0,12	1,67
7	2,5	0,2401	0,05	3,33
8	2,5	0,240	0,05	1,67
9	2,5	0,330	0,12	3,33
10	3,5	0,330	0,12	1,67
11	3,5	0,330	0,05	3,33
12	3;5	0,330	0,05	1,67
13	3,5	0,240	0,12	3,33
14	3,5	0,240	0,12	1,67
15	3,5	0,240	0,05	3,33
16	3,5	0,240	0,05	1,67
17	3,5	0,285	0,085	2,5
18	2,5	0,285	0,085	2,5
19	3,5	0,330	0,085	2,5
20	1,5	0,240	0,085	2,5
21	1,5	0,285	0,12	2,5
22	1,5	0,285	0,05	2,5
23	1,5	0,285	0,085	3,33
24	1,5	0,285	0,085	1,67

Результати лабораторних дослідів щодо вивчення впливу найважливіших параметрів робочого органу культиватора на нього енергетичні показники

№№ дослідів	Функції відгуку					
	P_x^e	P_x^p	P_z^e	P_z^p	$K_{уд}^e$	$K_{уд}^p$
1	836	832,55	360	362,45	2,130	2,1740
2	502	508,05	300	300,99	1,31	1,2501
3	386	387,27	100	79,049	2,34	2,3116
4	225	219,77	30	17,840	1,33	1,2035
5	692	589,55	312	311,04	2,40	2,3921
6	340	240,55	245	247,34	1,15	1,0120
7	281	182,27	85	64,396	2,34	2,3275
8	90	502,78	13	5,938	0,81	0,7631
9	840	840,72	323	323,93	2,09	2,0342
10	575	572,72	265	266,72	1,46	1,3802
11	411	409,44	124	100,78	2,49	2,5336
12	295	298,44	56	40,826	1,79	1,6952
13	742	546,22	284	287,28	2,58	2,6102
14	454	353,72	228	227,82	1,58	1,4998
15	358	252,94	125	105,88	2,95	2,9072
16	215	117,44	55	36,674	1,75	1,6127
17	229	230,66	146	146,94	0,94	1,2191
18	300	298,33	150	149,05	1,26	1,5739
19	329	330,00	198	196,38	1,12	1,3846
20	219	118,00	168	169,61	1Д1	1,4524
21	523	519,88	442	331,38	1,38	1,3244
22	176	179,11	202	162,61	1,40	1,4496
23	391	396,00	197	196,16	1,61	1,9499
24	171	166,00	130	130,83	0,68	0,8404