

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**Механіко-технологічний факультет**

**ПОГОДЖЕНО**

Декан механіко-технологічного  
факультету

Братішко В.В.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач кафедри  
сільськогосподарських машин та  
системотехніки

ім. акад. П.М. Василенка

Гуменюк Ю.О. «\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

*на тему: "ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РОЗРОБКА  
КУЛЬТИВАТОРА ДЛЯ СМУГОВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ТА  
ОБ'ЄМНОГО ВНУТРІШНЬОҐРУНТОВОГО ВНЕСЕННЯ ДОБРІВ"*

Спеціальність: 208 Агроінженерія

Освітня програма: Агроінженерія

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

**Гарант освітньої програми:**

Доктор техн. наук, професор \_\_\_\_\_ В.В. Братішко

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**

к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Мартишко В.М.

**Виконав** \_\_\_\_\_ Чащовий Д.В.

**КИЇВ – 2025**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**Механіко-технологічний факультет**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри  
сільськогосподарських машин та  
системотехніки  
ім. акад. П.М. Василенка,  
к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Юрій ГУМЕНЮК  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

**Чащовому Денису Ввасильовичу**

Спеціальність: 208 Агроінженерія

Освітня програма: Агроінженерія

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

**Тема магістерської роботи: "Обґрунтування параметрів і розробка  
культиватора для смугового обробітку ґрунту та об'ємного  
внутрішньогрунтового внесення добрив"**

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

Термін подання завершеної роботи на кафедру – 15.11.2025 року.

**Вихідні дані до магістерської роботи –**

- Особливості смугового обробітку ґрунту в системі землеробства
- Агротехнічні вимоги до процесу смугового обробітку ґрунту
- Конструкції машин і робочих органів

**Перелік питань, що підлягають дослідженню:**

1. Обґрунтування теми магістерської роботи.
2. Механіко-технологічні передумови до розробки секції культиватора
3. Теоретичні обґрунтування технологічних та конструктивних параметрів
4. Експериментальні дослідження пристрою для об'ємного внутрішньо-грунтового внесення рідких комплексних добрив
5. Аналіз економічної ефективності

Дата видачі завдання “10” грудня 2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ **Мартишко В.М.**

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ **Чашовий Д. В.**

## РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота містить розрахунково-пояснювальну записку на 82 сторінках машинописного тексту і включає 12 таблиць, 18 рисунків і 40 назви використаних літературних джерел.

Ключові слова: *смуговий обробіток ґрунту, Strip-till технології, рідкі комплексні добрива, комбіновані секції, культиватори-підживлювачі, удосконалення, оцінювання, рентабельність, ефективність.*

Проаналізовані систем обробки ґрунту спрямованих на створення найбільш сприятливих умов для росту рослин та живлення рослин в технологіях вирощування с.г.культур.

1) Проведений аналіз технологій і машин для смугового обробітку ґрунту з метою обґрунтування удосконаленої секції смугового культиватора.

2) Теоретично обґрунтувати параметри культиватора для смугового обробітку ґрунту.

3) Експериментально визначити якісні та енергетичні показники секцій культиватора в польових умовах.

Проведений попередній розрахунок економічної ефективності універсального культиватора для смугового обробітку ґрунту.

Запропоновано конструктивно-технологічну схему секції культиватора для одночасного обробітку ґрунту і внесення рідких комплексних добрив, для системи смугового обробітку ґрунту Strip-till.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>5</b>
<b>1. СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....</b>	<b>7</b>
1.1 Особливості смугового обробітку ґрунту в системі землеробства.....	7
1.2 Агротехнічні вимоги до смугового обробітку ґрунту .....	14
1.3. Аналіз існуючих знарядь для смугового обробітку ґрунту .....	15
1.4. Аналіз теоретичних досліджень .....	21
<b>2. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ ТА ПАРАМЕТРІВ СЕКЦІЇ КУЛЬТИВАТОРА.....</b>	<b>31</b>
2.1 Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми секцій культиватора для смугового обробітку ґрунту.....	31
2.2. Обґрунтування відстані між робочими органами.....	38
2.3. Теоретичне визначення тягового опору секції культиватора.....	41
2.4. Обґрунтування технологічної схеми та параметрів пристрою для об'ємного внутрішньо-ґрунтового внесення РКД.....	43
<b>3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....</b>	<b>48</b>
3.1 Методика проведення лабораторно-польових досліджень.....	48
3.2 Результати польових досліджень та агротехнічної оцінки розробленої секції для смугового обробітку ґрунту.....	51
3.3. Результати агротехнічної оцінки культиватора.....	55
<b>4. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА.....</b>	<b>67</b>
4.1 Обґрунтування вартості удосконаленого культиватора .....	67
4.2. Економічне обґрунтування застосування технології смугового обробітку ґрунту.....	72
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>74</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>75</b>

## ВСТУП

Нині найпоширенішим способом основного обробітку ґрунту є відвальна оранка, яка поряд із перевагами має й недоліки. Лемішно-відвальні плуги забезпечують об'ємне подрібнення, перемішування ґрунту та загортання рослинних решток. Однак під час оранки на постійну глибину утворюється плужна підшва і відбувається ущільнення ґрунту.

Для зниження ущільнення ґрунту застосовують чизельні плуги-розпушувачі, що дають змогу утримувати вологу в ґрунті та зберегти верхній поживний шар, водночас зберігається стерня, яка стримує водну та вітрову ерозії. До того ж чизельні знаряддя менш енергоємні порівняно з відвальними плугами. Однак наявність стерні на поверхні потребує використання спеціальних знарядь для додаткового передпосівного обробітку ґрунту.

На сьогоднішній день досить перспективною ощадливою технологією обробітку ґрунту є смуговий обробіток ґрунту - технологія Strip-Till, що містить переваги відвальної оранки та чизельного обробітку.

Ступінь розробленості теми. На сьогодні накопичено великий теоретичний і практичний матеріал з обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів ґрунтообробних машин і робочих органів. Ці роботи спрямовані переважно на розроблення й удосконалення технічних засобів, що використовуються в технологіях із суцільним обробітком ґрунту. Однак наявність на поверхні поля рослинних залишків, підвищена твердість і зв'язаність ґрунту істотно впливають на процеси обробітку ґрунту, які необхідно враховувати під час обґрунтування параметрів і розроблення культиваторів для смугового обробітку.

Для обґрунтування конструктивно-технологічної схеми та параметрів культиватора необхідно розглянути процес взаємодії його робочих органів із ґрунтом. У зв'язку з цим розробка та обґрунтування параметрів культиватора

для смугового обробітку ґрунту під просапні культури з можливістю об'ємного внутрішньогрунтового внесення добрив є актуальним завданням.

**Мета роботи.** Підвищення ефективності смугового обробітку ґрунту та внутрішньогрунтового внесення рідких добрив шляхом удосконалення конструктивно-технологічної схеми та параметрів секції культиватора.

**Об'єкт дослідження.** Культиватор для смугового обробітку ґрунту та внутрішньо-ґрунтового внесення рідких комплексних добрив.

**Предмет дослідження.** закономірності впливу конструктивних параметрів і режимів роботи культиватора на якість смугового обробітку ґрунту.

## 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1. Особливості смугового обробітку ґрунту в системі землеробства

Сучасне землеробство - це доволі складний і трудомісткий процес, який передбачає використання різноманітних систем обробітку ґрунту, основними з яких є традиційна, мінімальна, нульова (No-till) та смугова (Strip-till) системи обробітку ґрунту (рис. 1.1).

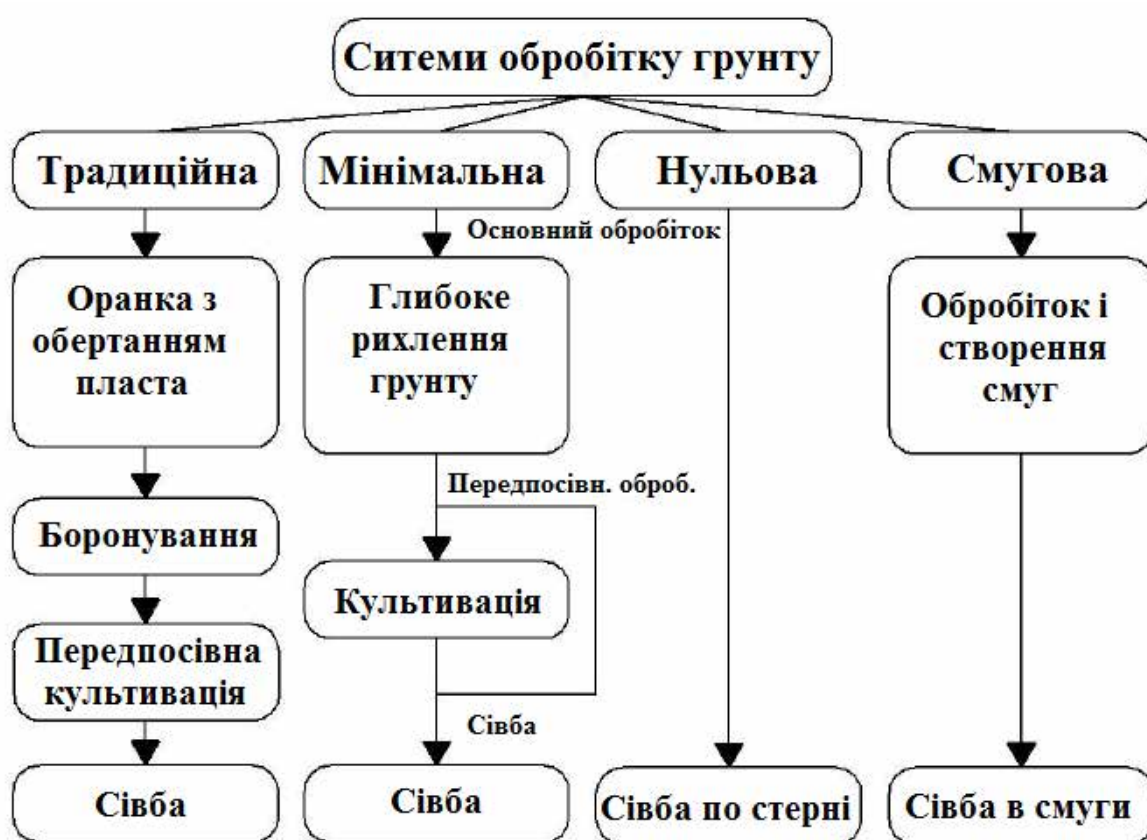


Рис. 1.1 – Системи обробітку ґрунту

Традиційна система містить у собі кілька етапів обробітку ґрунту: відвальну оранку плугом з оборотом пласта, боронування, передпосівну культивацию та сівбу. Традиційна технологія є однією з найбільш енерговитратних, потребує використання великої кількості сільськогосподарських знарядь, таких як: лемішних, відвальних, дискових

плугів; зубових і пружинних борін; парового культиватора; сівалок із дисковими сошниками.

Мінімальна система передбачає проведення таких операцій, як глибоке розпушування без обертання пласта, культивацію та сівбу. Це значно менш енерговитратна технологія і вимагає використання меншої кількості сільськогосподарських знарядь порівняно з традиційною технологією, таких як: чизельний плуг, чизельний культиватор, глибокорозпушувач, плоскоріз, щілиноутворювач; важкий культиватор дискатор; сівалки з лаповими сошниками.

Нульова (No-till) технологія являє собою проведення прямої сівби за один прохід за допомогою стерньової сівалки, сівалки з анкерними сошниками, без використання інших знарядь, можливий варіант одночасного внесення мінеральних добрив. Найважливішою умовою даної технології є рівна поверхня поля.

Технологія смугового обробітку ґрунту, на відміну від нульового, передбачає формування смуг, на яких здійснюватимуть подальший обробіток ґрунту та сівбу. З погляду підвищення врожайності технологія Strip-till ефективніша порівняно з технологією No-till за рахунок введення додаткових операцій, що проводяться в оброблюваних смугах, що сприяє підвищенню врожайності на 25% і економії коштів на мінеральні добрива до 50% [47]. Для обробітку ґрунту використовують спеціальні причіпні або навісні Strip-till-культиватори [46]. На сьогоднішній день технологія смугового обробітку ґрунту Strip-Till містить у собі великий потенціал, і вже активно застосовується в передових господарствах США, Канади, Аргентини, Німеччини та інших країн. Технологія Strip-Till може запропонувати розв'язання проблем, таких, як наявність короткого вегетаційного періоду, велика кількість численних бур'янів, низька врожайність.

Найбільше застосування технологія смугового обробітку ґрунту в цих країнах знаходить під час вирощування кукурудзи.

Суть технології стрічкового землеробства полягає у розпушуванні смуг, які обробляються від бур'янів, удобрюються і засіваються культурними рослинами. Особливу роль в технологічному ланцюгу стріп-тіл відіграють спеціальні сільськогосподарські машини та начіпні пристосування. Наявність у техніці навігаційних приладів і допоміжних пристроїв дозволяє дуже точно проводити висів і подальший догляд за культурами.



Рис. 1.2. – Застосування технологія Strip-Till

Під час стрічкового розпушування приблизно дві третини всього поля залишається без змін. Така система дозволяє скоротити витрати на обробіток ґрунту у 2–3 рази. Застосовується в основному під просапні культури (кукурудзу, соняшник, буряк), а також під ріпак і сою. Важливою перевагою цієї технології є те, що разом з розпушуванням, існує можливість одночасного внесення добрив під насіння на глибину 12–30 см або навіть різні добрива у два рівні для досягнення рослиною першого рівня через 15, а другого – через 45 днів росту. Завдяки цьому рослина отримує підживлення в особливо необхідні етапи: період активного росту і формування урожаю. Як результат – ормується потужна коренева система та здатність до кращого пристосування до умов вирощування.

***У технології Strip-Till слід виділити кілька основних переваг***

Смуговий обробіток дозволяє живильним речовинам ґрунту краще адаптуватися до потреб рослин, не торкаючись поверхні ґрунту між рядами. Крім того, коли застосовується рідке добриво, воно може бути внесене безпосередньо в ті рядки, де висівається насіння, зменшуючи кількість необхідних добрив і підвищуючи ефективність внесення у безпосередній близькості від коренів.

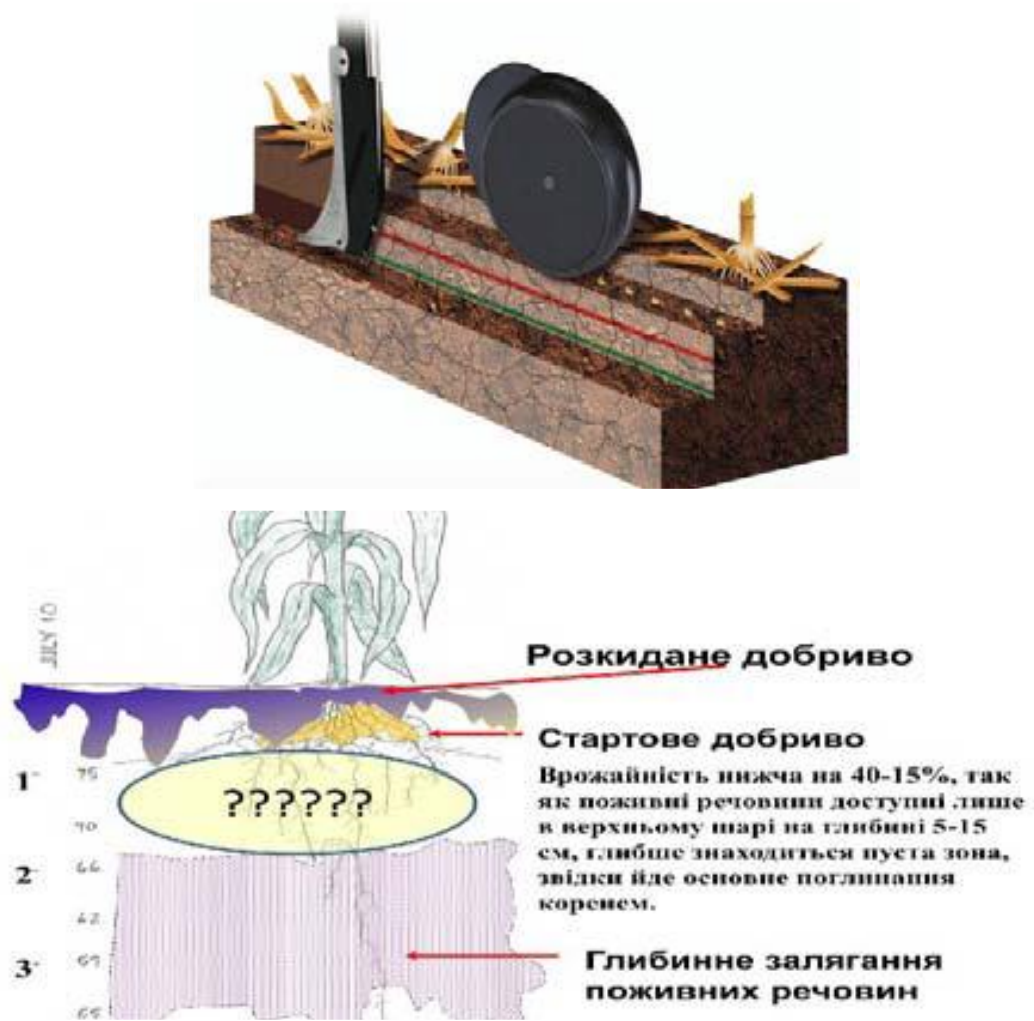


Рис. 1.3. – Внесення та розміщення мінеральних добрив при стрип-тіл

Важливою перевагою цієї технології є те, що разом із розпушуванням одночасно можна вносити добриво під насінням на глибину 20–30 см, або й навіть у двох рівнях, причому це можуть бути різні добрива [4]. Завдяки такій агрономічній операції рослина може одержувати підгодівлю тоді, коли це їй особливо необхідно, скажімо, у період активного росту й коли формується урожай.

Деякі стрип-тіл-агрегати дають можливість здійснювати мультисівбу, тобто одночасно на одному полі вирощувати два або й більше видів рослин.

#### *Якісне насіннєве ложе*

Завдяки лише одному проходу, за технології стрип-тіл насіння висівається у чистий, без поживних решток ґрунт, як це має місце після оранки, що запобігає їхньому можливому негативному впливу на проростання насіння і розвиток рослин.

Досягається глибше розпушування з меншою потребою в потужності трактора.

#### *Прогрівання ґрунту*

Однією з переваг технології стрип-тіл є ефект швидкого прогрівання ґрунту. Його температура в обробленій смужці завжди вища на 1—3 °С порівняно з ґрунтом, вкритим поживними рештками — а це важливий фактор для швидшого проростання кукурудзи, соняшнику, сої та ін.

Порівняно з технологією ноу-тілл таке прогрівання створює велику перевагу для забезпечення розвитку кореневої системи на ранній стадії вегетації (хоча вважається, що холодне і сире насіннєве ложе — це неминуча розплата за поживні рештки, залишені на поверхні) [6].



Рис. 1.4. – Температура ґрунту та розвиток кореневої системи впродовж сезону

А порівняно з традиційною технологією (оранкою) ґрунт у зоні розпушення прогрівається і «достигає» раніше, а необроблені смужки землі дозволяють трактору з сівалкою раніше зайти в поле для сівби в уже прогрітій ґрунт. Така перевага проявляється набагато сильніше і є вирішальним фактором впровадження цієї технології в північних зонах.

#### *Покращені умови зволоження ґрунту*

Стрип-тіл підвищує вміст вологи в ґрунті шляхом обмеження її випаровування та підвищення інфільтрації під час опадів. Для українських фермерів збільшення вологи в ґрунті прирівнюється до підвищення, а інколи й до виживання врожаю.

#### *Зменшення випаровування води*

Стрип-тіл знижує випаровування двома шляхами: обмеженням втрат вологи за рахунок випаровування в процесі обробітку ґрунту і обмеженням її втрати від випаровування протягом вегетаційного періоду.

Кожен прохід ґрунтообробним знаряддям призводить до випаровування від 10 до 18 мм вологи з 1 кв. м площі. При стрип-тіллі ця цифра значно менша, оскільки навесні лише невеликий сошник сівалки ворухить поверхню поля. У порівнянні з традиційною технологією стрип-тіллі зберігає від 50 до 120 мм/ кв. м вологи, що становить до 15% середнього рівня опадів по Україні.

Крім збереження вологи під час обробітку землі стрип-тіллі дає змогу краще утримувати вологу протягом усього вегетаційного періоду. Необроблений ґрунт між смугами посіву відіграє важливу роль у зменшенні випаровування.

#### *Інфільтрація води*

Стрип-тіл також збільшує коефіцієнт проникнення води в ґрунт, таким чином збільшуючи поглинання вологи під час опадів. У пористий ґрунт оброблених смужок потрапляє вода з необроблених частин поля, спрямовуючись у кореневу зону рослини на глибину до 25 см для живлення

коріння в посушливий період. Більший коефіцієнт водо проникнення та більша пористість ґрунту



Рис. 1.5. – Інфільтрація води за технологією стрип-тіл та традиційної технології

#### *Боротьба з ерозією*

Для багатьох господарств втрати ґрунту від вітрової або водної ерозії до 4,1 т/га — це питання лише однієї бурі або зливи. Втрата верхнього шару ґрунту — це втрата поживних речовин, а також здатності ці речовини утримувати. Деякі агрономи і ґрунтознавці оцінюють такі втрати у понад 160 дол./га. У технології стрип-тілл поживні рештки протидіють руйнівному ефекту злив та вітру, поглинають удари дощових крапель, розсіюють силу розбризкування на поверхні ґрунту, мінімізуючи утворення кірки.

У період вегетації рослин мінімізують негативний вплив прямих сонячних променів на ґрунт, тим самим запобігають нагріванню ґрунту і зменшують інтенсивність випаровування вологи та частково ускладнюють ріст бур'янів у міжряддях.

#### *Потужніша коренева система рослин*

У всьому світі фермери, що використовують технологію стрип-тіл, переконуються в більш розгалуженій та довшій кореневій системі рослин. Більш розгалужена коренева система — це кращий доступ рослини до вологи та поживних речовин, а в результаті — вищий врожай. Потужніша коренева

система дозволяє рослині охоплювати до 40% більше родючого горизонту. Та створення умов для розвитку коренів у вертикальному напрямку [7].

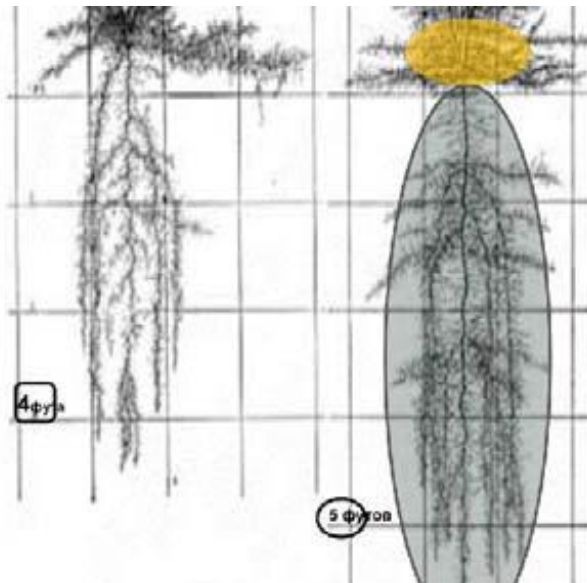


Рис. 1.6 – Збільшення довжини кореневої системи на 25-30%

#### *Економічні переваги*

1. Скорочення кількості передпосівних проходів до 1 або 2.
2. Зменшення кількості енергетичних засобів.
3. Зменшення витрати пального до 70% в порівнянні з традиційною технологією, оскільки розпушується не більше як 30% площі (вирощування просапних культур).
4. Зменшення до 30% кількості внесення добрив за рахунок більш точного і ближчого розміщення до кореня.
5. Скорочення трудозатрат та подовження строку служби техніки.

Слід зазначити, що ця технологія значно спрощує управління господарством, адже фермер знає, що за один прохід він створює ідеальні умови для висіву.

### **1.2 Агротехнічні вимоги до смугового обробітку ґрунту**

При вирощуванні кукурудзи та інших культур за технологією смугової обробки ґрунту необхідно дотримуватися агротехнічних вимог [46, 47]:

- обробка проводиться у встановлені агротехнічні терміни;

- відхилення середньої глибини обробки від заданої, повинно бути в межах  $+ 0,01$  м;
- глибину обробітки ґрунту встановлюють в межах від 0,03 до 0,20 м;
- відхилення середньої глибини закладення добрив від заданої, для 80% добрив, повинно знаходитися в межах  $\pm 2,5$  см;
- глибина борозен і висота гребенів повинна бути не більше 0,03 м;
- поверхня обробленого поля повинна бути рівною і містити дрібні грудки;
- не допускаються необроблені смуги і огріхи

### **1.3 Аналіз технологій вирощування кукурудзи**

Кукурудза – це культура, що має високу врожайність зерна і цінна своєю зеленою масою, особливу цінність вона представляє, як кормова рослина [45].

При вирощуванні кукурудзи збільшення обсягу виробництва зерна можливе за дотримання таких умов: - підвищення врожайності за рахунок правильного добору сортів; - використання якісного насіння; - удосконалення технології обробітку; - використання агротехнічних і хімічних способів боротьби з бур'янами, шкідниками та хворобами; - оптимальне застосування мінерального живлення; - збільшення площ під посів кукурудзи; - застосування технологій меліорації. Динаміка потреби вітчизняного ринку в насінні кукурудзи представлена на рисунку 1.2 [46].

Обробіток ґрунту під посів кукурудзи, необхідний для створення сприятливих умов росту культури.

Основний обробіток ґрунту залежатиме від технології обробітку культури і має бути націлений на:

- боротьбу з бур'янами та шкідниками;
- збереження, мінімізацію втрат вологи;
- поліпшення та підтримання оптимальної структури ґрунту;
- максимальне розкладання рослинних залишків;

– зменшення кількості робочих операцій і проходів, особливо навесні, для зниження ущільнення ґрунту [45].

За традиційної технології обробіток ґрунту починається з лущення стерні на глибину 6–8 см. Коли попередниками є великостеблові культури, кукурудза та соняшник, то поля обробляють важкими дисковими знаряддями.

Наступні обробки проводять за появи сходів однорічних бур'янів, вид обробки залежить від видового складу бур'янів.

За появи великої кількості багаторічних бур'янів проводять обробку гербіцидами суцільної дії у фазі 5–6 листків. При цьому, не раніше, ніж через 10–15 днів проводять оранку поля, з метою проникнення гербіциду в кореневу систему бур'янів.

У подальшому, восени, за потреби проводять глибоке розпушування на глибину 25–27 см після внесення добрив.

Посів кукурудзи, як і інші сільськогосподарські культури, проводять в оптимальні строки та за оптимальних умов. Посів здійснюють, коли ґрунт прогріється до 12–15 градусів у шарі 10 см. Проростання насіння кукурудзи відбувається за температури ґрунту 7–9 градусів. Не допускається проводити посів, коли ґрунт недостатньо прогрітий, при цьому строки проростання насіння значно збільшуються, а також значно знижується густина сходів, за ранніх строків сівби рослини більше піддаються впливу хвороб і шкідників, що зрештою позначається на якості врожаю та обсязі виробленої продукції. Щоб уникнути впливу несприятливих факторів, рекомендується розпочати посів, коли температура ґрунту досягне 14–16 градусів. Також необхідно враховувати, що лабораторна схожість насіння завжди дещо нижча за польову, тому при розрахунку норми висіву слід робити поправку на схожість (збільшити до 4%).

Пізнні строки сівби призводять до того, що фаза інтенсивного росту рослин збігається з найспекотнішим і найпосушливішим періодом, унаслідок чого знижується врожайність. За традиційним способом обробітку кукурудзи

слідом за сівбою проводять боронування зубовими боронами та коткування в одному агрегаті. Це проводять з метою вирівнювання верхнього шару ґрунту та знищення понад 90% пророслих бур'янів. Не слід проводити боронування за появи сходів, оскільки на ранніх етапах проростки кукурудзи легко ушкоджуються, що знижує густоту сходів і призводить до зрідження посівів. Оптимальна густота дає змогу підвищити врожайність кукурудзи до 20%. Густота ранньостиглих і середньоранніх форм має перебувати в межах 60-65 тис. р/га, середньопізніх і пізньостиглих – 50–60 тис. грн/га. Під час вирощування кукурудзи за технологією Strip-till повний обробіток ґрунту проводять за один прохід, економія на пальному при цьому сягає 30%. Внесення мінеральних добрив здійснюють безпосередньо в ґрунт на різні глибини, що сприяє оптимізації живлення рослин, а економія добрив сягає 20%. Також у разі використання навіски для сівалки можна одночасно проводити посів. У США основними знаряддями, що застосовуються для попередньої підготовки ґрунту та точного внесення добрив, є знаряддя Orthman [45, 46, 47].

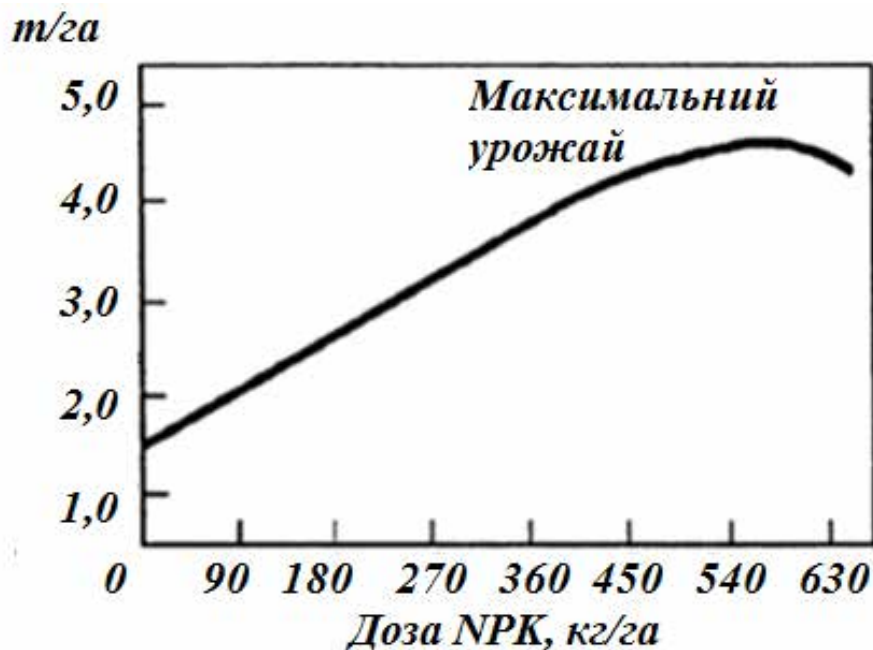


Рис. 1.7 - Залежність урожайності від дози добрив

Значним чинником отримання високої врожайності за вирощування кукурудзи є оптимальне мінеральне живлення. Ця культура чуйна на внесення мінеральних та органічних добрив, за порівняно короткий час

кукурудза утворює велику кількість органічної маси. За даними фахівців приблизно на 50% зростання врожайності залежить від добрив і на 50% від таких факторів, як агротехніка, оптимальні сорти культур, меліорація тощо. [55]. Залежність урожайності від дози добрив показано на рисунку 1.7.

Основні поживні елементи, що входять до складу, як мінеральних, так і органічних добрив це азот, фосфор і калій. Азот важливий елемент, необхідний для росту і розвитку рослин, для кукурудзи, найбільш ефективний у період цвітіння і наливу зерна. У початковій фазі росту поглинається аміачний азот, на пізніх стадіях розвитку - нітратна форма азоту. У початковий період росту кукурудза дуже вимоглива до фосфору, до 70% його необхідно вносити під основний обробіток восени. Також він сприяє прискореному розвитку рослин і формуванню стійкості до вилягання. Нестача фосфору може призвести до того, що місцями ріст і зовсім може бути відсутнім, а багато рослин не утворюють качанів.

Перетворення сонячного світла на поживні елементи - одна з ключових особливостей рослин і культурних зокрема, цьому активно сприяє наявність такого елемента, як калій, завдяки калію, відбувається активне переміщення поживних речовин і формується стійкість до хвороб. Утворення великої кількості органічної маси (в чому і цінність кукурудзи), вимагає великої кількості калію. Досліди показують, що для стабільного зростання врожаю і збереження родючості ґрунту необхідно повертати азот і калій на 75–80%, а фосфор – на 100% [55]. Поряд з основними формами добрив значне місце в системі добрив посідають і мікродобрива, що містять у собі такі елементи, як: цинк, марганець, мідь, кобальт, бор тощо. Під час вирощування кукурудзи виникає потреба в забезпеченні цинком і марганцем, а також у міді та борі. Найчастіше у кукурудзи виникають захворювання, пов'язані з нестачею засвоюваного цинку. Внесення мікродобрив на основі цинку і міді (за дефіциту в ґрунті) проводять у фазі 6–8 листків.

На сьогодні хімізація відіграє значну роль в отриманні високих урожаїв, дещо на другий план відсунуто використання органічних добрив. Проте

застосування органічних добрив і зокрема гною покращує повітряні, водні та теплові властивості ґрунту, збагачуючи його гумусом. Одна з позитивних властивостей гною - це здатність перетворювати безструктурні ґрунти на структурні. Гній має у своєму складі азот - 0,5–0,8%, фосфор - 0,2–0,3%, калій - 0,5–0,7%, а курячий послід - азот - 1,3%, фосфор - 1,8%, калій - 0,9%.

Слід зазначити, що кукурудза відчуває потребу у фосфорі в початковій фазі росту і розвитку, фосфорні добрива сприяють посиленому розвитку її кореневої системи в період посіву [45]. Внесення добрив можна розділити на три основні способи: - основний (до посіву) - проводиться перед оранкою; - припосівний (у рядки) - проводиться під передпосівну культивуацію; - післяпосівний (підживлення) - проводиться в період росту та розвитку рослин. За суцільного внесення добрив рослини не засвоюють повністю всі поживні елементи, оскільки частина добрив не потрапляє в зону, в якій вони були б засвоєні, частково вони залишаються не використаними. Негативний бік цього явища в тому, що не засвоєна частина добрив вимивається дощами і завдає шкоди екології, а також відбувається перевитрата добрив, але є в цьому і позитивний бік, коли поживні речовини, що не засвоєні в перший рік, впливають на врожайність на другий і наступні роки після внесення. Особливості різних прийомів обробітку ґрунту завжди пов'язані з певною територією і відрізняються для кожного окремого регіону. У кожному регіоні існують свої ґрунтово-кліматичні особливості: кількість опадів, тип і насиченість ґрунту поживними елементами, види бур'янів тощо. Традиційно більшість бур'янів прийнято прибирати механічним способом. Істотної шкоди врожаю зерна кукурудзи завдає гумаї. Тому, крім збереження та накопичення вологи, основний обробіток ґрунту застосовують для боротьби з гумаєм та іншими видами бур'янів. Однак технології змінюються, якщо розглядати смуговий обробіток ґрунту, то при цьому основну масу бур'янів механічним способом прибрати неможливо, тому згідно з даною технологією застосовують хімічні методи захисту рослин. Після механічного обробітку ґрунту бур'яни прибираються тільки з обробленої ділянки поля, а на

необробленій частині бур'яни з'являються, тому боротися з ними можливо тільки за допомогою гербіцидів.

Від ефективності боротьби з бур'янами з використанням гербіцидів залежать витрати праці та собівартість отриманого врожаю. Адже, якщо не боротися з бур'янами врожайність кукурудзи (на насіння) може знижуватися до 70% [45]. Під час обробки кукурудзи використовують такі гербіциди: Аденго - 0,4–0,5 л/га, Алтіс - 0,04–0,05 л/га, Базис - 0,2–0,25 л/га, Гамбіт - 2–3,5 л/га, Дублон - 0,05–0,07 л/га та ін. Крім від бур'янів значні втрати врожаю виникають через шкідливих комах і хвороби. Для боротьби зі шкідниками використовуються інсектициди: Арріво - 0,32 л/га, Фітоверн - 0,1–0,14 л/га, Фаскорд - 0,2–0,25 л/га. Для боротьби з кукурудзяною совкою можна застосувати трихограму. За використання технології смугового обробітку ґрунту порівняно з традиційною технологією виключається найбільш енергоємна операція - відвальна оранка, що не дає змоги виконати об'ємне розпушування пласта і перемішування шарів ґрунту та добрив, внесених на поверхню поля розкидним способом. У зв'язку з цим одночасно з обробітком смуг ґрунту необхідно вносити в ці смуги рідкі та гранульовані добрива. Ефективність їхньої подальшої дії залежатиме від розподілу добрив за глибиною залягання кореневої системи рослин. У зв'язку з цим культиватор для смугового обробітку ґрунту має забезпечувати не тільки розпушування смуги ґрунту, а й одночасно внутрішньогрунтове об'ємне внесення різних видів добрив.

#### **1.4 Аналіз машин та знарядь для смугового обробітку ґрунту**

Висока культура землеробства багато в чому залежить від технічних засобів реалізації, використовуваної технології вирощування сільськогосподарських культур. Технологія смугового обробітку ґрунту є комплексним рішенням щодо поліпшення якості обробітку просапних культур і збереження ґрунтової родючості. Високотехнологічні знаряддя, що проводять обробіток за технологією strip-till на сьогодні становлять великий

інтерес, і використання яких є одним із кроків щодо збереження ґрунтових ресурсів.

Найпоширенішими технічними засобами для осіннього смугового обробітку ґрунту є комбіновані ґрунтообробні агрегати. Як правило, їхня конструкція поєднує функціональні елементи, які складаються з різального диска, пристроїв для очищення рядка від рослинних решток, глибокорозпушувача, диска з прямолінійною або хвилястою крайкою, прикочувальних котків.

Донедавна агрегати для технології стрип-тілл були представлені на ринку України тільки машинами закордонного виробництва. Але оскільки український аграрій стрімко впроваджує цю нову технологію, вітчизняний виробник техніки теж активізував свою діяльність, зорієнтувавши її на особливості стрип-тілл, і почав конструювати та виготовляти машини для смугового обробітку ґрунту.

Одними з перших, хто пішов «смуговим» шляхом у вітчизняному сільгоспмашинобудуванні, є ТОВ «Краснянське СП «Агромаш»» (с. Красне, Вінницька обл.) та СТВФ «Агрореммаш» (м. Біла Церква). За сприяння УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого було розроблено, виготовлено та випробувано агрегат для смугового обробітку ґрунту СТА-4Н.



Рис. 1.8. – Агрегат для смугового обробітку ґрунту СТА-4Н виробництва СТВФ «Агрореммаш»

Чотирирядний агрегат для смугового обробітку ґрунту СТА-4Н забезпечує відокремлене почергове нарізання одинарних і здвоєних смуг із міжряддями 70 та 45 см із одночасним унесенням добрив.

Робоча секція агрегату складається з розрізувального диска, очисних дисків, розпушувальної лапи, розпушувальних дисків та котка. Розрізувальний диск із комбінованим опорним колесом прорізає ґрунт із наявними рослинними рештками перед розпушувальною лапою. Очисні робочі органи – пара вирізних дисків типу «ромашка» – ізсувають розрізані рослинні рештки у міжряддя, очищуючи смугу. Таким чином таким чином відкривається поверхня ґрунту в смугі для подальшого обробітку, а також забезпечується доступ повітря для активнішої аерації та легшого проникнення сонячного проміння для прогрівання землі. Водночас рослинні рештки, якими вкриті міжряддя, певною мірою гальмують ріст бур'янів та перешкоджають випаровуванню вологи з ґрунту.

ТОВ «Краснянське СП «Агромаш»» разом із науковцями ННЦ «ІМЕСГ» для реалізації системи обробітку ґрунту стрип-тілл розробили та виготовили агрегат для смугового обробітку ґрунту АСОГ-8 із шириною захвату 5,6 м. Агрегат має вісім робочих секцій, які розміщені з кроком 70 см.



Робоча секція АСОГ-8 складається з 1 розрізувального диска, двох очисних дисків, глибокорозпушувальної лапи, двох розпушувальних дисків та прикочувального котка.

Кожна секція обробляє ґрунтову смугу, виконуючи п'ять технологічних операцій: розрізання (подрібнення) пожнивних решток, очищення від них смуги, розпушування ґрунту на глибину до 30 см із унесенням у зону розпушення мінеральних добрив, формування смуги розпушеного ґрунту, прикочування обробленої ґрунтової смуги.

Крім того, АСОГ-8 можна використовувати як окрему одиницю для відокремленого виконання стрип-тілл за осіннього обробітку ґрунту з одночасним унесенням добрив, так і за поєднаного типу обробітку стрип-тілл навесні, коли до агрегату послідовно приєднують сівалку.

Робочі органи агрегату АСОГ-8 виготовлені з боромісткої сталі, що підвищує їхню надійність у півтора-два рази. Агрегується АСОГ-8 із тракторами потужністю від 250 до 300 к. с.

ТОВ «Велес-Агро ЛТД.» (Одеса) виробляє та інтенсивно проводить апробацію в різних господарствах країни чотири- та шестирядних агрегатів для смугового обробітку ґрунту.



Рис. 1.9. – Агрегат для смугового обробітку ґрунту ТОВ «Велес-Агро ЛТД.» (Одеса)

Секція агрегату складається з переднього прямого різального диска; двох розгортачів пожнивних решток, розпушувальної стійки, що розпушує ґрунт на глибину 20–27 см та вносить мінеральні добрива, двох дисків хвилястої форми різного діаметра, які формують оброблювану смугу ґрунту, завдяки чому утворюється якісно оброблена поверхня; котків та пневмокамер. Задні котки виконують функцію уловлювача грудок, які виштовхуються дисками, а також мульчують ґрунтову поверхню.

За допомогою пневмокамер регулюють тиск секції на поверхню ґрунту. Тиск у пневмокамерах прямопропорційно корелює показник притискного зусилля робочої секції: що більший тиск, то більше притискне зусилля.

Світове машинобудування пропонує різні техніко-технологічні рішення для впровадження технології стрип-тілл, що ґрунтуються на застосуванні принципів відокремленого та поєднаного способів реалізації цієї технології, за яких використовують: у першому варіанті – окремі машини для формування смуг і сівби, в другому – об'єднують їх в один агрегат та використовують одну універсальну сівалку.

Знаряддя для смугового обробітку ґрунту являють собою культиватори, що замінюють таку енергоємну операцію, як основний обробіток ґрунту.

*Систему знарядь, що використовуються для різних технологій обробітку ґрунту, представлено на рисунку 1.10*

Знаряддя для смугового обробітку ґрунту - це насамперед культиватор, що має у своїй конструкції жорстку раму, робочі секції, які можна обслуговувати, на кожну оброблювану смугу, систему каналів для внесення як твердих гранульованих, так і рідких мінеральних добрив, а в деяких випадках, і рідких органічних добрив. Також невід'ємною частиною технології є використання системи супутникової навігації, оскільки відхилення під час посіву в рядки не допускаються [40, 41].

Рама культиватора спроектована для роботи у важких умовах і при великих швидкостях, і має особливу міцність. Збереження постійної глибини обробітку ґрунту в умовах мінливості рельєфу забезпечує паралелограмний

механізм, що знижує навантаження на робочі поверхні знаряддя і тим самим забезпечує довговічність конструкції.



Рис. 1.10. – Система знарядь, що використовуються за різних технологій обробітку ґрунту

Паралелограмний механізм фіксує робочу секцію культиватора, яка, як правило, містить приблизно однаковий набір робочих органів, що відрізняються своєю формою і конструктивними параметрами залежно від ґрунтово-кліматичних умов, у яких передбачається проводити обробіток ґрунту.

Кожна секція культиватора містить такі типи робочих органів:

1. Передній диск, що виконує функцію розрізання щільної кірки поверхні ґрунту, яка утворилася в результаті проведення різних агротехнічних операцій і впливу природно-кліматичних чинників. Таким

чином, диск знімає напругу на поверхні ґрунту, що дає змогу надалі знизити тяговий опір знаряддя.

2. Робочий орган для очищення рядків. Мета цього пристрою полягає у видаленні рослинних залишків зі смуги обробітку ґрунту, які мають певну твердість і міцність, що створює додаткові труднощі під час обробітку ґрунту і тим самим підвищує тяговий опір секції культиватора. 3. Наступним елементом конструкції секції є розпушувальна стійка, вона вмикається в роботу після того, як із центру смуги видаляються рослинні рештки. Обробка проводиться на глибину до 0,35 м і замінює операцію відвальної оранки плугом. Також розпушувач обладнується сім'япроводами для внесення твердих гранульованих і рідких добрив.

4. Бічні диски, їхня функція - це нарізування смуги певної ширини, таким чином вони обмежують зону обробітку ґрунту і зону поперечної деформації ґрунту, знижуючи тим самим тяговий опір знаряддя.

5. Прикочувальний коток являє собою обертовий робочий орган, закріплений позаду секції культиватора, що забезпечує функцію коткування, подрібнення та вирівнювання ґрунту в зоні оброблюваної смуги, може мати різну конструкцію, у вигляді голчастих дисків, гладкої циліндричної форми, циліндричної форми зі встановленими планками, спіралеподібної конструкції.

У результаті проведеного аналізу наявних конструкцій культиваторів для смугового обробітку ґрунту слід виділити низку характерних особливостей, описаних нижче. На рис.1.11 зображено знаряддя для безполицевого поярусного смугового обробітку ґрунту.

Робочий орган у свою конструкцію містить: коток прикочувальний 1, навіску триточкову 2, раму навісну 3, механізм регулювання глибини обробітку ґрунту 4, а також робочі органи для основного обробітку ґрунту 6, 7. ґрунту 6, 7. На першому ярусі встановлено робочі органи у вигляді пластинчастих стійок, що мають стрічасті лапи, розташовані під кутом, один розміщений по центру на задньому брусі рами навісної 3, а два інших -

по ширині захоплення і симетрично від центру знаряддя на передньому брусі рами.

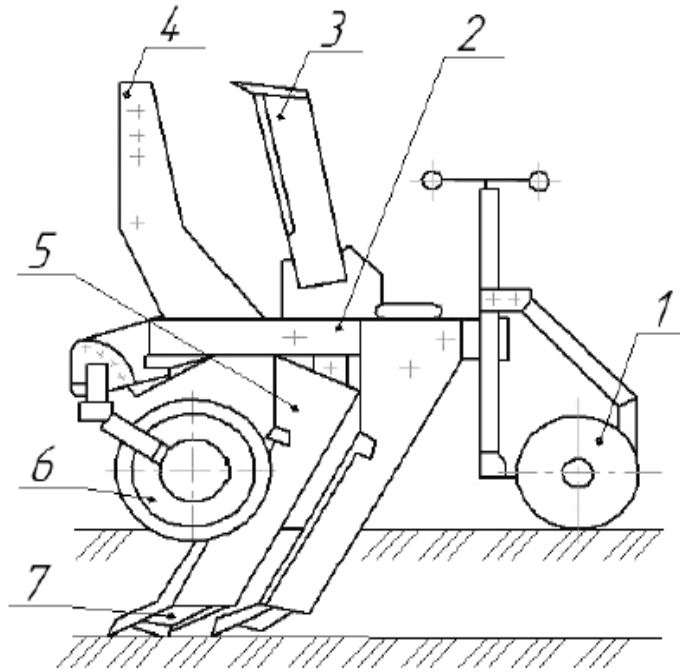


Рис. 1.11 - Робочий орган для безполицевого поярусного смугового обробітку ґрунту: 1 - коток прикочувальний, 2 - навішування триточкове, 3 - рама навісна, 4 - механізм регулювання глибини обробітку, 5 - стрілочаста лапа, 6 - робочі органи другого ярусу, робочі органи третього ярусу, 7 - змінне долото.

На другому ярусі встановлено робочі органи 5, виконані у вигляді право- і лівосторонніх стійок, що забезпечують обробіток орного шару, закріплені на передньому брусі рами 3, симетрично відносно один одного, а також розгорнуті в протилежні боки. Робочі органи третього ярусу також виконані у вигляді право- і лівосторонніх стійок, у нижній частині мають, розташовані під кутом, змінні долота, що забезпечують глибоке розпушування ґрунту.

Відсутність паралелограмного механізму в даній конструкції знижує її ефективність роботи і не дає змоги копіювати рельєф ґрунту. На рисунку 1.12 представлена робоча секція для смугового обробітку ґрунту.

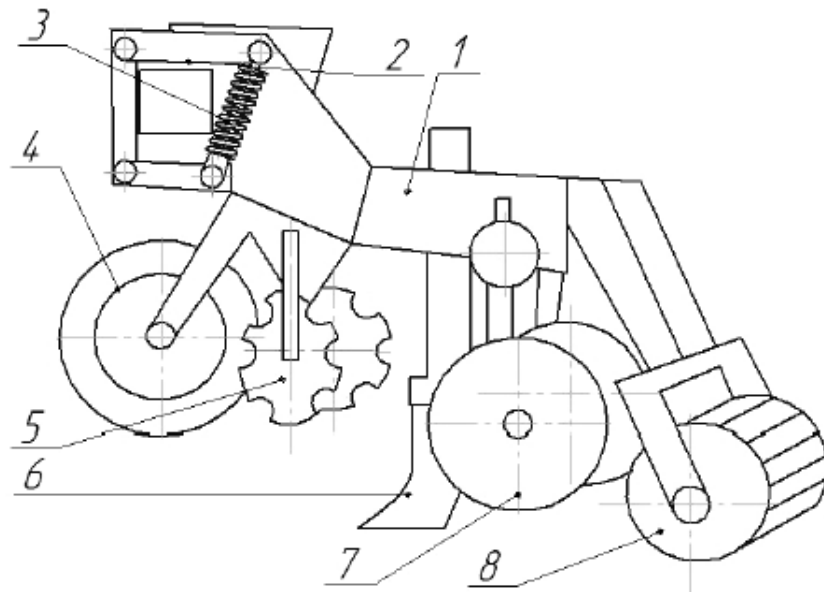


Рис. 1.12 – Робоча секція зброї для смугового обробітку ґрунту: 1 – рама; 2 - механізм підпружинений; 3 - механізм паралелограмний; 4 – стійка диска; 5 – диск; 6 – щілинник; 7 – диски сферичні; 8 - каток, що прикочує.

Для розпушування ґрунту і внесення добрив, як основний робочий орган, застосовують щілинкоутворювач і встановлений на ньому тукопровід для подачі мінеральних добрив на дно борозни.1

На рамі 1, що має паралелограмний механізм 3, встановлюються диски 5 для очищення оброблених рядків, щілинник 6 з робочим органом для внесення мінеральних добрив, диски 7 катка і каток, що прикочує 8.

Установка робочого органу з можливістю внесення добрив дозволяє скоротити кількість операцій на обробіток ґрунту, що підвищує ефективність роботи даної зброї. Однак для більш ефективного використання робочого органу, у його конструкції слід передбачити можливість внесення добрив у процесі обробки ґрунту.

На рисунку 1.13 представлена секція зброї для смугової обробки ґрунту фірми Carter.

Конструкція робочого органу практично ідентична що на рисунку 1.6, що відрізняється лише деякими особливостями: типом механізму

паралелограма; типом кріплення дисків 5 до рами 1; формою катка, що накочує.

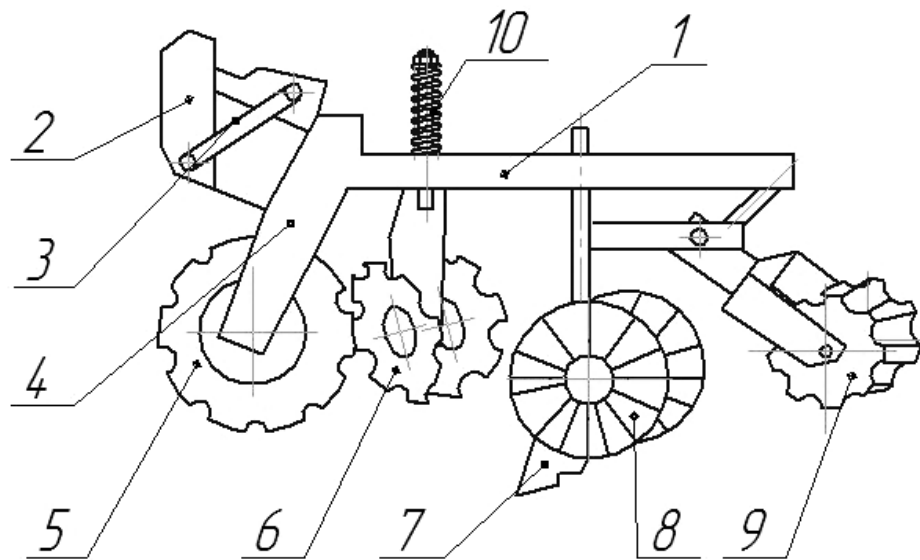


Рис.1.13 – Секція знаряддя для смугової обробки ґрунту фірми Carter: 1-рама; 2 – механізм подпружиннений; 3 – механізм паралелограм; 4 – стовба диска; 5 - диск; 6 - диск; 7 - щелеватель; 8 – диски сферичні; 9 – каток накочує.

Основним робочим органом для розпушування ґрунту є щілювач з тукопроводом малого діаметра для внесення мінеральних добрив

Також в конструкції робочого органу слід було б передбачити можливість дворівневого внесення добрив в процесі обробки ґрунту. Недоліком цієї секції є її висока вартість.

На рисунку 1.14 показаний культиватор TRIPCAT для смугової обробки ґрунту. Цей тип культиватора агрегується з тракторами 4 класу і у своїй конструкції також має подібність з вищеописаними моделями

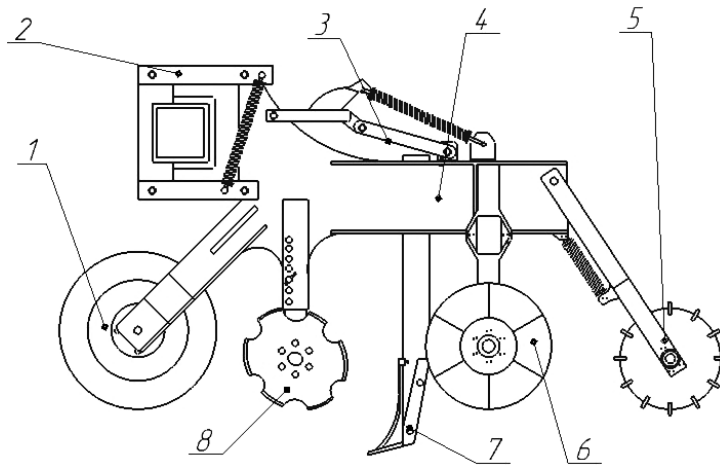


Рис. 1.14. – Схема секції культиватора для смугового обробітку ґрунту Stripcat: 1 – диск; 2 – паралелограмний механізм; 3 і 4 – шини передні і задні; 5 – коток; 6 – диски для формування гребеня; 7 – щілювач для внесення добрив; 8 – диск зубчатий для видалення поживних залишків.

Недоліком цієї секції є складність її виготовлення висока вартість оригінальних запчастин.

## **2. ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОЇ ПАРАМЕТРІВ СЕКЦІЇ КУЛЬТИВАТОРА**

### **2.1. Обґрунтування технологічної схеми секцій культиватора для смугового обробітку ґрунту**

Проведений аналіз наявних конструкцій культиваторів для смугового обробітку ґрунту дав змогу виявити низку загальних характерних недоліків, як-от: відсутність паралелограмного механізму для копіювання рельєфу ґрунту (на деяких моделях); дорожня і складність виготовлення оригінальних запчастин; відсутність внутрішньоґрунтового об'ємного внесення добрив під час обробітку ґрунту; висока енергоємність процесу обробітку ґрунту; недостатня стійкість конструкції кріплення вирізного диску на навісному культиваторі і т. д.

Для усунення зазначених вище недоліків ми пропонуємо конструкцію культиватора для смугового обробітку ґрунту за технологією Strip-Till, у якій ми спробували поєднати переваги наявних конструкцій культиваторів. Пропонована конструкція культиватора має такі конструктивні особливості:

- 1) Використання пружинного механізму на прикочувальному котку, що забезпечує щільне прикочування смуги;
- 2) Використання вдосконаленого механізму копіювання рельєфу оброблюваного поля;
- 3) Регулювання глибини ходу здійснюється за допомогою переміщення дискового ножа гвинтовим механізмом у вертикальній площині.

Для обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів розробленого культиватора для смугового обробітку ґрунту наведемо схему розміщення робочих органів на рамі секції (рисунок 2.1).

Секція культиватора для смугового обробітку ґрунту з об'ємним внесенням добрив дає змогу забезпечувати рівномірний обробіток ґрунту на задану глибину та знизити енергоємність обробітку ґрунту.

Крім обробітку ґрунту певної ширини секція культиватора має забезпечувати внутрішньогрунтове внесення рідких і гранульованих добрив.

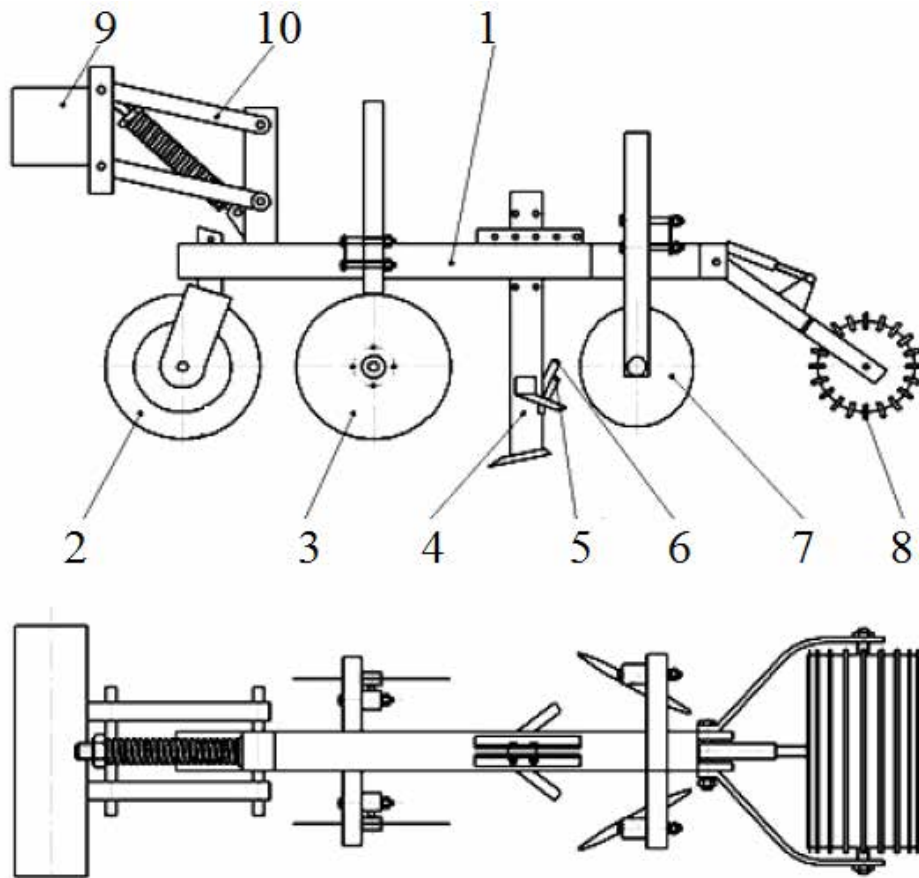


Рис. 2.1. – Робоча секція запропонованого культиватора: 1 – гряділь; 2 – розрізний диск; 3 – вертикальні диски; 4 – стовпа з долотом; 5 – горизонтальний щілювач; 6 – трубчатий удобрювач; 7 – сферичні диски; 8 – коток планчастий; 9 – рама культиватора; 10 – паралелограм

Для цього на стійці щілинкоутворювача на заданому рівні просвердлені отвори внутрішнім різьбленням із можливістю закріплення на них ножів із добривом для внесення рідкого мінерального добрива, а також є 2-й добривоутворювач. При цьому ножі з удобрювачами розташовані симетрично по обидва боки стійки щілинкоутворювача під гострим кутом до горизонтально-поперечної площини, а нарізування щілин здійснюють під кутом  $30...45^{\circ}$ .

На рисунку 2.1, А зображено робочий орган щілинкоутворювача, що складається зі стійки 1, долота 2 і розсікача 3 для зменшення опору робочого

органу. На стійці 1 пригвинчені ножі 4 з трубчастим удобрювачем 5 розташовані під кутом  $\alpha$  до вертикальної площини. На кінцях ножів приварені подрібнювачі 6, для нарізання щілин, у які краще проникають добрива.

На рисунку 2.1, *Б* зображено переріз *Б-Б* спосіб кріплення ножів 4 з добривом 5 на стійці щілинкоутворювача 1 за допомогою болтів 7 із внутрішньою шестигранною напівпотайною головкою.

На рисунку 2.2, *В* зображено вигляд *А*, де під гострим кутом  $\beta$  до горизонтальної площини розташовується ніж-добривачка 4, при цьому нарізання щілин проводять під кутом  $30...45^\circ$ , шириною захоплення  $b$  та висотою установки  $a$ . Дільник 8 розсікає вертикально подавальне рідке добриво, що рівномірно подається, на правий і лівий удобрювачі.

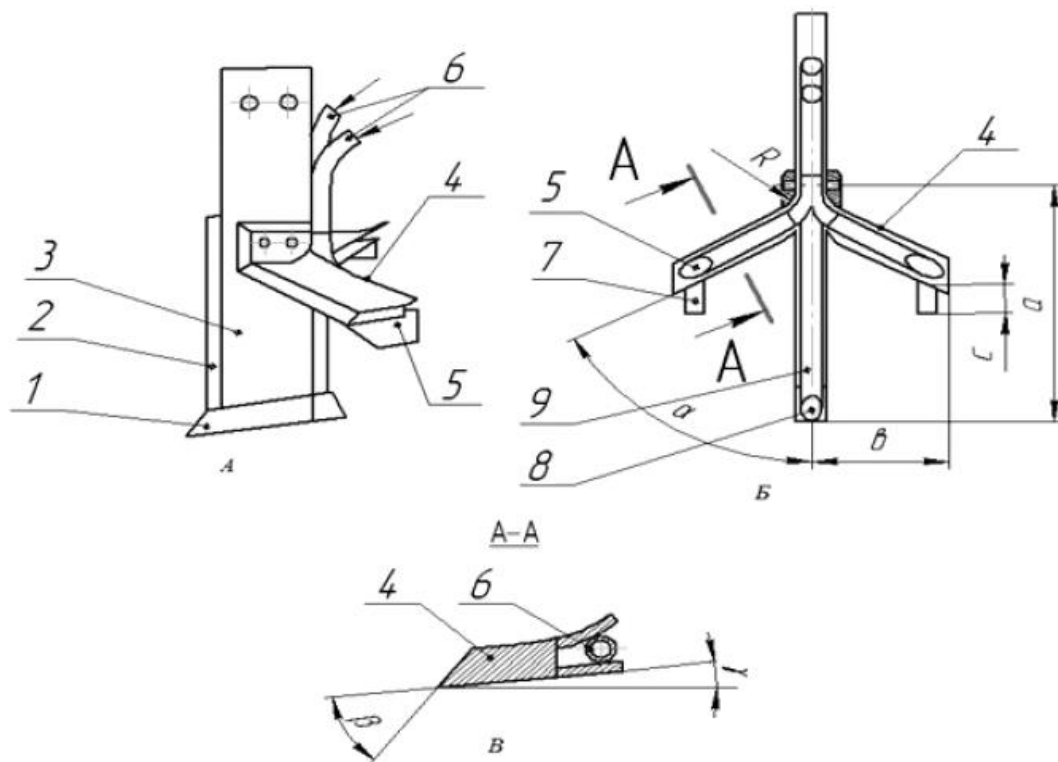


Рис. 2.2. – Схема робочого органу для внесення добрив: 1 – долото; 2 – розсіювач; 3 – стовба; 4 – ніж; 5 – горизонтальний щілювач; 6, 9 – трубчатий удобрювач; 7 – наконечник-живильник; 8 – вертикальний щілювач.

Робочий орган для внесення добрив, що містить розташовану під кутом  $30... 45^\circ$  стійку щілинника з розсікачем і долотом, що вирізняється тим, що

оснащений ножем з удобрювачем, причому ніж має різальну кромку, утворену виконаним під кутом скосом, розміщений під гострим кутом до горизонтально-поперечної площини та пригвинчений до стійки болтами з внутрішньою шестигранною напівпотайною голівкою, до якої приварено удобрювач, при цьому удобрювач виконаний із плавним радіусом згину.

Робочий орган ніж з добривом, який використовується за технології смугового обробітку ґрунту, працює таким чином. Під час руху агрегату по полю ножі з удобрювачами з обох боків заглиблюються в орний шар ґрунту й утворюють похилі щілини в поперечній площині, а нарізання щілин проводять під кутом  $30...45^{\circ}$ . При цьому ніж здійснює нарізку щілин із частковим подрібненням ґрунту, а удобрювач підводить добриво. Після проходження пристрою в орному шарі ґрунту добрива розподіляються у вигляді похилих смуг на заданому рівні.

Таке внесення добрив усуває їх випаровування, змивання та вивітрювання з поверхні ґрунту і забезпечує рівномірне живлення рослин весь вегетаційний період розвитку від проростання до повного дозрівання, виключає підживлення рослин як окрему технологічну операцію, дає змогу використовувати природні процеси для підготовки ґрунту, тим самим покращує агроумови .

Необхідно обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри запропонованої секції смугового обробітку ґрунту на основі аналітичних розрахунків і математичного моделювання процесу обробітку ґрунту.

Для обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів секції культиватора було розроблено програму досліджень.

Програма містить три основні етапи досліджень:

- аналіз технології смугового обробітку ґрунту (Strip-till);
- моделювання процесу обробітку секції культиватора та моделювання процесу внесення РКД, оцінка адекватності моделей експериментальними методами;
- аналіз результатів досліджень.

Проведемо конструктивно-технологічне обґрунтування розробленої схеми. На рисунку 2.3 представлено розрахункову схему розміщення робочих органів на рамі зняття. На схемі вказані конструктивні параметри, що характеризують положення робочих органів секції в просторі відносно один одного й оброблюваної поверхні.

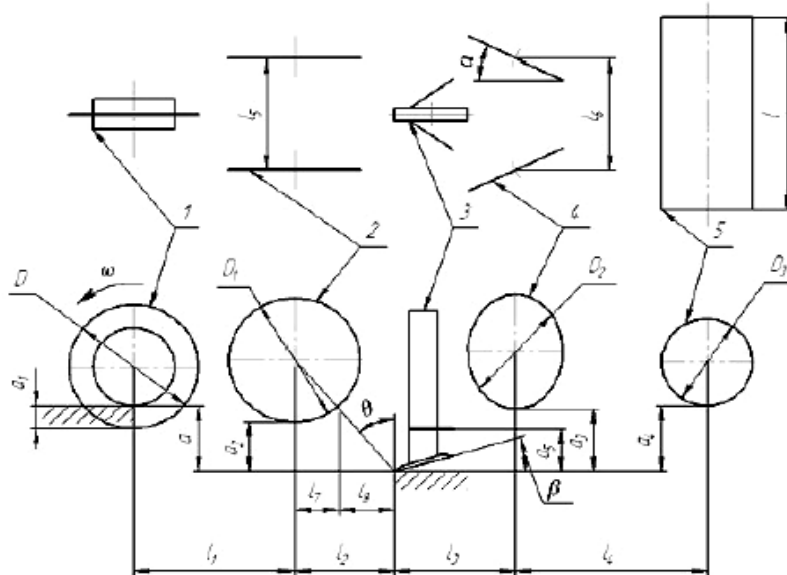


Рис. 2.3 - Схема розміщення робочих органів на рамі зняття: 1 - диск передній розрізний; 2 - диски задні розрізні; 3 - щілювач з ножами; 4 - диски сферичні завалювальні; 5 - коток планчастий; 11 - відстань між осями переднього і задніх розрізних дисків; 12 - відстань між носком щілювача і віссю задніх розрізних дисків; 13 - відстань між носком розщеплювача і віссю завалювальних сферичних дисків; 14 - відстань між осями завалювальних сферичних дисків і планчастим котком; 15 - відстань між задніми сферичними дисками в поперечному напрямку.

Розрахункова схема встановлення бічних вертикальних дисків представлена на рисунку 2.4.

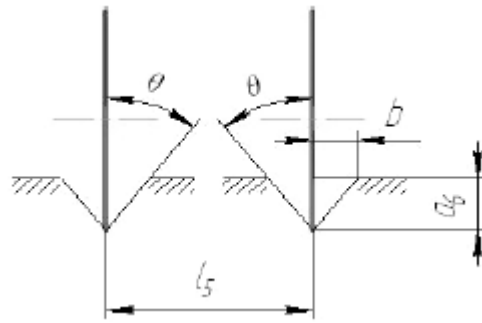


Рис. 2.4 Розрахункова схема встановлення бічних вертикальних дисків

Кут  $\theta$  залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту і змінюється в межах від  $18^\circ$  до  $42^\circ$  [32, 45].

Визначимо відстань між слідами робочих органів за формулою:

$$S = (S - S_n) + B_b + 2 \cdot (a - a_1) \cdot \operatorname{tg} \theta_n \quad (2.1)$$

де  $B_b$  - ширина захвату робочого органу для внесення добрива, м;

$a$  - висота встановлення ножів, м;

$\theta_n$  - кут, за якого відбувається сколювання ґрунту в поперечно-вертикальній площині;

$a_1$  - висота встановлення ножів на стовбі щілювача, м.

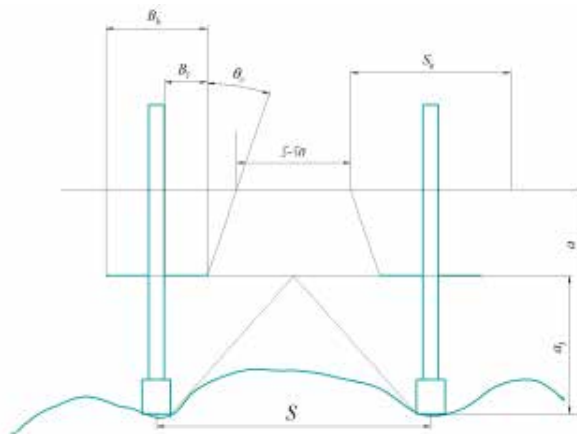


Рисунок 2.5 - Розрахункова схема для визначення ширини робочого органу для внесення добрив

З формули (2.1) виразимо мінімальну ширину робочого органу для внесення добрив верхнього ярусу

$$B_b = S_n - 2 \cdot (a - a_1) \cdot \operatorname{tg} \theta_n$$

За глибини обробітку ґрунту  $a = 0,25$  м, висоти встановлення ножів на стійці щілиноутворювача  $a_1=0,15$  м і макс. кута сколювання ґрунту  $\theta_n = 42^\circ$  ширина ножів верхнього ярусу обробітку і внесення добрив  $B_b = 0,18$  м.

Положення робочого органа на стійці визначається виходячи із взаємодії його з ґрунтом у поздовжній площині (рис. 2.6).

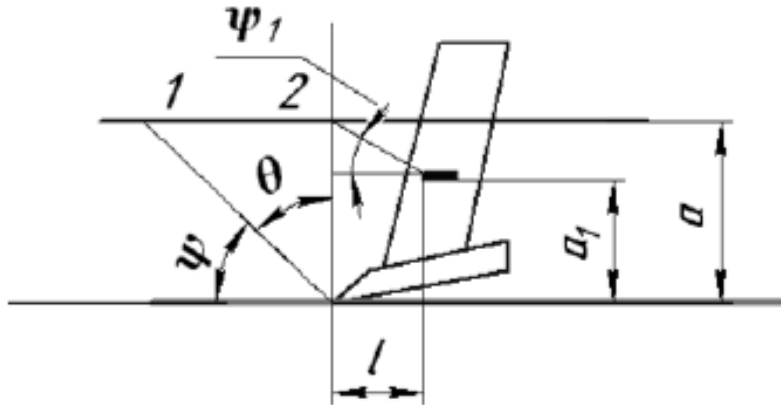


Рис. 2.6 - Розрахункова схема висоти встановлення ножів на стійці щілиноутворювача

Для зниження енергоємності процесу необхідно мінімізувати накладення зон деформації пласта долотом щілиноутворювача 1 і робочого органа для внесення добрив верхнього ярусу 2 одна на одну. Цю умову буде забезпечено, якщо носок долота або робочого органа для внесення добрива і перетин лінії відколу ґрунтового шару з поверхнею ґрунту лежатиме на одній лінії по вертикалі

Для забезпечення умов, описаних вище, відстань від ножа до носка долота визначається з виразу:

$$l = (a - a_1) / \operatorname{tg} \psi_1$$

де  $\psi_1$  - кут зсуву ґрунту верхнього ярусу, град.

$$\psi_1 = \alpha + \varphi_2.$$

У результаті аналізу технологій обробітку ґрунту було встановлено:

- положення робочого органу на стійці щілиноутворювача значною мірою впливає на якість внесення добрив і тяговий опір знаряддя;

– для підвищення врожайності сільськогосподарських культур необхідно забезпечити об'ємне внутрішньогрунтове внесення добрив за глибиною оброблюваного шару;

– внесення добрив на різні глибини безпосередньо в ґрунт сприяє поліпшенню живлення рослин і дає змогу скоротити операції на підживлення рослин.

– Робочий орган дає змогу здійснити основний обробіток ґрунту на ширину смуги від 15 до 25 см, водночас приблизно 60% площі оброблюваного поля не обробляється, що зі свого боку веде до зниження енергетичних витрат.

## 2.2 Обґрунтування відстані між робочими органами

Для усунення забивання ґрунту та рослинних решток між робочими органами секції зони деформації ґрунту кожного з них не повинні перетинатися одна з одною

Згідно з розрахунковою схемою (рис. 2.7) відстань між робочими органами визначається таким чином.

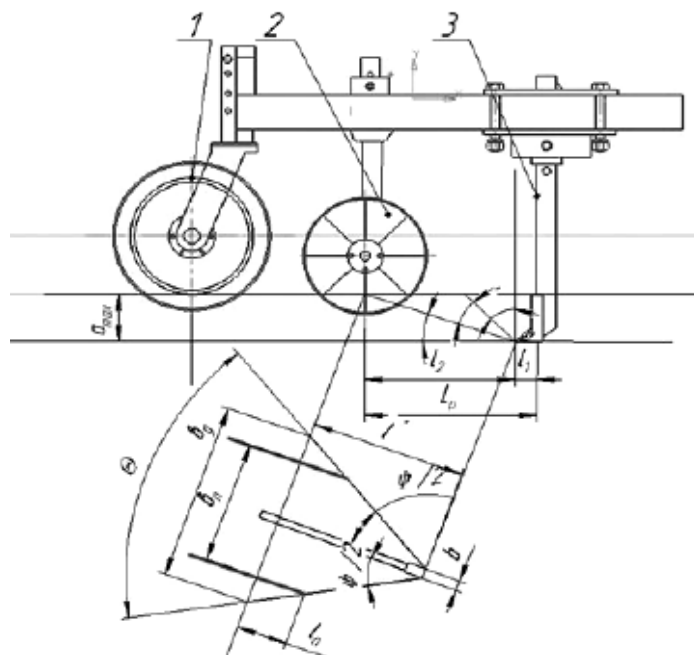


Рисунок 2.7 - Розташування робочих органів культиватора: 1-розрізний диск із ребордами; 2 - підрізні диски; 3- розпушувач

Розпушувальний робочий орган характеризується такими параметрами:

$a$  - глибина обробітку, м ( $a = 0,25$  м);

$\beta$  - кут постановки долота до дна борозни, град;

$b$  - ширина захоплення долота, м ( $b = 0,03$  м);

$b_g$  - ширина зони розпушування долота, м;

$l_1$  - виліт долота відносно стійки, м ( $l_1=0,05$  м);

$l_2$  - відстань між диском і розпушувальним робочим органом, м

$$l_2 = a \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi)$$

де  $\alpha$  - кут подрібнення ( $\alpha=20^\circ$ ),  $\varphi$  - кут тертя ґрунту по матеріалу долота ( $\varphi > 20 \dots 30^\circ$ ) [11].

Зона поширення деформації ґрунту в поздовжньому напрямку залежить від величини, а також від кутів  $\alpha$  і  $\varphi$ . У разі зменшення відстані від долота до підрізних дисків може призвести до заклинювання ґрунту, а збільшення відстані до невиправданого подовження конструкції. Зона деформації визначається з формули 2.7.

Кут, що характеризує область деформації в поперечному напрямку ґрунту в площині сколювання

$$\theta = 2\varphi_2$$

Кут  $\psi$  сколювання ґрунту може бути визначений за формулою

В.П. Горячкіна [10]:

$$\psi = 90^\circ - \frac{\alpha + \omega_1 + \varphi_{\Pi}}{2} \quad (2.6)$$

де  $\varphi_1$  = кут тертя ґрунту по матеріалу лапи,

$\varphi_2$  - кут внутрішнього тертя ґрунту.

$$\varphi_1 = 20^\circ \dots 30^\circ, \quad \varphi_{\Pi} = 30^\circ \dots 40^\circ:$$

$$\psi = 90^\circ - \frac{25^\circ + 25^\circ + 35^\circ}{2} = 47,5^\circ$$

Потрібно визначити глибину деформації  $l^*$ . Вона визначається за формулою:

$$l^* = \sqrt{l^2 + a_{\max}^2} = \sqrt{0,0036^2 + 0,25^2} = 0,3 \text{ м}$$

Відстань між щільувачем і підрізними дисками органами  $L_p$  визначається як:

$$L_p = l_1 + l_2$$

$$L_p = (0,05 + (0,25 \cdot \operatorname{tg}(250 + 350))) = 0,3 \text{ м}$$

Для визначення деформації в поперечному напрямку ми використовуємо формулу

$$V_g = V + 2a \cdot \operatorname{tg} 2\varphi = 0,05 + 2 \cdot 0,25 \cdot \operatorname{tg} 260 = 0,6 \text{ м}$$

Виходячи з результатів формули 2.9, зона деформації в поперечному напрямку становить  $V_g = 0,6 \text{ м}$ , з (рис.2.9, а) видно, що, за заданих значень, зона деформації в поперечному напрямку перетинається з деформацією сусіднього робочого органу, що є неприпустимим для технології смугового обробітку ґрунту. Для того, щоб досягти утворення необробленої смуги, ми встановлюємо паралельно два розрізні диски на глибину та відстань:

$$l_n = 0,1 \text{ м},$$

$$l_n = 0,25 \text{ м}.$$

При такій установці у нас залишатиметься необроблена смуга шириною 0,25 м (рис. 2.8 б).

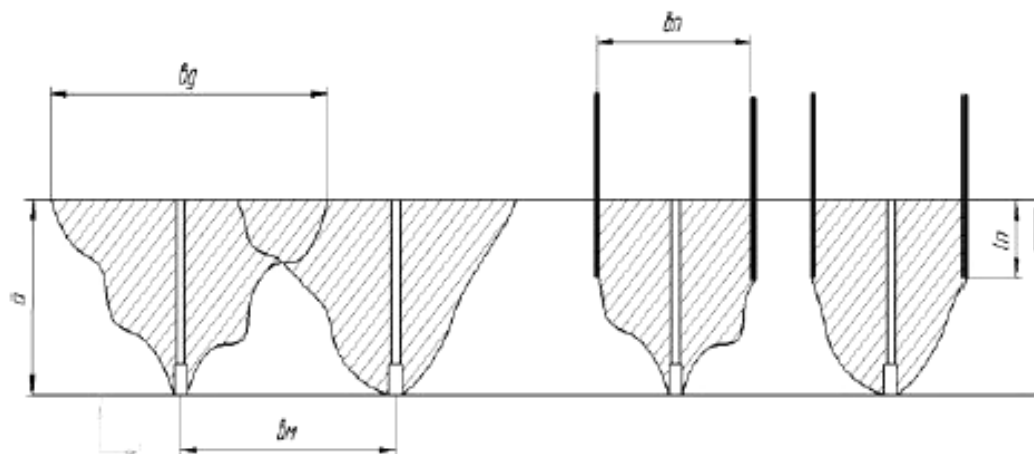


Рис. 2.8 - Схема деформації ґрунту розпушувачем: а) деформація ґрунту розпушувачем, б) деформація ґрунту із застосуванням розрізних дисків

Під час роботи дані розрізні диски будуть підрізати ґрунт на певну глибину  $l_p$ , утворювати вертикальні розрізи. Деформація ґрунту, яка йтиме від розпушувача, доходячи до розрізаного ґрунту, не буде далі

поширюватися. Тим самим утворюється смуга необхідної ширини  $v_n$  і глибини обробітку  $a$ .

Таким чином, на основі теоретичних розрахунків отримано такі конструктивно-технологічні параметри секції культиватора для смугового обробітку ґрунту:

- ширина ножів верхнього ярусу обробітку ґрунту та внесення добрив  $B_b = 0,18$  м;
- відстань між щілинником і підрізними дисками органами  $L_p = 0,3$  м;
- глибина ходу розрізних дисків  $l_n = 0,1$  м;
- відстань між розрізними дисками  $v_n = 0,25$  м;

### 2.3 Теоретичне визначення тягового опору секції культиватора

Для вибору енергетичного засобу для агрегування розроблюваного культиватора необхідно визначити його тяговий опір, що виражає фізичну сутність взаємодії робочих органів із ґрунтом.

Тяговий опір секції культиватора  $P_{\text{тяг}}$  можна визначити як суму складових тягових опорів кожного робочого органа.

$$P_{\text{тяг}} = P_{\text{тд}} + 2 \cdot P_{\text{тд}} + P_{\text{щіл}} + 2 \cdot P_{\text{сд}} + P_{\text{кат}}$$

де  $P_{\text{тд}}$  - опір турбодиска, Н;

$P_{\text{тдд}}$  – опір підрізних турбодисків, Н;

$P_{\text{щіл}}$  – опір щілинкоутворювача з ножами, Н;

$P_{\text{сдд}}$  – опір сферичних дисків, Н;

$P_{\text{кат}}$  – опір котка, що коткує, Н.

Опір турбодиска і підрізних дисків

$$P_{\text{тд}} = a \cdot k_d \quad (2.11)$$

де  $a$  - глибина обробітку;

$k_d$  - розрахунковий питомий опір ножа на 1 см глибини за товщини спинки 10...17 мм становить  $k_d = 5...9$  Н/см.

Тяговий опір розпушувального робочого органу складається з сил, що витрачаються на підрізання шару ґрунту лезом долота і ножем стійки, на

тертя ґрунту об долото і стійку робочого органу, на підйом і розпушування ґрунту. Значення цих сил залежить від параметрів долота і стійки.

Тяговий опір розпушувального робочого (щілювача)

$$P_{щіл} = k \cdot b_d \cdot h$$

де  $k$  - питомий тяговий опір різанню, Н/м;

$b_d$  - ширина долота, м;

$h$  - глибина обробітку, м.

Відомо, що у дискових робочих органів тяговий опір менший, ніж у розпушувальних робочих органів, тому що сили тертя ґрунту об диск переходять на силу перекочування.

У разі деформації ґрунту зсувом питомий опір ґрунту різанню

$$k = \frac{\tau_{max} \cos \varphi_1 \sin(\alpha + \varphi)}{\cos^2(\alpha + \varphi + \varphi_1)}$$

де  $\alpha$  - кут установки долота до дна борозни;  $\tau_{max}$  - напруга чистого зсуву;  $\varphi$  і  $\varphi_1$  - кут зовнішнього і внутрішнього тертя ґрунту.

Тяговий опір хвилястого диска

$$P_{сд} = \frac{P_{Тд}}{\operatorname{tg}(\alpha_{вд} + \varphi_{вд})}$$

де  $\alpha_{вд}$  - кут установки ножа до напрямку руху ( $\alpha = 10 \dots 12$ );

$\varphi_{вд}$  - кут (зовнішнього) тертя ґрунту об метал ( $\varphi = 23 \dots 25$ ).

У результаті розрахунків:

- тяговий опір турбодиска 157...193 Н;
- тяговий опір щілювача 635...775 Н;
- тяговий опір сферичного диска 225...275 Н;
- тяговий опір котка 112...132 Н;
- загальний тяговий опір секції культиватора 1668...2036 Н.

За отриманими формулами можна підібрати енергетичний засіб для агрегування даного культиватора.

## 2.4. Обґрунтування технологічної схеми і параметрів пристрою для об'ємного внутрішньогрунтового внесення рідких комплексних добрив

Дотримання заданих норм із внесення рідких мінеральних і рідких комплексних добрив потребує використання спеціалізованих пристроїв і пристосувань, що враховують особливості технологічного процесу приготування робочого розчину добрив, до складу якого входять рідкі компоненти різної в'язкості. Для здійснення процесу приготування робочого розчину рідких комплексних добрив необхідно використовувати дозувальні пристрої, що забезпечують задану концентрацію добрив. З урахуванням вимог і рекомендацій нами пропонується пристосування для внесення рідких комплексних добрив одночасно зі смуговим обробіткою ґрунту (рис. 2.9).

Пристрій працює таким чином. Під час відкриття вентиля 3 розчин добрив із ємності 1, через фільтр 2 подається і дозується насосом 4. Зайвий розчин за допомогою запобіжного клапана потрапляє назад у ємність. Основний обсяг рідини подається розподільнику добрив. Подача насоса регулюється за допомогою частотного регулятора 11. Пристосування для внесення РКД містить два однакових пристрої, описаних вище, для внесення РКД у два рівні, верхній і нижній

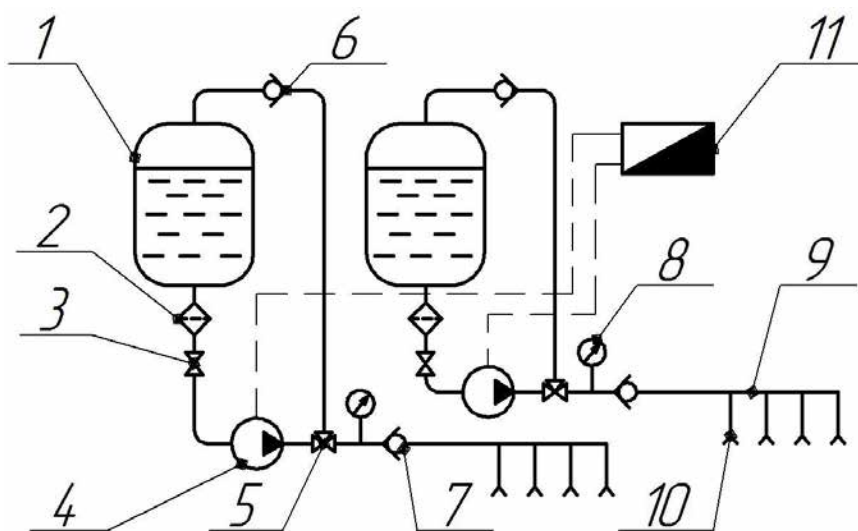


Рисунок 2.9 - Принципова гідролічна схема пристрою для внесення РКД: 1 - ємність із розчином добрив; 2 - фільтр; 3 - вентиль; 4 - відцентровий

насос; 5 - трійник; 6 - клапан запобіжний; 7 - клапан відсічний; 8 - манометр; 9 - колектор; 10 - впорскувальний інжектор; 11 - пульт керування насосами.

Для обґрунтування параметрів розробленого пристосування необхідно:

- провести моделювання технологічного процесу подачі добрив до впорскувальних насадок аналітичним способом;
- провести моделювання технологічного процесу подачі добрив до вприскувальних насадок чисельним методом;
- провести порівняння отриманих результатів аналітичних розрахунків і результатів чисельного моделювання.

Пристроєм для створення потоків рідини в гідросистемі є насос. Продуктивність відцентрових насосів багато в чому залежить від частоти обертання лопаток насоса, регулювання витрати рідини в такий спосіб дає змогу значно зменшити енергетичні витрати на тертя та інші втрати, порівняно із системами, де застосовується перепуск рідини за допомогою клапанів і вентилів. У таких насосах витрата пропорційна частоті обертання його робочого органу.

Для моделювання потоку рідини в гідросистемі необхідно враховувати можливість зміни витрати. Тому визначимо витрату робочого розчину добрив залежно від частоти обертання приводу насоса, зокрема електропривода, за такою формулою

$$Q_2 = \frac{Q_1 n_2^2}{n_1^2}$$

де  $Q_1$  - об'ємна подача робочого розчину за номінальної частоти обертання робочого органу насоса  $n_1$ , м<sup>3</sup>/год;  $Q_2$  - об'ємна подача робочого розчину за зміненої частоти обертання робочого органу насоса  $n_2$ , м<sup>3</sup>/год;  $n_1$  - номінальна частота обертання робочого органу насоса, хв-1;  $n_2$  - змінена частота обертання робочого органу насоса, хв-1;

Визначимо напір потоку рідини залежно від частоти обертання робочого органу насоса за формулою

$$H_2 = \frac{H_1 n_2^2}{n_1^2}$$

де  $H_1$  - напір робочого розчину за номінальної частоти обертання робочого органу насоса  $n_1$ , м;

$H_2$  - напір робочого розчину за зміненої частоти обертання робочого органу насоса  $n_2$ , м.

Виразимо напір через тиск, тоді отримаємо

$$P_2 = \frac{P_1 n_2^2}{n_1^2}$$

Загальна витрата робочого розчину добрив являє собою суму витрат кожного впорскувального інжектора, який у загальному вигляді представлений таким чином

$$Q_{\text{общ}} = \sum Q_{n_v} + \sum Q_{n_n},$$

Оскільки внесення добрив проводиться пошарово і проводиться у верхній і нижній шар, то для верхнього шару витрата буде виражатися за формулою

$$Q_v = \sum Q_{n_v},$$

де  $Q_{n_v}$  - витрата робочого розчину для  $n$ -го інжектора у верхньому шарі, м<sup>3</sup>/с.

А для нижнього шару витрата буде виражатися за формулою

$$Q_n = \sum Q_{n_n}, \quad (2.16)$$

де  $Q_{n_n}$  - витрата розчину для  $n$ -го інжектора в нижньому шарі, м<sup>3</sup>/с.

Для завдання граничних умов під час моделювання процесу пошарового подавання добрив і подальшого визначення кількості витікання робочого розчину необхідно розрахувати витрату і тиск для кожного впорскувального інжектора за такою формулою

$$Q_n = \mu_n f \sqrt{2gH},$$

де  $\mu_n$  - коефіцієнт витрати впорскувального інжектора;

$f$  - площа перерізу впорскувального інжектора, мм<sup>2</sup>;

$H$  - напір, м.

Зведемо до квадрата праву і ліву частини й отримаємо вираз

$$Q_n^2 = (\mu_n f)^2 2gH,$$

Виразимо формулу напору через отримане рівняння

$$H = \frac{1}{2g} \left( \frac{Q_n}{\mu_n f} \right)^2,$$

Тепер представимо вираз (2.53) через тиск

$$P = \frac{1}{2} \rho \left( \frac{Q_n}{\mu_n f} \right)^2,$$

Виразимо формулу через масову витрату, масова витрата в загальному вигляді визначається виразом

$$Q_{nm} = \rho Q_n,$$

Підставивши отримаємо

$$Q_{nm} = \rho \mu_n f \sqrt{2gH},$$

Тоді формула для масової витрати буде мати вигляд,

$$H = \frac{1}{2g} \left( \frac{Q_{nm}}{\rho \mu_n f} \right)^2,$$

Покажимо вираз через тиск

$$Q_{nm} = \rho \mu_n f \sqrt{\frac{2P}{\rho}},$$

Тоді для масової витрати визначається

$$P = \frac{1}{2} \rho \left( \frac{Q_{nm}}{\rho \mu_n f} \right)^2,$$

Параметр  $\mu_n$  - коефіцієнт витрати задають, виходячи з типу вихідного отвору і його форми, а також таких конструктивних параметрів інжектора, як діаметр  $d$  на виході та довжина  $L$  вузької частини інжектора (рис. 2.10)

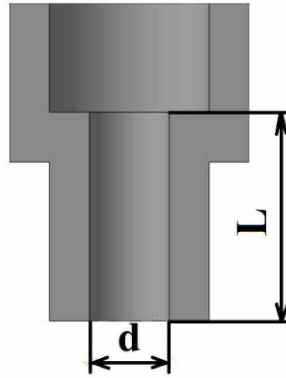


Рис. 2.10 – Інжектор впорскувальний

У роботі Горового Р.Р. [17] представлено методику визначення коефіцієнта витрати залежно від відношення довжини вузької частини насадки до діаметра вузької частини. Згідно з цим методом визначимо довжину вузької частини насадки, вона дорівнюватиме двом діаметрам насадки, тобто  $L = 4$  мм (рис.2.10)

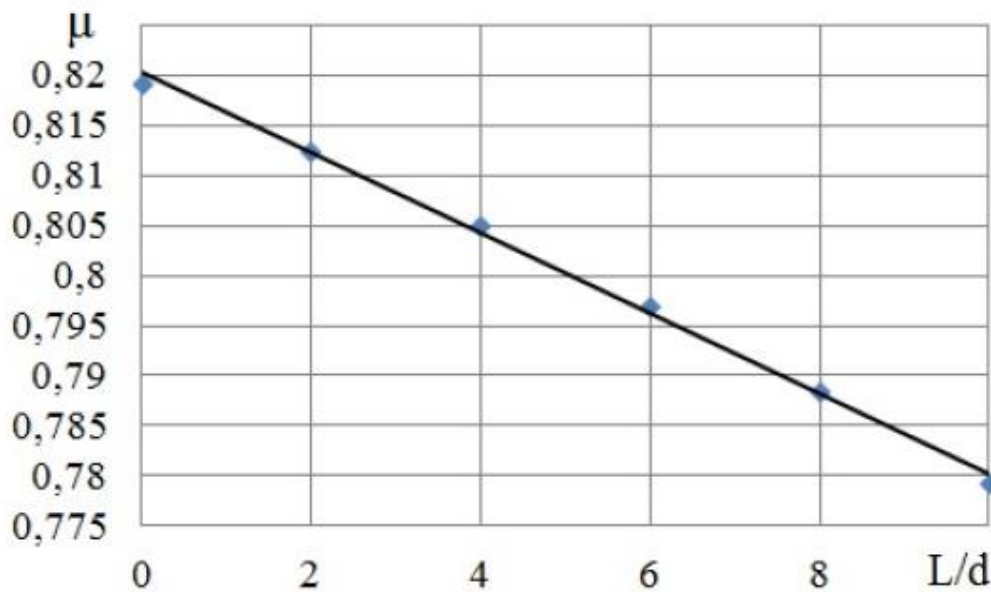


Рис. 2.10 - Визначення коефіцієнта витрати із впорскувального інжектора

Коефіцієнт витрати для циліндричної насадки дорівнює  $\mu_n=0,81$ , за діаметра  $d = 2$  мм.

### 3. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1 Методика проведення лабораторно-польових досліджень

З метою перевірки працездатності розробленої секції культиватора і визначення якості його роботи нами було проведено лабораторно-польові випробування.

Випробування проводилися на полях СГПП «РАТЬ» Волинська область. Методи оцінки функціональних показників". Програмою агротехнічної оцінки передбачалося визначення рівномірності глибини обробітку, визначення структурного стану ґрунту, ширини оброблюваної смуги культиватором для смугового обробітку ґрунту (рис. 3.1).



Рис. 3.1 - Випробування секції культиватора для смугового обробітку ґрунту в лабораторно-польових умовах

Польові випробування проводилися на СГПП «РАТЬ» Волинська область. Підготовка випробувань проводилася відповідно до агротехнічних вимог зони. На обрану для випробувань ділянку склали характеристику із зазначенням типу ґрунту, рельєфу, мікрорельєфу, вологості. Тип ґрунту лужний чорнозем. Вологість ґрунту перед обробітком становила в середньому 18-23 %.

Визначення вологості, налаштування культиватора всіх робочих органів на задану глибину обробітку проводили за загальновідомими методиками.

Для оцінки структурного стану ґрунту заснований на просіюванні через набір сит діаметрами отворів 10;7;3;2;1;0,5 мм не розтертого повітряно-сухого ґрунту масою 0,25 - 2,5 кг із подальшим зважуванням маси кожної фракції ґрунту на ситах. За співвідношенням суми вмісту (%) агрономічно цінних (0,25-10,0 мм) до малоцінних визначається коефіцієнт структурності та оцінюється структурний стан ґрунту (рис. 3.2).



Рис. 3.2 – Пристосування для оцінки структурного стану ґрунту

Основним показником якості роботи культиватора є глибина обробітку ґрунту та ширина оброблюваної смуги. Метод, за яким оцінювалася глибина обробітку ґрунту, і так у 15-20 місцях визначаємо глибину обробітку ґрунту й знаходимо середнє значення, середня глибина її не має перевищувати більше ніж на 2 см. Якщо під час визначення виявлено відхилення, оранку бракують або їй знижується оцінка (рис. 3.3)



Рис. 3.3 – Визначення глибини обробітку ґрунту

Для визначення ширини оброблюваної смуги необхідно знати ширину розміщення підрізних дисків і глибину підрізання верхнього шару. Ширину розставляння підрізних дисків коригують за допомогою лінійки в 15-20 місцях, визначають його середнє значення, яке не повинно перевищувати

0,25 м, якщо значення перевищить встановлені обмеження, то обробіток буде суцільним, що не допускається.

На рис.3.4 показано процес обробітку ґрунту розробленим культиватором.



Рис. 3.4 – Випробовування культиватора в лабораторно-польових умовах

Метою дослідження було уточнення конструктивно-технологічних параметрів культиватора, критеріями якого були якість обробітку ґрунту за показником ступеня подрібнення ґрунту в межах ширини оброблюваної смуги та енергетична оцінка розробленої конструкції за показником тягового опору знаряддя.

Загальний вигляд культиватора для смугового обробітку ґрунту показаний на рис. 3.5.

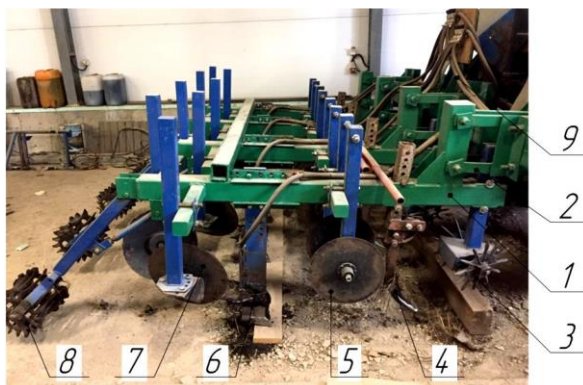


Рис. 3.5 – Загальний вигляд культиватора для смугового обробітку ґрунту: 1 - рама; 2 - паралелограмний механізм; 3 - голчасті диски; 4 - розпушувач; 5 - плоскі диски; 6 – розпушувач з тукопроводами; 7 - сферичні диски; 8 - планчастий коток

Вологість ґрунту перед обробіткою визначалася вологоміром сипучих матеріалів TR 47122 виробництва Forli і була в межах від 19 до 24 %. Методом просіювання та виділення фракцій було визначено структурний стан ґрунту після проходу знаряддя через решітні рамки. Розміри комірок рамок становили: менше 10 мм; від 10 до 25 мм; від 25 до 50 мм; від 50 до 100 мм; понад 100 мм. Вимірювання тягового опору знаряддя проводили з використанням тензоланки і датчиків вимірювального комплексу обладнаного датчиком номіналом 30000 Н, що встановлений між двома тракторами.

Для польових використовували щілювач щелеватель конструкції, показаної на рис. 3.6.



Рис. 3.6 – Щілювач для проведення польових випробувань

На культиватор встановлювали додаткове обладнання для внесення рідких комплексних добрив (РДК).

### **3.2 Результати польових досліджень та агротехнічної оцінки розробленої секції для смугового обробітку ґрунту**

За результатами теоретичних і лабораторних досліджень нами було обґрунтовано основні конструктивно-технологічні параметри секції культиватора для смугового обробітку ґрунту з одночасним внесенням добрив. За отриманими параметрами було виготовлено експериментальний зразок секції культиватора для випробувань у польових умовах (рис. 3.7).



Рис. 3.7 - Секція культиватора для смугового обробітку ґрунту

Під час випробування глибина обробітку щілинного культиватора а варіювалася в діапазоні від 25 до 30 см, а підрізних дисків ад - у діапазоні від 7 до 10 см (рисунок 3.8), швидкість руху - від 0,8 до 3,4 м/с.

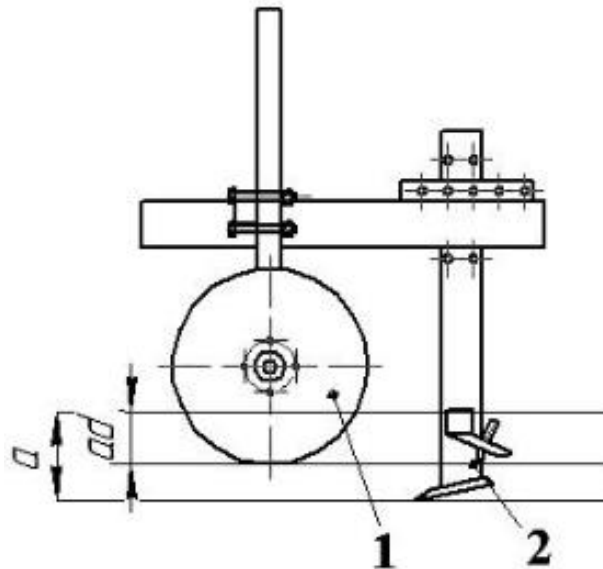


Рисунок 3,8 - Технологічна схема змінних параметрів глибини обробітку: 1 - підрізні диски, 2 - розпушувальний робочий орган

Як вихідні параметри під час проведення агротехнічної оцінки за різних швидкостей руху агрегату і глибини обробітку було обрано такі показники: ступінь підрізання бур'янів, ступінь подрібнення ґрунту, брижистість.

Параметри тягового опору, ступеня подрібнення та глибистості залежно від швидкості руху за різних глибин ходу щілинкоутворювача та глибини ходу підрізних дисків  $a_d=0,1$  м подано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Залежність тягового опору, ступеня подрібнення і величини глиб від швидкості руху за різних глибин ходу щілювача

Глибина обробітку, $a$ , м	Швидкість, $V$ , км/год	Тяговий опір, $H$	Ступінь кришення, $C_K$ , %	Глибистість $K_K$ , %
0,25	3,20	1580,56	80	0
	4,50	1675,32	90	0
	7,70	1770,02	8	20
0,30	9,50	1988,21	76	22
	3,20	1620,56	72	24
	4,50	1875,32	92	26
	7,70	1970,02	78	25

Графічні залежності тягового опору від швидкості руху при глибинах обробітку щілінкоутворювача 0,25 м і 0,30 м показано на рисунку 3.9.

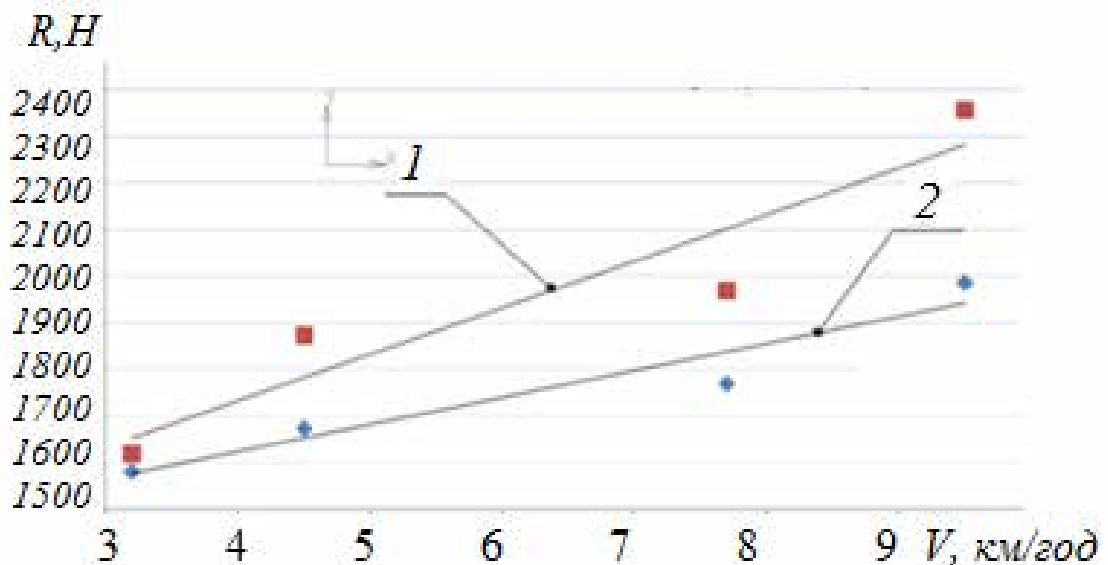


Рис. 3.9 - Графік залежності тягового опору від швидкості: 1– тяговий опір на глибині обробітку 0,30 м; 2– тяговий опір на глибині обробітку 0,25 м

Очевидно, що при збільшенні швидкості руху робочого органу і глини обробітку, збільшується тяговий опір знаряддя.

Залежність ступеня кришення ґрунту від швидкості руху знаряддя на глибині обробітку щілювача 0,25 і 0,3 м показані на рис. 3.10.

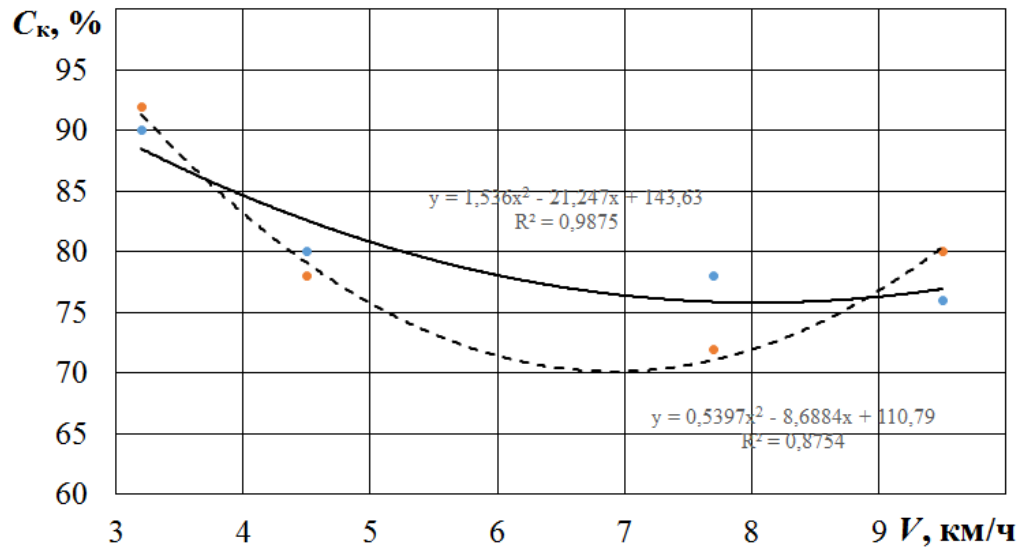


Рис. 3.10 - Залежність ступеня подрібнення від швидкості руху за глибини обробітку 0,25 і 0,3 м

Із графіка видно, що ступінь подрібнення ґрунту розробленою секцією культиватора для смугового обробітку ґрунту знижується за робочих швидкостей руху знаряддя 4,5...7,7 км/год. Особливо це помітно при збільшенні глибини обробітку до 0,3 м. Ступінь подрібнення ґрунту культиватором відповідає агротехнічним вимогам ( $C_k > 75\%$ ) за глибини обробітку 0,25 м.

Графічні залежності глибистості ґрунту від швидкості руху знаряддя за глибин обробітку щілинкорозпушувача 0,25 і 0,3 м показано на рисунку 3.11.

Як видно з даних залежностей зі збільшенням швидкості руху знаряддя глибистість ґрунту збільшується.

Згідно з агротехнічними вимогами ступінь подрібнення має бути не менше ніж 75%, а глибистість у межах 10...15%. Результати польових досліджень засвідчили, що під час обробітку на глибину до 0,25 м необхідний ступінь подрібнення забезпечується за будь-якої робочої швидкості руху агрегату від 3,0 до 9,5 км/год. У разі збільшення глибини обробітку понад 0,3 м необхідно збільшувати швидкість руху понад 8 км/год.

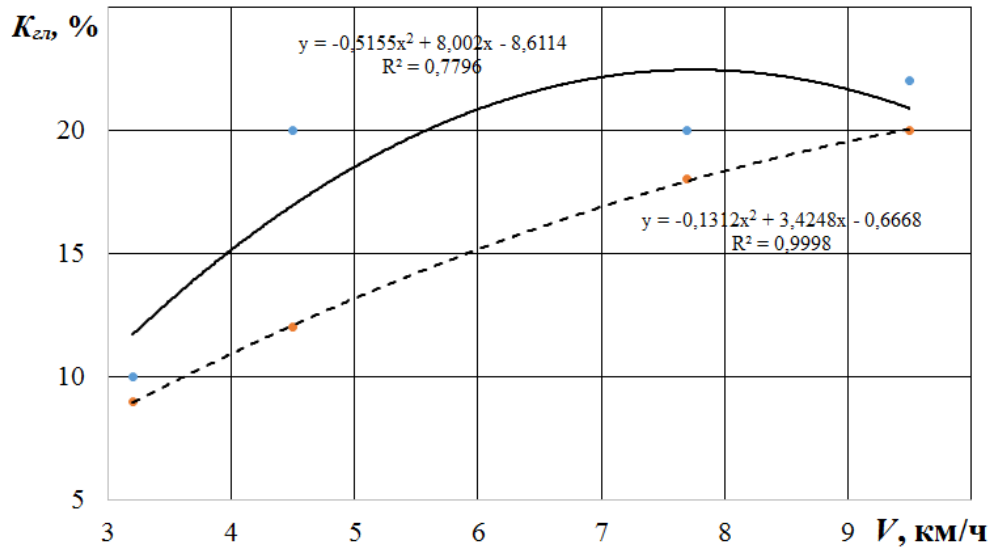


Рис. 3.11 - Залежність глибистості від швидкості руху за глибини обробки: 0,25 і 0,3 м: -  $a = 0,25$  м,  $a = 0,3$  м

### 3.3. Результати агротехнічної оцінки культиватора

Метою дослідження було уточнення конструктивно-технологічних параметрів культиватора, критеріями якого були енергетична оцінка розробленої конструкції за тяговим опором знаряддя та агротехнічна оцінка за ступенем подрібнення ґрунту.

Після визначення основних конструктивно-технологічних параметрів секції культиватора було розроблено повноцінний культиватор, що містить у собі 4 секції (рис. 3.12.)



Рисунок 3.12 - Тягове випробування культиватора: 1 - культиватор; 2 - джерело живлення (бензиновий генератор); 3 - система подачі РКД; 4 - емність для РКД; 5 - вимірювальний комплекс МІС-400D

Вхідними параметрами в польових дослідженнях були: 1) глибина ходу розпушувача  $a = 15, 20, 25$  см; 2) кут атаки сферичних дисків  $\alpha = 20, 25; 300$ ) швидкість руху знаряддя  $V = 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5$  м/с.

Як вхідні параметри було обрано: 1) тяговий опір знарядь  $R, H$ ; 2) витрату палива трактором  $Q$ , л/га; 3) ступінь подрібнення ґрунту  $S_k$ , %.

Як вихідні параметри прийнято такі показники:

- для енергетичної оцінки - тяговий опір знаряддя і витрата палива трактором;

- для агротехнічної оцінки - ступінь подрібнення ґрунту після проходу знаряддя.

У таблиці 4.14 показано значення тягового опору знаряддя за різних технологічних параметрів - глибини ходу розпушувача  $a$ , кута атаки сферичних дисків  $\alpha$  і швидкості руху знаряддя  $V$ .

Таблиця 3.2

Залежність тягового опору культиватора від швидкості руху та кута атаки сферичних дисків

Кут атаки сферичних дисків $\alpha$ , град	Швидкість руху знаряддя, $V$ , м/с				
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Глибина ходу розпушувача $a = 15$ см					
20°	6941,2	7412	8524,3	10254,3	12431,5
25°	7170,1	8910,1	9710,2	10900,1	14720,4
30°	8100,1	8900,1	10100,3	14000,2	16942,1
Глибина ходу розпушувача $a = 20$ см					
20°	8550,2	8701,4	10421,5	11801,3	13456,8
25°	8803,7	9741,3	12004,1	13871,4	16126,4
30°	9252,4	10471,9	13002,1	14471,2	17163,2
Глибина ходу розпушувача $a = 25$ см					
20°	9301,2	9841,7	11900,5	12300,2	14902,5
25°	9531,5	11751,2	12981,2	15024,2	17200,3

30°	10874,2	12008,1	14847,2	17850,1	19850,4
-----	---------	---------	---------	---------	---------

На рисунку 3.13 показано графіки залежності тягового опору від швидкості руху знаряддя за різних кутів атаки дисків  $\alpha$  для глибини ходу розпушувача 15 см.

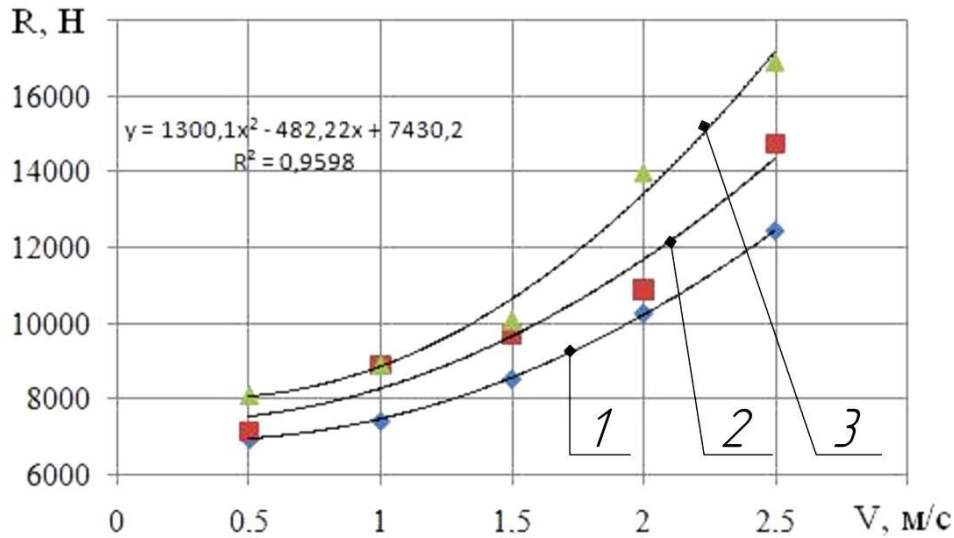


Рис.3.13 - Залежність тягового опору від швидкості руху за різних кутів установлення сферичних дисків ( $a = 0,15$  м): 1 -  $\alpha = 20$  град.; 2 -  $\alpha = 25$  град.; 3 -  $\alpha = 30$  град.

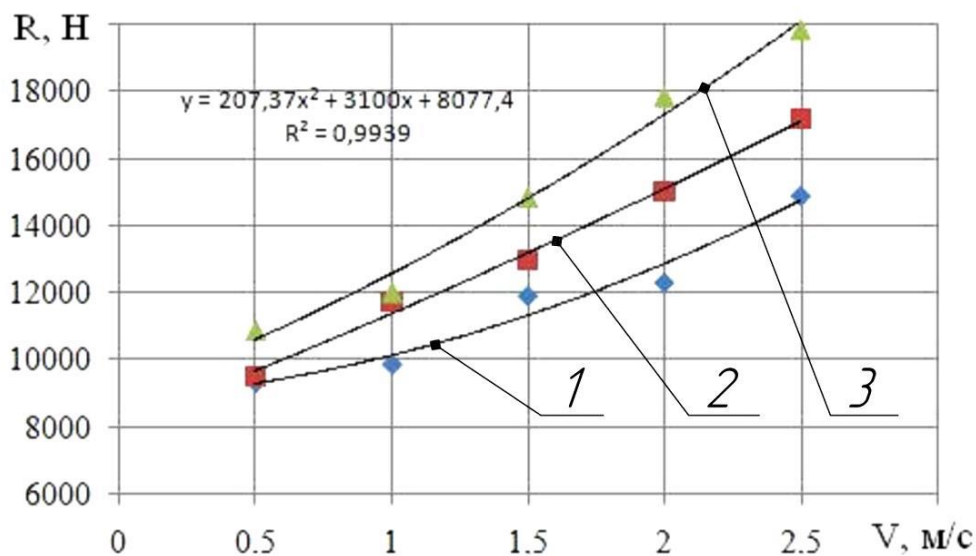


Рис.3.14 - Залежність тягового опору від швидкості за різних кутів установлення сферичних дисків ( $a = 0,25$  м): 1 -  $\alpha = 20$  град.; 2 -  $\alpha = 25$  град.; 3 -  $\alpha = 30$  град.

З рисунків 3.13 і 3.14 випливає, що зі зростанням швидкості та кута атаки сферичних дисків тяговий опір знаряддя зростає.

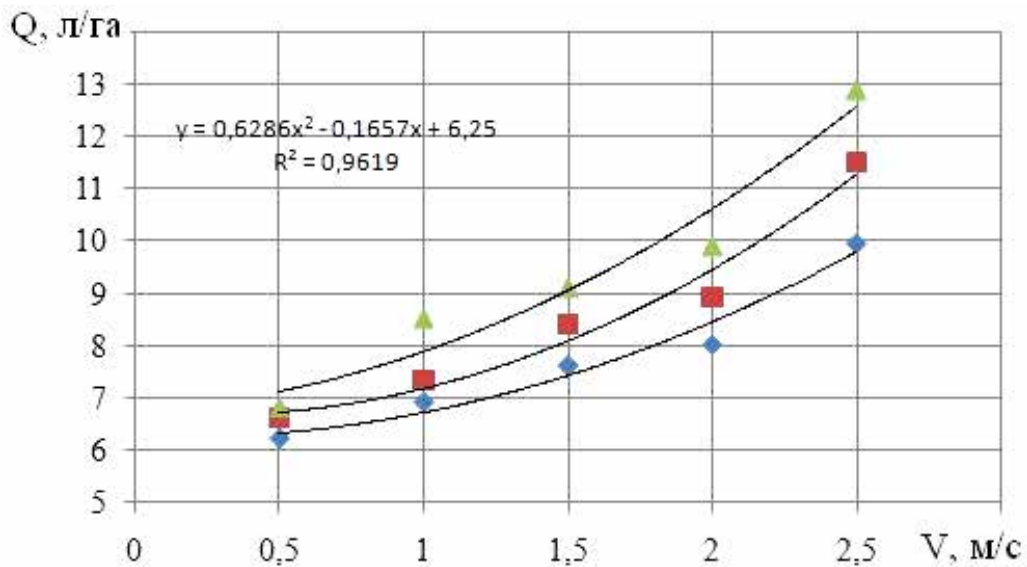
Такий самий характер зміни залежностей отримано і для витрати палива трактора. У таблиці 3.3 і на графіку (рис. 3.15) подано залежності витрати палива за різних конструктивно-технологічних параметрів знаряддя.

Таблиця 3.3

Витрата палива залежно від швидкості руху та кута атаки сферичних дисків

Кут становлення сферичних дисків	Швидкість руху V, м/с				
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
20°	6,2	6,9	7,6	8	9,95
25	6,6	7,3	8,4	8,9	11,5
30	6,8	8,5	9,1	9,9	12,9

Зі збільшенням швидкості руху знаряддя зростає тяговий опір знаряддя і, як наслідок, погектарна витрата палива. З малюнка 8 видно, що витрати палива в середньому збільшуються на 70...80% при збільшенні швидкості руху від 0,5 м/с до 2.5 м/с.



1 - α = 20 град.; 2 - α = 25 град.; 3 - α = 30 град.

Рисунок 3.15 - Залежність витрати палива від швидкості за різних кутів атаки сферичних дисків ( $a = 0,25$  м)

Під час агротехнічної оцінки розробленого культиватора проводили оцінку якості подрібнення ґрунту залежно від конструктивно-технологічних параметрів робочих органів культиватора та швидкості руху. Показники оцінки якості подрібнення подано в таблиці 4.16. Згідно з отриманими результатами видно, що зі зростанням швидкості руху знаряддя якість подрібнення покращується (рисунок 3.17), за винятком швидкості 1,5 м/с.

Таблиця 3.4

## Результати оцінки якості кришіння ґрунту

Швидкість руху, м/с	Глибина рихлення $a$ , см	К-ть (%) ґрунтових фракцій розміром, мм				Ступінь кришіння $C_k$ %
		$> 100$	100-50	50-10	$< 10$	
1,5	15	4,5	9,2	18,5	67,8	67,8
	20	4,0	9,9	12,0	74,1	74,1
	25	8,8	15,2	15,6	61,4	61,4
2,0	15	0	8,5	15,9	75,6	75,6
	20	0	8,2	13,2	78,6	78,6
	25	0	8,7	9,5	81,8	81,8
2,5	15	0	5,1	10,1	84,8	84,8
	20	0	5,6	7,9	86,5	86,5
	25	0	4,5	4,3	91,2	91,2

За швидкості руху 2 - 2,5 м/с ґрунтові грудки розміром понад 100 мм відсутні, при цьому якість кришіння підвищується на 20-25%. А за швидкості руху 2,5 м/с і глибини ходу розпушувача 25 см якість кришіння вища за 90 % і оцінюється за шкалою якості кришіння як "відмінно". У діапазоні швидкостей 1,5-2 м/с якість кришіння "задовільна". За швидкості 2,0 м/с і за глибини ходу 25 см якість кришіння "хороша". Найбільший ступінь кришіння ґрунту спостерігається за швидкості руху знаряддя 2-2.5 м/с.

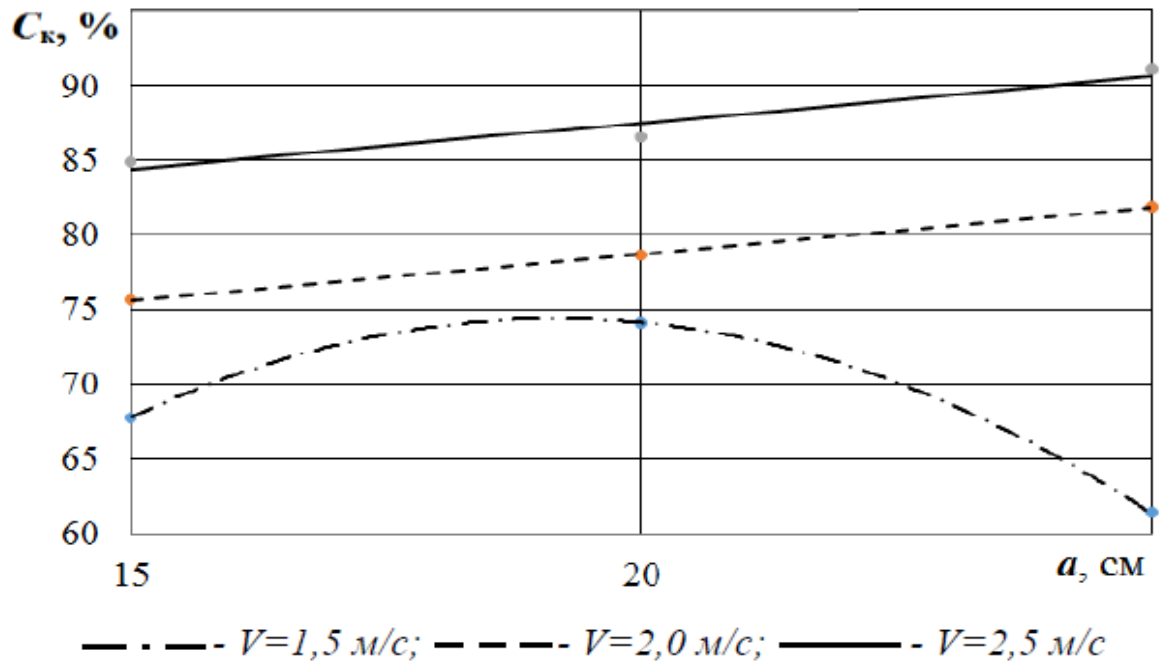


Рис.3.16 - Залежність ступеня подрібнення  $C_k$  від глибини ходу розпушувача  $a$  при зміні швидкості руху  $V$

### 3.3 Результати параметрів опорно-прикочувального котка секції культиватора

Під час аналізу конструкцій різних прикочувальних робочих органів було виокремлено три типи конструкцій: із гладкою робочою поверхнею, планчастий із загостреними планками та планчастий прямокутної форми (рис. 3.17).

У процесі руху прикочувального робочого органу відбувається інтенсивне подрібнення й ущільнення поверхні ґрунту. При цьому ґрунт чинить тиск на планки прикочувального пристрою.



Рисунок 3.17 – Варианти прикатываючих робочих органів: а – с гладкой рабочей поверхностью; б – планчатый с заострёнными планками; в – планчатый прямоугольной формы.

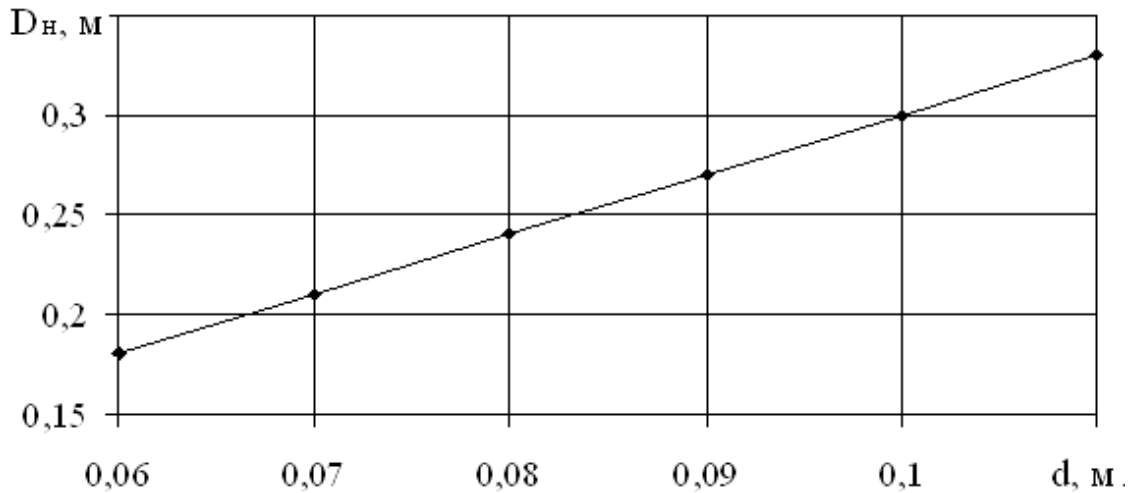
Від кількості планок на котку залежить тяговий опір і якість обробітку ґрунту. Надмірно велика кількість планок створює тиск з боку планки і формує зони підвищеної щільності. Це, своєю чергою, призводить до забивання грудок між планками.

У таблиці 3.5 представлено результати тягового опору котка залежно від кількості планок на швидкості 1,5 м/с. Під час розрахунків задавали такі параметри ґрунтового середовища: в'язкість  $\zeta=105$  Па\*с; щільність  $\rho=850$  кг/м<sup>3</sup>. Густина приймали виходячи з густини ґрунту після проходу розпушувача і дискових робочих органів.

Таблиця 3.5

Залежність тягового опору котка від кількості планок і швидкості

Кількість планок на, котку, <i>n</i> . шт	5	10	15	20	25
Робоча швидкість, $V = 1,5$ м/с					
$R, H$	311,5	254,6	225,7	280	356,4
Робоча швидкість, $V = 2,0$ м/с					
$R, H$	394,1	350,2	344,2	369,7	400,8
Робоча швидкість, $V = 3,5$ м/с					
$R, H$	406,8	415,9	448	554,2	651,2



На рис. 3.18 показано графік залежності тягового опору від кількості планок за швидкості 1,5 м/с.

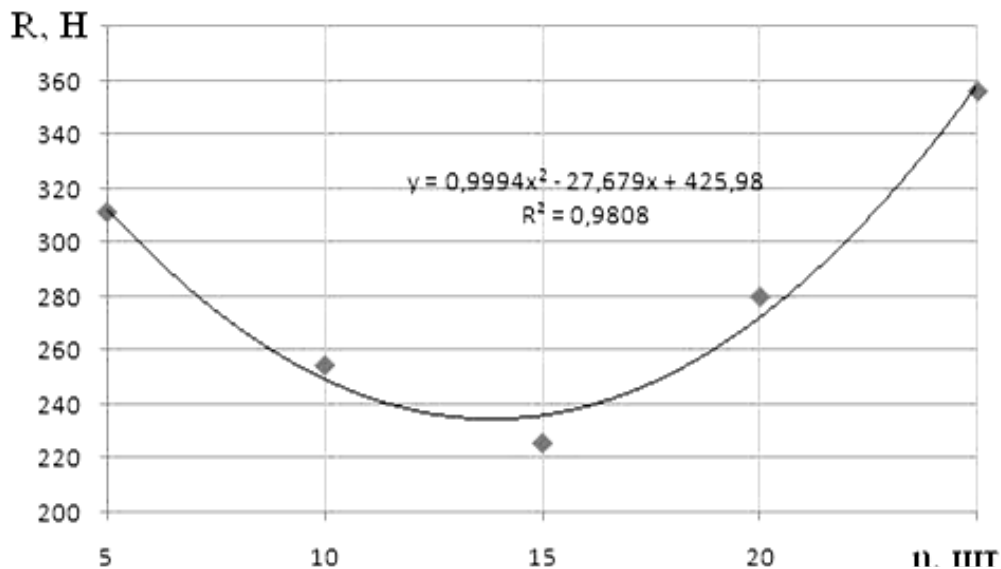


Рис. 3.18 - Залежність тягового опору від кількості планок

З рисунку видно, що мінімальний тяговий опір котка спостерігається за кількості планок  $n=15$ . Мінімальний тяговий опір котка спостерігається за кількості планок, що дорівнює 15. Найбільш оптимальною кількістю планок котка є 15.

Зі збільшенням діаметра зростає маса котка та його тяговий опір, а також знижується гребнистість поверхні ґрунту. З умови защемлення ґрунтової грудки було визначено зовнішній діаметр котка  $D_n$ . На малюнку 3.19 представлено залежність діаметра котка від діаметра грудки.

Для поверхневого і передпосівного обробітку ґрунту раціональними є діаметри котків, що прикочують,  $D_n=220\text{...}500$  мм. Після проходження дискових

робочих органів необхідне руйнування грудок, що залишилися, умові защемлення задовольняють котки діаметром до 0,3 м. З урахуванням рекомендацій, виходячи з отриманих результатів, було обрано діаметр котка 0,4 м.

Кількість планок становила  $n=15$ , діаметр прутків для планок було обрано  $d_p=40$  мм.

Одним з основних параметром роботи прикочувальних робочих органів є подрібнення. Розміри фракцій ґрунтових грудок, менші за 10 мм, з агрономічної точки зору становлять найбільший інтерес.

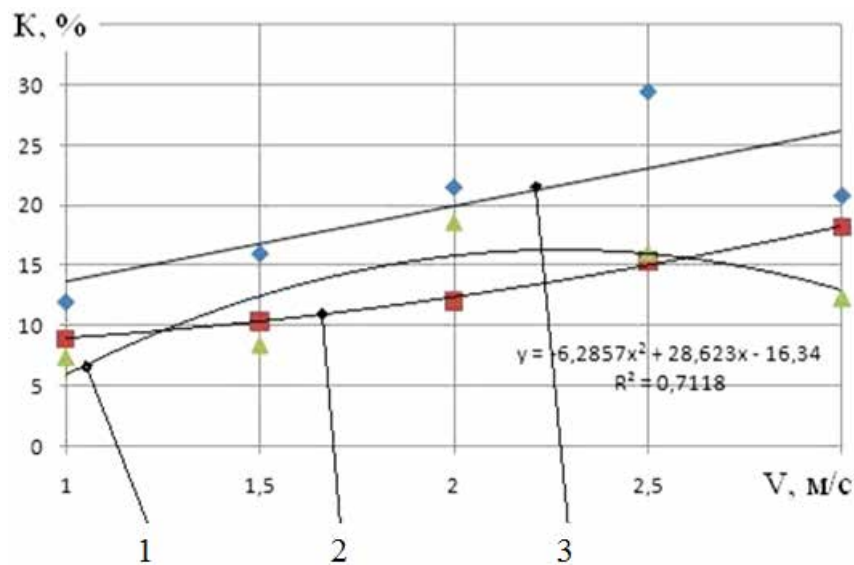


Рисунок 3.20 - Залежність подрібнення ґрунту від швидкості руху: 1 - коток із гладкою поверхнею; 2 - коток із прямими планками; 3 - коток із гострими планками

Результати експериментів із визначення ступеня кришіння залежно від швидкості руху показано в таблиці 4.12.

Таблиця 3.6

Залежність кришіння ґрунтових грудок від швидкості руху

Типи котків	К, %				
	V=1 м/с	V=1,5 м/с	V=2 м/с	V=2,5 м/с	V=3 м/с
Коток 1	12	16	21,5	29,4	20,8
Коток 2	9	10,4	12,1	15,4	18,2
Коток 3	7,5	8,5	18,6	16,1	12,4

Найбільший показник ступеня кришіння показала конструкція котка №3 - коток із гострими планками. Також додатковою позитивною властивістю даної конструкції є забезпечення деякого заглиблення в центральній частині оброблюваної смуги, що сприяє накопиченню вологи.

У результаті експериментів було встановлено, що для зниження тягового опору та поліпшення якості обробітку ґрунту найбільш раціональним є коток із гострими планками (№3), діаметром 400 мм, кількістю планок 15 шт.

### **3.4 Результати виробничих випробувань розробленого культиватора**

Виробничі випробування розробленого культиватора для смугового обробітку ґрунту та об'ємного внутрішньогрунтового внесення добрив СГПШ "РАТЬ" Волинська область у 2024 році.

Виробничі дослідження проводилися за чотирма варіантами:

1. традиційна технологія (контроль 1);
2. Смуговий обробіток ґрунту розробленим культиватором без внесення добрив (контроль 2);
3. Смуговий обробіток ґрунту розробленим культиватором із внесенням води замість добрив (контроль 3);
4. Смуговий обробіток ґрунту розробленим культиватором з одночасним об'ємним внутрішньогрунтовым внесенням РКД.

Традиційна технологія включала такі операції: відвальна оранка на глибину 27 см, боронування зубовими боронами, передпосівна культивація на глибину 8 см.

Для посіву використовувалося насіння кукурудзи гібрид "ВН 63".

Обробіток ґрунту з утворенням розпушених смуг із міжряддям 75 см проводився на глибину 25 см. При цьому формувалися смуги шириною 25 см (рисунок 4.46).

Режим роботи пристосування для внесення РКД визначався виходячи з таких умов:

- внесення добрив відбувалося пошарово у 2 рівні, за швидкості трактора в межах 4,0 - 4,5 км/год;

- у верхній шар (глибина 10 - 15 см) вносили РКД (NPK) зі співвідношенням 10% азоту, 10% фосфору і 10% калію, витрата робочої суміші добрив - 200 л/га;

- у нижній шар (глибина 20 - 25 см) вносили РКД (NPK) зі співвідношенням 21% азоту, 4% фосфору і 4% калію, витрата робочої суміші добрив - 200 л/га.

Частка добрив в обох випадках становила 10 л, а частка води - 190 л на обсяг 200 л.

- ширина захвату експериментальної установки 2,8 м,

- за швидкості трактора 4,5 км/год витрата робочої суміші добрив становила 252 л/год на 1 шар, на 2 шари відповідно 504 л/год або  $Q = 0,14$  кг/с.

Один колектор пристосування для внесення РКД розрахований на 4 впорскувальні насадки, тому витрата робочої суміші для однієї насадки має бути в межах 63 л/год, або  $Q_n = 0,0175$  кг/с. Площа перерізу насадки  $f = 3,14 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>.

Розрахунковий тиск у системі, за відповідної витрати, становить  $P = 59581$  Па або напір  $H = 6$  м, що відповідає 0,6 атмосфер.

Для проведення дослідів для всіх трьох варіантів було виділено 4 ділянки, площею кожного 1 га. Загальна площа полів під посів кукурудзи становила 120 га.

Посів насіння кукурудзи на всіх ділянках проводили сівалкою точного висіву СТВ - 8ДУ з міжряддям 75 см (рис. 3.21).

Ділянки посіву під традиційну технологію та посів із застосуванням розробленого культиватора, з одночасним внесенням РКД подано на рис. 3.21.

За традиційної технології (контроль 1) листя має середній розмір відносно інших варіантів посіву, коренева система розвинена досить слабо і, як правило, спрямована донизу, довжина коренів становить близько 2 см.

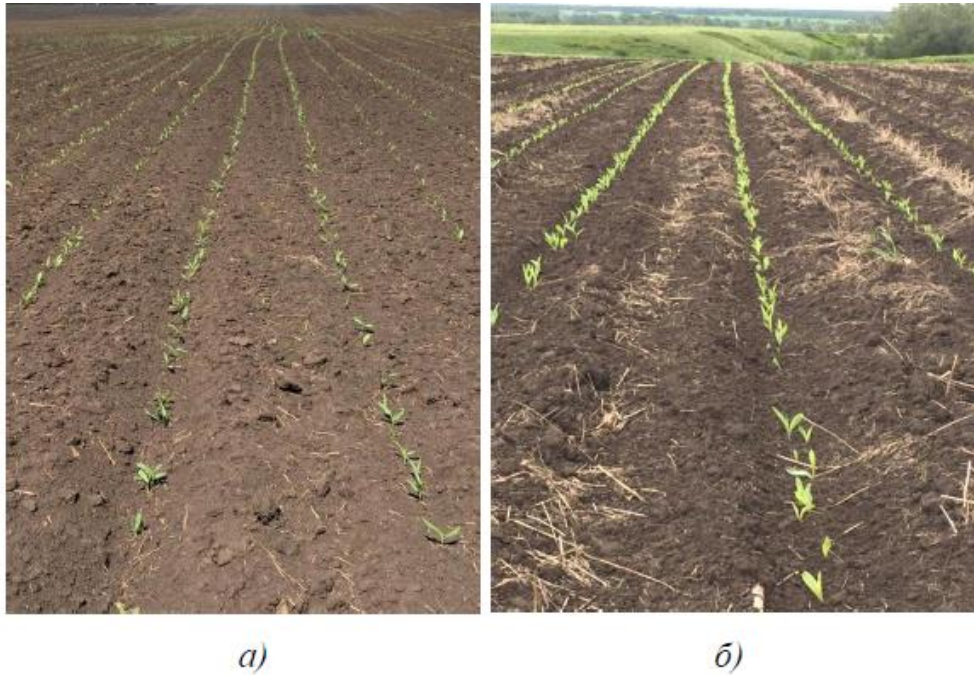


Рис. 3.21 – Сходи на 11 день після сівби : а) – сівба за традиційної технології; б) – сівба з внесенням РКД

За смугового обробітку ґрунту без додавання добрив і води (контроль 2), листя загалом дещо довше (приблизно 3,5-4 см) порівняно з традиційною технологією. Коренева система рослин у даному випадку більш розвинена і густа, довжина коренів становить близько 3 - 3,5 см.

## 4. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА

### 4.1. Обґрунтування вартості удосконаленого культиватора

Маса конструкції визначається за формулою:

$$G=(G_K+G_T)\cdot K, \quad (4.1)$$

де  $G_K$  – маса сконструйованих деталей, вузлів і агрегатів, кг;

$G_T$  - маса готових деталей, вузлів і агрегатів, кг;

$K$  – коефіцієнт, що враховує масу матеріалів що витрачаються на виготовлення конструкції

$$(K=1,05\dots 1,15).$$

Таблиця 4.1 Розрахунок маси сконструйованих деталей

№ пп	Назва деталі.	Об'єм деталі, см <sup>3</sup> .	Маса деталі, кг.	К-ть деталей.	Загальна маса деталей, кг
1	Рама	163,90	980,5	1	980,5
2	Секція	63,78	150	1	150
3	Ніж	0,53	0,2	32	16
4	Корпус підшипника	3,83	3	2	6
5	Стопорне кільце	0,13	0,1	5	0,5
6	Зірочка	1,53	1,2	1	1,2
7	Зірочка	2,87	2,5	1	2,5
8	Вал	3,72	3	1	3
9	Вал	1,91	1,5	1	1,5
10	Вісь	1,28	1	1	1
11	Опора	1,53	1,2	8	9,6
12	Зірочка	0,96	0,5	8	4
13	Кришка	0,26	0,2	2	0,4
114	Шпонка	0,13	0,1	8	0,8
	Всього			72	1168

Маса деталей та їх ціни на них нпведені в таблиці 4.2.

$$G=(1168+136,26)\cdot 1,15=1499,89 \text{ кг} \quad (4.2)$$

Таблиця 4.2

## Маса покупних деталей і ціни

пп	Назва деталі.	К-ть деталей.	Маса		Ціна, грн.	
			Одного	Всього	Одного.	Всього
6	Редукторы S0101956	8	5	40	500	4000
7	Редукторы R2400218	4	3	12	300	1200
Всього;			136,26		7345	

Вартість нової конструкції визначається за формулою:

$$C_{\sigma 1} = \frac{C_{\sigma 0} \cdot G_1}{G_0}$$

де  $C_{\sigma 0}$  – балансова вартість старої конструкції, грн.;

$G_1$  – маса нової конструкції, кг;

$G_0$  – маса старої конструкції, кг.

$$C_{\sigma 1} = \frac{206100 \cdot 1500}{1800} = 171,75 \text{ тис.грн.}$$

Вихідні дані до розрахунку ТЕ показників ефективності конструкції

Назва	Варіанти	
	Базовий	Проектований
Маса конструкції, кг.	1800	1500
Балансована вартість, грн	206100	171750
Споживана потужність, кВт	6	6
К-ть обслуговуючого персоналу, люд.	1	1
Розряд роботи	V	V
Тарифна ставка, грн/год – люд.	100	100
Норма амортизації, %	12,5	12,5
Норма затрат на Р і ТО, %	21,5	21,5
Річне навантаження конструкції, год	500	500
Валова продукція, грн/на комбайн	1660825	2063433

Годинна продуктивність визначається за формулою:

$$W_{\text{ч}} = 0,36 \cdot B_{\text{P}} \cdot V_{\text{P}} \cdot \tau,$$

де  $B_{\text{P}}$  – робоча ширина захвата культиватора, м;

$V_{\text{P}}$  – робоча швидкість руху культиватора а, м/с;

$\tau$  – коефіцієнт використання робочого часу зміни [9].

$$W_{\text{ч}0} = 0,36 \cdot 6 \cdot 2,0 \cdot 0,7 = 3,02 \text{ га/ч.}$$

$$W_{ч1}=0,36 \cdot 6 \cdot 2,7 \cdot 0,7=4,08 \text{ га/ч.}$$

Енергоемкість процесу: 
$$\mathcal{E}_e = \frac{N_e}{W_{ч}}$$

де  $N_e$  – споживана потужність, кВт;

$W_{ч}$ - годинна продуктивність, га/ч.

$$\mathcal{E}_{e0}=6/3,02=1,99 \text{ кВт/га}$$

$$\mathcal{E}_{e1}=6/4,08=1,47 \text{ кВт/га.}$$

Металоємкість процесу:

$$M_c = \frac{G}{W_{ч}} T_{год} \cdot T_{сл}$$

де  $G$  – маса культиватора, кг

$W_{ч}$  – часова продуктивність, га/ч;

$T_{год}$  – річне завантаження культиватора, час;

$T_{сл}$  - строк служби, років.

$$M_{c0}=1800/(3,02 \cdot 500 \cdot 8)=0,15 \text{ кг/га.}$$

$$M_{c1}=1500/(4,08 \cdot 500 \cdot 8)=0,09 \text{ кг/га.}$$

Фондомісткість процесу:

$$F_e = \frac{C_6}{W_{ч} T_{сл} T_{год}}$$

де  $C_6$  – балансована вартість культиватора а, грн;

$W_{ч}$  - годинна продуктивність, га/год;

$T_{сл}$ - строк служби культиватора, років.

$$F_{e0}=206100/(3,02 \cdot 500 \cdot 8)=17,06 \text{ грн/од.}$$

$$F_{e1}=171750/(4,08 \cdot 500 \cdot 8)=10,52 \text{ грн/од.}$$

Собівартість робіт визначається за формулою:

$$S=C_{зп}+C_3+C_{РТО}+A,$$

де  $C_{зп}$  – затрати на оплату праці, грн/га;

$C_{пмм}$  - затрати на ПММ, грн/га;

$C_{РТО}$  - затрати на ремонт і ТО , грн/га;

$A$  - Амортизація, грн/га.

Затрати на оплату праці:

$$C_{зп} = Z \cdot T_e,$$

де  $Z$  – тарифная ставка працівника, грн/год- люд;

$T_e$  – трудомісткість процесу, люд-год/од.

Трудомісткість процесу:

$$T_e = \frac{n_p}{W_{г}}$$

де  $n_p$  – кількість обслуговуючого персоналу, люд;

$W_{г}$  – годинна продуктивність

$$T_{e0} = 1/3,02 = 0,33 \text{ люд-год/га};$$

$$T_{e1} = 1/4,08 = 0,25 \text{ люд-год/га}.$$

$$C_{зп0} = 100 \cdot 0,33 = 33 \text{ грн/га};$$

$$C_{зп1} = 100 \cdot 0,25 = 25 \text{ грн/га}.$$

Затрату на ПММ:

$$C_{э} = Ц_{кшп} \cdot D_{ет},$$

де  $Ц_{кшп}$  – комплексна ціна палива, грн/кг;

$D_{ет}$  – норма розходу палива, кг/га.

$$C_{э0} = 30 \cdot 13,2 = 396 \text{ грн/га};$$

$$C_{э1} = 30 \cdot 6,8 = 204 \text{ грн/га}.$$

Затрати на ремонт і ТО:

$$C_{РТО} = \frac{C_{б} \cdot H_{РТО}}{100 \cdot W_{г}} T_{зод}$$

де  $C_{б}$  – балансована вартість культиватора, грн;

$H_{РТО}$  - норма затрат на ремонт і ТО, %;

$W_{г}$  – годинна продуктивність, га/год;

$T_{річ}$  – річне невантаження, год.

$$C_{РТО0} = 206100 \cdot 21,5/100 \cdot 3,02 \cdot 500 = 29,34 \text{ грн/га};$$

$$C_{РТО1} = 171750 \cdot 21,5/100 \cdot 4,08 \cdot 500 = 18,1 \text{ грн/га}.$$

Амортизація:

$$A = \frac{C_{б} \cdot a}{100 \cdot W_{г}} T_{зод}$$

де  $C_{б}$  – балансована вартість культиватора, грн;

$a$  - норма амортизації, %;

$W_{\Gamma}$  - годинна продуктивність, га/год;

$T_{\text{річ}}$  - річне навантаження, год.

$$A_0 = 206100 \cdot 12,5 / (100 \cdot 3,02 \cdot 500) = 17,06 \text{ грн/га.}$$

$$A_1 = 171750 \cdot 12,5 / (100 \cdot 4,08 \cdot 500) = 10,52 \text{ грн /га.}$$

$$S_0 = 33 + 396 + 29,34 + 17,06 = 475,4 \text{ грн /га.}$$

$$S_1 = 25 + 204 + 18,1 + 10,52 = 257,62 \text{ грн /га.}$$

Приведені витрати на роботу конструкції:

$$C_{\text{пр}} = S + E_{\text{Н}} F_{\text{е}},$$

де  $S$  - собівартість робіт, грн/га;

$E_{\text{Н}}$  - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

$F_{\text{е}}$  - фондоемність процесу, грн/га.

$$C_{\text{пр}0} = 475,4 + 0,15 \cdot 17,06 = 477,96 \text{ грн/од.}$$

$$C_{\text{пр}1} = 257,62 + 0,15 \cdot 10,52 = 259,19 \text{ грн/од.}$$

Річна економія:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = (S_0 - S_1) \cdot W_{\Gamma} \cdot T_{\text{год}},$$

$$E_{\text{річ}} = (475,4 - 257,62) \cdot 4,08 \cdot 500 = 444271,2 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект:

$$E_{\text{год}} = \mathcal{E}_{\text{год}} - E_{\text{Н}} \cdot F_{\text{е}1},$$

де  $E_{\text{річ}}$  - річна економія, грн;

$E_{\text{Н}}$  - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

$F_{\text{е}1}$  - фондоемність проектного процесу, грн/га.

$$E_{\text{річ}} = 444271,2 - 0,15 \cdot 10,52 = 444270,1 \text{ грн.}$$

Термін окупності капітальних вкладень:

$$T_{\text{ок}} = \frac{C_{\delta 1}}{\mathcal{E}_{\text{год}}},$$

де  $C_{\delta 1}$  - балансова вартість спроектованої конструкції, руб.

$$T_{\text{ок}} = 171750 / 444271,2 = 0,4 \text{ р.}$$

Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень:

$$E_{эф} = \frac{1}{T_{ок}}$$

де  $T_{ок}$  – термін окупності капітальних вкладень, р.

$$E_{эф} = 1 / 0,4 = 2,5$$

#### 4.2. Економічне обґрунтування застосування технології смугового обробітку ґрунту

Розрахунок показників проводиться в такій послідовності:

Рівень механізації виробництва:

$$U_M = (T_{мех} / T_{заг}) \times 100,$$

де  $T_{мех}$  – витрати праці на роботах пов'язаних із застосуванням машин і устаткування, люд.год;

$T_{заг}$  – загальні сумарні затрати праці, люд.год.

$$U_M = (2500 / 4560) \times 100 = 55 \%$$

Фондоємкість виробництва:

$$F_e = \sum A / Вп,$$

де  $\sum A$  – сума амортизації, грн.

$Вп$  – валовая продукция,

$$F_e = 254470 / 300 = 848 \text{ грн. / т.}$$

Енергоємкість виробництва:

$$E_e = (\sum E + N \times T_{маш}) / Вп;$$

де  $\sum E$  – сумарні витрати електроенергії, кВт.год;

$N$  – потужність трактора, кВт;

$T_{маш}$  – час роботи машини і обладнання, год;

$$E_e = (15782 + 66 \times 534) / 300 = 1700 \text{ кВт год / т.}$$

Трудоємкість виробництва:

$$T_e = T_{заг} / Вп,$$

де  $T_{заг}$  – сумарні затрати праці на всіх роботах, люд.год;

$$T_e = 4560 / 300 = 15,2 \text{ чел. люд / т.}$$

Рівень експлуатаційних затрат:

$$S = C/V_{п},$$

де С – сума всіх затрат, грн; (4.23)

$$S = 2826000/300 = 9420 \text{ грн. /т.}$$

Рівень приведених затрат:

$$Р_{пз} = S + Fe,$$

де Fe – фондоемкість ,грн/т

$$Р_{пз} = 9420 + 848 = 10268 \text{ грн/т.}$$

Річний економічний ефект:

$$Е_{річ} = (Р_{пз 0} - Р_{пз 1}) V_{п}$$

$$Е_{річ} = (12637 - 10268) 300 = 710700 \text{ грн.}$$

Термін окупності додаткових капітальних вкладень:

$$Ток = K / Е_{річ};$$

де К – сума додаткових капітальних вкладень;

$$K = Fe V_{п} = 848 \times 300 = 254400 \text{ грн.}$$

$$Ток = 254400 / 486600 = 0,52 \text{ рок.}$$

Коефіцієнт ефективності додаткових капітальних вкладень.

$$Е_{еф} = Э_{год} / K = 486600 / 254400 = 1,9$$

Таблиця 4.4 - Показники порівняльної економічної ефективності механізації виробництва

Назва показника	Варіанти		Проекту у % до базового
	Базовий	Проектівний	
Рівень механізації, %	44,9	55	122
Фондоемність виробництва, грн./т	665,8	848	127
Енергоемність виробництва, кВт.год/т	1688	1700	101
Трудоємність виробництва люд.год/т	18,9	15,2	80
Рівень експлуатаційних затрат, грн./т	11042	9420	85
Рівень приведених затрат, грн./ т	12637	10268	81
Річна економія, грн.	×	486600	×
Річний економічний ефект, грн.	×	710700	×
Термін окупності додаткових капітальних вкладень, років	×	0,52	×

## ВИСНОВКИ

1. На основі аналітичних розрахунків обґрунтовано основні конструктивно-технологічні параметри секції культиватора для смугового обробітку ґрунту:

- ширина ножів верхнього ярусу  $b = 0,18$  м;
- відстань між щілювачем і підрізними дисками органами  $L_p = 0,3$  м;
- глибина ходу розрізних дисків  $ln = 0,1$  м;
- відстань між розрізними дисками  $vn = 0,25$  м;
- тяговий опір турбодиска 157...193 Н;
- тяговий опір щілінкоутворювача становив 635...775 Н;
- тяговий опір сферичного диска становив 225...275 Н;
- тяговий опір котка становив 112...132 Н;
- загальний тяговий опір секції культиватора становив 1668...2036 Н. 3.

2. Розробленою секцією культиватора встановлено, що для зниження тягового опору та поліпшення якості обробітку ґрунту найраціональнішим є коток з гострими планками, діаметром 400 мм, кількістю планок 15 шт.

3. Установлено, що для зниження тягового опору, витрати палива, та підвищення ступеня подрібнення обробленого ґрунту швидкість руху агрегату з розробленим культиватором має бути вищою за 1,5 км/год.

4. Прибавка врожаю за смугового обробітку розробленим культиватором з об'ємним внутрішньогрунтовим внесенням РКД порівняно зі смуговим обробітком без води і РКД становила 81 ц/га, а відносно контролю із внесенням води 70,9 ц/га.

5. Встановлено, що впровадження технології смугового обробітку ґрунту сприяє отриманню економічного ефекту від скорочення кількості операцій на обробіток ґрунту 4050,7 грн/га, а загальна економія від використання смугової технології та надбавки врожаю склала 710700 грн.

Термін окупності абсолютних капітальних вкладень відносно традиційної технології склав 1 рік.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сільськогосподарські машини: підручник/ Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, В.В. Іщенко та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: «Агроосвіта», 2015. – 679 с
2. Надикто В.Т. Колійна та мостова системи землеробства: монографія / Надикто В.Т., Улексін В.О. – Мелітополь : ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2008. – 270 с.
3. Шевченко І.А. Обґрунтування геометричних параметрів дискових робочих органів / І.А. Шевченко // Праці ТДАТА. – Мелітополь, 2001. – Вип. 2, т. 16. – С. 13–20.
4. Лінник М.К., Левчук М.С. Перспективи розвитку ресурсозберігаючої техніки для обробітку ґрунту і сівби // Механізація та електрифікація с. г.: Зб. наук. пр. – Вип. 83. – Глеваха, 2000. – С. 95-97.
5. Кобець А.С. Ґрунтообробні машини: теорія, конструкція, розрахунок: монографія / А.С. Кобець, Б.А. Волик, А.М. Пугач. – Дніпропетровськ: Вид-во «Свідлер А.Л.», 2011. – 140 с.
6. Кобець А.С. Аналітичні дослідження агрегату на основі робочих органів дискового типу / А.С. Кобець, Б.А. Волик, А.П. Рибкін // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків, 2006. – Т.2, вип. 44. – С. 231–236.
7. Томашівський З.М. Системи обробітку ґрунту в Україні та світі [Текст] / З.М. Томашівський, В.Я. Іванюк // Актуальні проблеми ґрунтознавства, землеробства та агрохімії: матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, присвяченої 95-річчю утворення кафедри ґрунтознавства, землеробства та агрохімії ЛНАУ та Міжнародному Дню агрохіміка. – Львів, 2014.– С. 156–160.
8. Гречкосій В.Д. Ефективність технології strip-till в системі обробітку ґрунту [Текст] / В.Д. Гречкосій, Р.В. Шатров // Науковий вісник

НУБіП України: Серія “Техніка та енергетика АПК”. – К., 2015. – Вип. 212, ч.1. – С. 309–314.

9. Голуб Г.А. Ефективність технології strip-till в системі обробітку ґрунту [Текст] / Г.А. Голуб, А.В. Дворник // Науковий вісник НУБіП України: Серія “Техніка та енергетика АПК”. – К., 2014. – Вип. 196. – С. 48–55.

10. Голуб Г. А., Дворник А. В. Координатно-просторова оцінка інтенсивності передпосівного обробітку ґрунту. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2014. Вип. 194. Ч. 1. С. 188–194.

11. Голуб Г. А., Дворник А. В. Тенденції розвитку агрегатів для смугового передпосівного обробітку ґрунту. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2014. Вип. 196. Ч. 1. С. 48–55

12. Голуб Г. А., Дворник А. В. Обґрунтування показників якості та агрономічних вимог до смугового обробітку ґрунту. Наукові горизонти. 2018. № 12 (73). С. 37–44.

13. Голуб Г. А., Дворник А. В. Вплив конструкційно-технологічних параметрів на якість смугового обробітку ґрунту. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2019. Вип. 24 (38). С. 28–37.

14. Голуб Г. А., Дворник А. В. Вплив параметрів секції агрегату для смугового обробітку на поперечну нерівність ґрунту. Наукові горизонти. 2019. № 5 (78). С. 40–50.

15. Голуб Г. А., Дворник А. В. Дослідження поперечної нерівності смугового обробітку ґрунту. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. 2019. Vol. 10. № 2. P. 23–31.

16. Голуб Г. А., Дворник А. В. Вплив конструкційно-технологічних параметрів агрегата для смугового обробітку ґрунту на грудкуватість. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і

технологій для сільськогосподарства України. 2020. Вип. 27 (41). С. 89–98.

17. Сисолін П.В, Сало В.М, Кропівний В.М., Сільськогосподарські машини:теоретичні основи, конструкція, проектування. – К:Урожай, 2001.

18. Шустік Л., Нілова Н. – Смуговий обробіток ґрунту – важливий агротехнічний прийом вологозбереження. – Технко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва України: зб.наук. пр. УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого, Дослідницьке, 2018.- Вип 23(37). С 158-168.

19. Кравчук В.І, Грицишин М.І, Коваль С.М., Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки. – К.:Аграрна наука., 2004.

20. Follet R.F. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics / R.F. Follet, D.S. Schimel // Soil Science Society America Journal. – 1989. – №4. – Vol. 53. – P. 1091–1096.

21. FAO (2011c), CA Adoption Worldwide, FAO-CA (website available online at:(<http://www.fao.org/ag/ca/6c.html>)).

22. Czyz E.A., Dexter A.R., Niedzwiecki J. Wplyw zawartosci ilu koloidalnego i substancji organicznej oraz gestosci objetosciowej na przewodnosc hydrauliczna nasycona i nienasycona warstwy ornej gleb // IBMER. – Warszawa, 2002. – S. 101-109.

23. Nawozenie mineralne rowlin uprawnych / Z. Ciecko, W. Cwojdzinski, R. Czuba, E. Gorlach, W. Grzebisz, A. Grzeskowiak, E. Kaminski / Pod redakcja R. Czuby. – Szczecin: Police, 1996. – 413 s.

24. Kubiak J. Aplikacja nawozow o spowolnionym dzialaniu przy mikoryzacji w szkolkarstwie ozdobnym // Polska akademia nauk. – Warszawa, 2006. – S. 77-87.

25. Пат. US 39965464A. Planting method and apparatus / Morrison Jr., John E. –заявл. 09/28/1964; опубл. 01/09/1968.

26. Wendel C.H. 150 Years of JI Case / C.H. Wendel // Krause Publications. -2005. – 336 p.
27. Wade T. Conservation-Practice Adoption Rates Vary Widely by Crop and Region / Tara Wade, Roger Claassen, Steven Wallander // EIB-147, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. – 2015. – 40 p.
28. Жолобецький Г. Стрип–Тілл: шляхом проб і помилок [Текст] / Г. Жолобецький // Пропозиція. – 2013. – № 2. – С. 26–30.
29. Федорчук Ю. Стрип-тіл від «Новатора» / Ю. Федорчук // Одеські вісті. – 2015. – Вип. 12.09. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу – <http://izvestiya.odessa.ua/uk/2015/09/12/stryp-til-vidnovatora>).
30. Руслан ШАТРОВ Strip-till — нові можливості обробітку ґрунту і сівби сільськогосподарських культур / Шатров Р. // Агробізнес сьогодні – Київ: ТОВ «Прес-медіа», 2015. – Вип. №9(304). – С.60-61.
31. Кравчук В. Технологія Strip-Till на вирощуванні сільськогосподарських культур / В. Кравчук, О. Броварець, М. Новохацький, Л. Шустік // Техніка і технології АПК. – 2014. – №4. – С. 7–12.
32. Гречкосій В.Д. Проектування технологічних процесів у рослинництві : навчальний посібник / [Гречкосій В.Д., Войтюк В.Д., Шатров Р.В. та ін.].– Ніжин: Виконавець: ПП Лисенко М.М., 2014. – 392с.
33. Відтворення родючості ґрунтів у ґрунтозахисному землеробстві. Наукова монографія /Національний аграрний університет. Під редакцією Н.К. Шичули. Київ, ПФ «Оранта», 1998 – 680с.
34. Дубровін В.О., Гуков Я.С., Єсепчук М.І. Напрямки розвитку механізації рослинництва // Вісник аграрної науки. – 2010. - №1. – С.58-62.
35. Машини для рільництва / П.В. Сисолін, Т.І. Рибак, В.М. Сало; за ред. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2002. – С. 364.
36. Волик Б.А. Методика визначення конструктивних параметрів Уподібного розпушувача для основного обробітку ґрунту / Б.А.Волик // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин

/ Загальнодержавний міжвідомчий науково-техн. збірник. Випуск 28. – Кіровоград: КДТУ, 1999. – С.190-194.

37. Євтушенко В. Strip-till в Україні на прикладі СТОВ «Дружба-Нова» / В. Євтушенко. - // The Ukrainian Farmer. - К. : ТОВ "АГП Медіа", 2012. - № 9. - С. 99-100.

38. Жолобецький Г. Тернистий шлях "стрип-тіллу" / Г. Жолобецький. - // Пропозиція : укр. журн. з питань агробізнесу. - 2013. - N 11. - С. 58-60

39. Розробка ресурсощадних зональних технологій та технічних засобів обробки ґрунту, які забезпечують збереження та відтворення його родючості з впровадженням методик створення ґрунтообробних машин: Звіт по НДР / МІМСГ; № ГР 0193ТО07415; Інв. № 0296ТО01681. – Мелітополь, 1995. – 128 с.

40. Михайлов Є. В., Волик Б. А., Теслюк Г. В., Лепеть Е. І. Аналітичне обґрунтування методики експериментальних досліджень взаємодії з ґрунтом ґрунтообробних знарядь. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: Наукове фахове видання. – Мелітополь: ТДАТУ, 10. 2021. – Вип. 21, т. 2