

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“ ____ ” _____ 20 ____ р.
Зав. кафедри к.т.н., доцент
(науковий ступінь, вчене звання)
Андрій ВОЙТІК
(підпис) (ініціали, прізвище)

ДИПЛОМНА РОБОТА

магістр

(освітній рівень)

тема роботи **«ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВЗАЄМНОГО
РОЗМІЩЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СЕКЦІЇ АГРЕГАТУ ДЛЯ
СМУГОВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 23м-ім
освітньої програми магістр
спеціальності 208
«Агроінженерія»
Схейбал Я.Р.
(прізвище та ініціали)

Керівник к.с.н., доцент, Кутковецька Т.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Освітня програма магістр
Спеціальність 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Андрій ВОЙТІК
“ ” 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

студенту Схейбал Ярославу Руслановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Обґрунтування параметрів взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту»

керівник роботи Кутковецька Т.О., к.е.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
“ 14 ” листопада 2024 р. № 01-06/261

2. Строк подання студентом роботи 22.11.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: навчальна, наукова та періодична література за темою роботи; напрацювання науковців щодо конструкцій робочих органів машин для обробітку ґрунту.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: вступ; аналіз конструкційно-технологічних параметрів існуючих агрегатів для смугового обробітку ґрунту; теоретичні та експериментальні дослідження параметрів взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту; охорона праці; економічна ефективність застосування секції агрегату для смугового обробітку ґрунту.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 20 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломної роботи: мета і завдання дослідження;

РЕФЕРАТ

Схейбал Я.Р. Обґрунтування параметрів взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту (Дипломна робота, Уманський національний університет садівництва, 2024: пояснювальна записка на 66 сторінках, у т.ч. 5 розділів, 48 рисунків, 5 таблиць, 21 джерело літератури).

В роботі було розроблено узагальнену схему компоновки секції агрегату для смугового обробітку ґрунту, визначено типи і роль складових робочих органів. Досліджено взаємозв'язок між параметрами взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту та показниками ефективності їх використання.

Об'єкт дослідження – секція агрегату для смугового обробітку ґрунту.

Предмет дослідження – взаємозв'язок між конструкційно-технологічними параметрами взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту та показниками ефективності використання смугового обробітку ґрунту.

Мета роботи – підвищення ефективності застосування агрегатів для смугового обробітку ґрунту шляхом обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів взаємного розміщення робочих органів на секції.

Ключові слова: РОБОЧИЙ ОРГАН, ГЛИБИНА ОБРОБІТКУ, ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧ, ВІДРІЗНИЙ ДИСК, ПЕРЕДНІЙ ДИСК.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ.....	7
1.1. Порівняльний аналіз існуючих систем обробітку ґрунту та використання технології смугового обробітку.....	7
1.2. Огляд конструкційно-технологічних параметрів існуючих агрегатів для смугового обробітку ґрунту.....	16
1.3. Мета і завдання дослідження.....	21
Висновки по розділу.....	22
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	23
2.1. Вплив на ґрунт параметрів взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту.....	23
2.2. Визначення зусиль та енергетичних потреб для виконання смугового обробітку ґрунту.....	31
Висновки по розділу.....	37
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	38
3.1. Опис експериментальної секції агрегату для смугового обробітку ґрунту та її регулювання.....	38
3.2. Методика проведення експериментальних досліджень.....	41
3.3. Результати досліджень впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем, відстані між відрізними дисками та швидкості руху агрегату на якісні та енергетичні показники роботи агрегату.....	42
Висновки по розділу.....	55
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	56
4.1. Організація і заходи з охорони праці в господарстві.....	56
4.2. Моделювання виробничих небезпек при роботі з ґрунтообробним агрегатом.....	57
Висновки по розділу.....	58
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СЕКЦІЇ АГРЕГАТУ ДЛЯ СМУГОВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ.....	59
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64

ВСТУП

Інтенсифікація мікробіологічних процесів та відновлення родючості ґрунту є важливим завданням для аграріїв України, серед яких зростає попит на застосування технології смугового обробітку ґрунту. Відсутність досвіду та достовірної інформації ускладнює вибір агрегатів для забезпечення потреб аграрного виробництва. Різноманітність ґрунтовокліматичних зон і різнопланова аграрна діяльність створює умови для пошуку шляхів зменшення собівартості вирощування польових культур, що значною мірою відображається на розробці та удосконаленні ґрунтообробних агрегатів.

Технології, агрегати та комплекси для обробітку ґрунту удосконалюються у напрямку забезпечення якості обробітку і зменшення енерговитрат. Однією з таких технологій є смуговий обробіток ґрунту, що в Україні набуває серйозних темпів впровадження за прикладом закордонного досвіду. Але часто невідповідність погодним умовам та помилкові економічні розрахунки при застосуванні цієї технології розчаровують виробників отриманням небажаного результату за урожайністю та іншими негативними втратами.

Дослідженню комплектації агрегатів для смугового обробітку ґрунту, їх конструкційно-технологічних параметрів і впливу на якісно-енергетичні показники в умовах України не приділено достатньої уваги, саме тому необхідно узагальнити дослідження щодо доцільності використання технології смугового обробітку ґрунту для отримання ефективного виробничого результату, усвідомлення його позитивних можливостей та негативних наслідків.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ

1.1. Порівняльний аналіз існуючих систем обробітку ґрунту та використання технології смугового обробітку.

Використання різноманітних систем обробітку ґрунту обумовлюється технологією вирощування сільськогосподарських культур [2, 8]. Для виконання технологічних операцій обробітку ґрунту необхідно обирати раціональний склад агрегату, який матиме високу продуктивність, низьку вартість та експлуатаційні затрати, забезпечуватиме оптимальні умови необхідні для росту рослин. У сучасному сільськогосподарському виробництві обробіток ґрунту виконується різними системами й технологіями [17, 18, 20], які можна умовно класифікувати наступним чином:

- традиційна або класична технологія обробітку ґрунту (Full till) – заснована на суцільній оранці різними плугами глибиною до 30 см, після чого на поверхні ґрунту залишається менше 15 % рослинних решток;

- технологія мінімального обробітку ґрунту (Mini till) – виконується луцильниками, дисковими знаряддями на глибину до 15 см, після чого на поверхні ґрунту залишається від 15 до 30 % рослинних решток;

- технологія нульового обробітку ґрунту (No-till) – характеризується відсутністю обробітку, висівання проводиться сівалками прямого висіву, у яких перед висівним дисковим сошником установлюється спеціальний варіодиск, що прорізує в ґрунті щілину, у яку потім потрапляє насіння. Технології прямого посіву можна застосовувати для вирощування різних польових культур, за винятком овочевих та картоплі;

- технологія смугового обробітку ґрунту (Strip Till) – поєднує переваги традиційної та нульової технології, в більшості використовується для широкорядних культур.

Проаналізувавши переваги і недоліки існуючих технологій передпосівного обробітку ґрунту, сформовано порівняльну схему (рис. 1.1) систем передпосівного обробітку ґрунту [4].

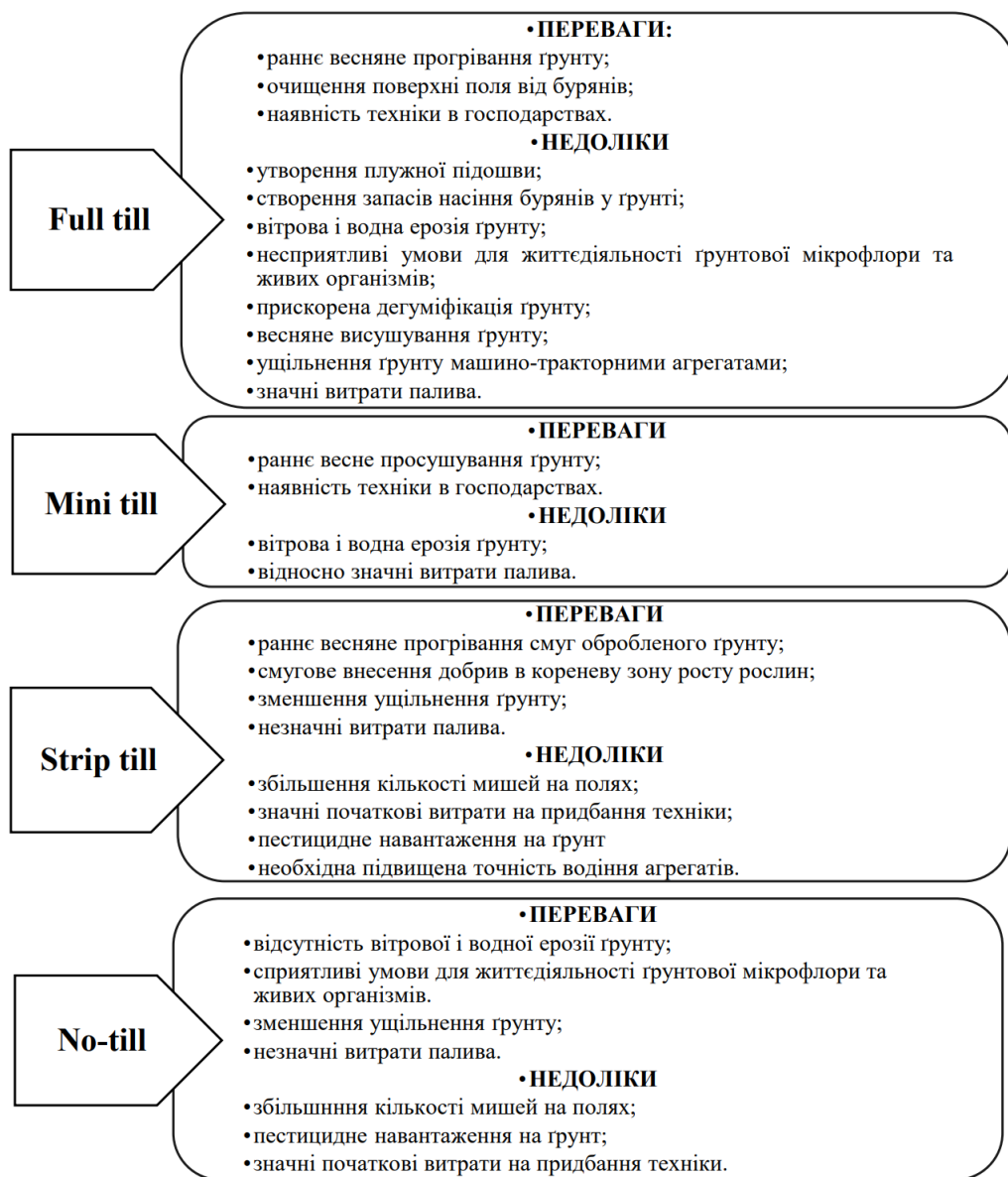


Рисунок 1.1 – Порівняльна схем системи передпосівного обробітку ґрунту

Основний обробіток передбачає перевертання та розкришення скиби ґрунту з перемішуванням стерні, органічних та мінеральних добрив внесених розкидним способом на поверхні, із формуванням щільної плужної підшви на глибині обробітку, що призводить до деградації ґрунту та погіршення природного його функціонування. Плужну підшву ще можна назвати бар'єром, який повільно пропускає воду і після інтенсивних опадів або тайння снігу накопичує надлишкову

вологу в площині обробітку і спрямовує її до низин (долинок), провокуючи вимокання посівів, а на великих схилах відбувається негативне сходження разом із водою обробленого шару ґрунту [2].

Водний баланс ґрунту є важливою умовою для розвитку культур у період інтенсивного росту. Наприклад, одна доросла рослина кукурудзи випаровує за добу 2-4 літри води, але погано реагує на перезволоження ґрунту, різко знижуючи врожай.

При нульовому обробітку обертання ґрунту суцільного руйнування не відбувається, не має плужної підшви і природна пористість ґрунту значно краща, у порівнянні з оранкою. У природніх умовах спостерігається підвищення, а не зниження родючості ґрунту. При цьому відбувається природне розпушення ґрунту.

Внутрішньо капілярне підведення вологи з нижніх прошарків сприяє забезпеченню необхідної для розвитку рослин вологи у період засухи. Неоране поле на глибину до 2 метрів пронизане мільярдами капілярів від коренів однолітніх рослин або життєдіяльності дощових черв'яків та інших організмів. Цими тонкими, але глибокими ходами землю насичує волога, яка взимку замерзає й розриває їх. Дослідження, проведені в штаті Іллінойс (США), показали, що корені сої проникають у канали, утворені дощовими черв'яками на глибину 30-45 см і продовжують рости, інколи навіть на глибину 127 см [10].

У порівнянні з основним (Full Till) та нульовим обробітком ґрунту (No Till) технологія смугового обробітку, поєднуючи переваги двох систем, сприяє відновленню природного балансу ґрунту, дозволяє, руйнуючи плужну підшву та ущільнення верхніх шарів, забезпечити якісну аерацію та прогрівання ґрунту для активації корисної біологічної діяльності у необроблених смугах з формуванням капілярної сітки для кращої інфільтрації води та підведення вологи у період засухи.

Спочатку оброблена смуга ґрунту має розрихлений стан, швидше прогрівається, частково випаровується не поглинута волога, руйнування плужної підшви дозволяє накопичувати вологу у глибоких шарах. Під час опадів у обробленій смужці, так як і при оранці, руйнуються ґрунтові агрегати, закриваються пори і утворюється ґрунтова кірка. У не обробленій частині, подібно

No-till, формується капілярна сітка, якою накопичена волога рухається до коріння, і рослина забезпечується повітрям, зменшується сила руйнування і вода рухається довше у напрямку до оброблених смужок упродовж вегетації [17].

При перезволоженні у фермерів є можливість провести відкриття вологи у оброблених смугах боронуванням або культивуванням із одночасним підживленням. У період засухи навпаки: сформована ґрунтова кірка зменшить активність випаровування вологи, а повітрообмін кисню та вуглекислого газу буде відбуватися через капілярність у необроблених смугах.

Для порівняння систем обробітку ґрунту із узагальненням питання формування природних балансів у ґрунті, що впливають на розвиток рослин, пропонуємо розроблені схеми (рис. 1.2) процесів ґрунтоутворення з урахуванням ущільнення різних прошарків та повітрообміну й водообміну, відновленням поживного мінералізованого органічного шару.

Найімовірніше, жодна з існуючих технологій в багатогалузевому сільськогосподарському підприємстві не застосовуватиметься як одна-єдина.

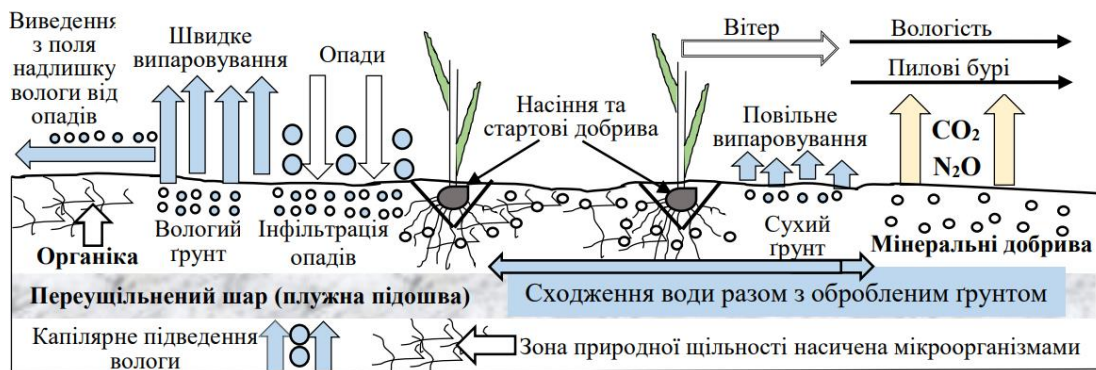
Доцільно використовувати диференційований обробіток, де під кожную культуру, залежно від конкретних умов, використовуватиметься та чи інша технологія обробітку ґрунту. Починати сівбу краще на полях із більш легкими ґрунтами й найменшою кількістю рослинних решток; на полях із великою кількістю рослинних решток необхідно обробляти лише смугу, де розміститься насіння.

Обробіток смугами дозволяє прогріти ґрунт, стимулює аеробні процеси. У насичених киснем смугах відбувається прискорене розкладання органічних речовин, що сприяє природному підживленню рослини на початковій стадії. На необроблених міжряддях даний процес відбувається повільніше, що дає можливість рослині використовувати необхідні поживні речовини (азот, фосфор) упродовж періоду вегетації, таким чином збережеться волога і затримається поява сходів бур'янів [5].

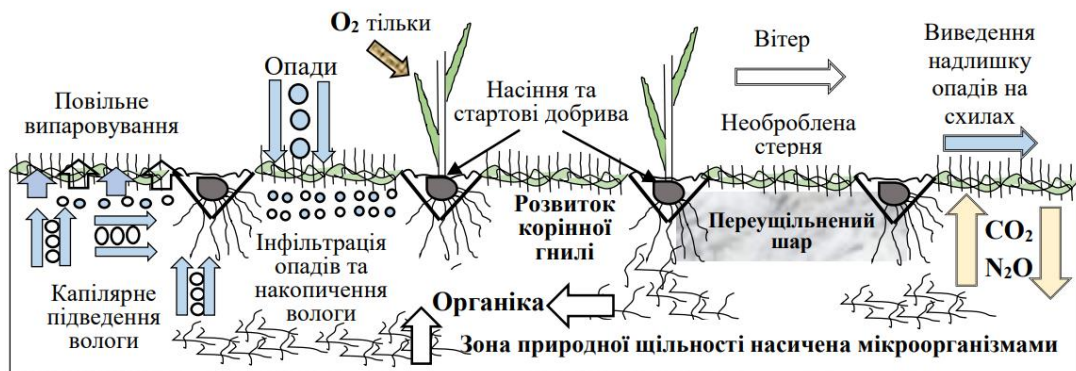
При застосуванні технології смугового обробітку ґрунту оброблюється лише така частина поверхні, де буде закладатися насіння. Рослинні рештки зміщуються

із зони обробленого рядка для створення швидкого прогрівання насіннєвого ложе, проростання посіву та затримання сходу бур'янів. Встановлено також, що залишення решток у міжрядді сприяє кращому їх споживанню черв'яками, які, рухаючись зверху донизу, розпушують необроблені смуги, затягують рослинні рештки вглиб ґрунту та виділяють органічні речовини для формування гумусу [16].

1. Основний обробіток ґрунту (Full Till)



2. Нульовий обробіток ґрунту (No-Till)



3. Смуговий обробіток ґрунту (Strip Till)

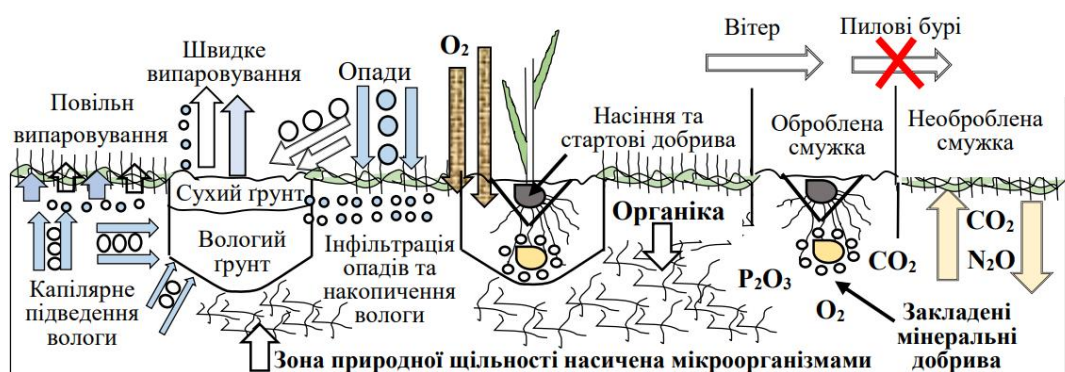


Рисунок 1.2 – Схеми формування необхідних балансів для розвитку рослин у системах обробітку ґрунту

Розглядаючи кореневу систему, наприклад, кукурудзи (рис. 1.3) як споживача поживних речовин, потрібно враховувати її розгалуженість та направленість розвитку відповідно площини обробітку. Необхідно одночасно вносити декілька елементів живлення з розділенням їх на різній глибині. На початковому етапі розвитку рослина використовує власну початкову енергію, підтриману стартовими добривами, закладеними сівалкою на глибину 3-5 см глибше насіння. Потім їй необхідні поживні речовини на більшій глибині [5].



Рисунок 1.3 – Рівні внесення добрив при смуговому обробітку ґрунту

Застосування технології смугового обробітку ґрунту дозволяє виконувати точне розміщення у зоні розвитку кореневого розгалуження і сприяти розвитку на різних глибинах концентрованих норм калійних і фосфорних мінеральних добрив, знижувати швидкість їх реакцій у ґрунтовому водяному розчині, що сприятиме їх тривалішому доступу для рослин відповідно до потреб певного вегетаційного періоду. Також перевагою смугового обробітку над нульовим та основним є можливість прикореневого підживлення рослин азотними добривами безпосередньо в ґрунті, зменшуючи його вивітрювання.

Технологія смугового обробітку ґрунту (Strip Till) у результаті змін зовнішнього середовища поширилася із Сполучених Штатів, де утворилася поєднанням технології основного обробітку (Full Till) та нульового (No Till). Її особливість полягає в тому, що поле обробляють і розпушують тільки смугами в

рядках майбутнього посіву, а інша частина залишається не обробленою. Технологія застосовується для широкорядних культур, таких як: кукурудза, соняшник, соя та ін. (рис. 1.4), але практикують і посіви зернових у здвоєних рядках (Twin Till), тобто висівання двох рядків в одну оброблену смугу.

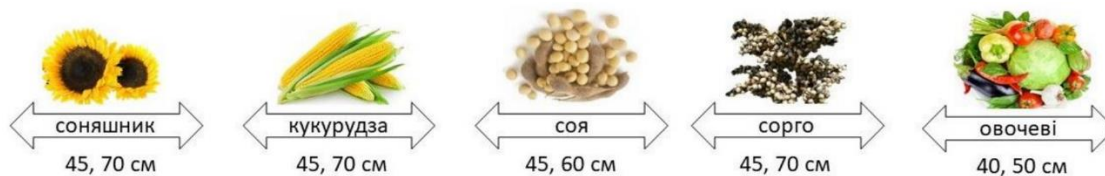


Рисунок 1.4 – Можливості використання технології смугового обробітку для вирощування агрокультур з урахуванням ширини міжряддя

Технологію смугового обробітку можна використовувати при посіві просапних культур, поєднуючи класичний широкорядний спосіб (70 см) із вузькорядним 12,5 см, як вже експериментують деякі передові господарства (рис. 1.5). Наприклад, компанія Pettinger пропонує висівати соняшник із вузьким міжряддям, аргументуючи, що зменшення прогрівання ґрунту в міжрядді зменшує процес випаровування ґрунтової вологи і перегріву листя соняшника у нижній частині, що напряду впливає на формування врожаю, оскільки рослина може краще переносити спеку, бо менше випаровує вологу для підтримки власного теплового балансу. Враховуючи ширину вузького міжряддя (12,5 см) та розмір захисної зони (10 см), для міжрядного обробітку ґрунту просапними культиваторами ширина обробленої смуги повинна становити 30-35 см.

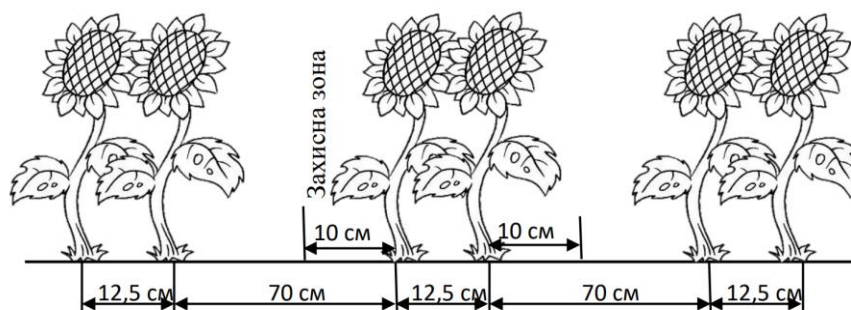


Рисунок 1.5 – Схема здвоєного міжряддя вирощування соняшника

Використання технології смугового обробітку ґрунту може здійснюватися як роздільно, так і одночасно з посівом. Такі відмінності пов'язані з різною

структурою ґрунтів і, відповідно, різним очікуваним ефектом від проведення обробітку. При розпушуванні з одночасним внесенням добрив склад ґрунту також є вирішальним фактором, бо можливий перерозподіл добрив у легких ґрунтах і фіксація поживних речовин на глинистих елементах і гумусі. У першому випадку обробіток ґрунту і посів проводиться окремо, а в другому – за один прохід. На місцевості із високим вмістом вологи кращого ефекту отримують, коли розпушування рядків проводять восени, а посів – весною наступного року. На піщаних ґрунтах добре застосовувати технологію смугового обробітку з одночасним розпушуванням і посівом навесні.

На сьогодні не конкретизовані агротехнічні вимоги до показників якості обробітку ґрунту при використанні агрегатів смугового обробітку ґрунту. Відсутні допустимі межі їх зміни залежно від природно-кліматичних зон, метеорологічних чинників та культур попередників. Обґрунтування допустимих меж зміни якісних показників обробітку ґрунту на основі економічних критеріїв також часто узагальнені [19]. У деяких випадках показники якості обробітку ґрунту навпаки характеризуються надмірно жорсткими нормативами, що приводить до збільшення витрат і суттєвих труднощів при проектуванні машин, і тому виникає необхідність введення узагальненого показника якості смугового обробітку ґрунту на основі використання оцінки окремих конкретизованих показників якості із врахуванням їх вагомості.

Відповідно до вищесказаного, на основі існуючих вимог до передпосівного обробітку ґрунту [6], пропонуються агротехнічні вимоги до роботи агрегатів для смугового обробітку ґрунту (табл. 1.1).

Робочі органи агрегатів для смугового обробітку повинні рівномірно обробляти ґрунт на глибину насіннєвого ложе, не забиватися ґрунтом та рослинними рештками. Залежно від комплектації робочих органів смуга може мати різні форми поперечного перерізу (рис. 1.6). У цілому поверхня обробленої смуги повинна бути рівномірною (рис. 1.6, б), тобто значення ступеня нерівності обробленої поверхні повинно бути не більше 15 %.

Таблиця 1.1 – Агротехнічні вимоги до смугового обробітку ґрунту

<i>Показники</i>	<i>Вимоги та допуски</i>
Швидкість руху агрегату	від 4 до 10 км/год.
Глибина обробітку	від 20 до 40 см
Глибина внесення добрив	від 10 до 30 см
Відхилення від заданої глибини обробітку	± 2 см
Ширина обробленої смуги	від 20 до 40 см
Поперечна нерівність обробленої смуги	не більше 15 %
Висота гребнів або глибина борозенок	до 5 см
Грудкуватість обробленого ґрунту (діаметр грудок більше 50 мм)	до 10%
Наявність рослинних решток в обробленій смужці	від 20 до 50 г/м ²

Під час осіннього обробітку ґрунту необхідно, щоб смуга мала випуклість від країв до середини (рис. 1.6, в), тобто при профілюванні поверхні не бажано заглиблення лінійки більше 5 см від мірної рейки без урахування висоти підставок (15 см), щоб передбачити просідання ґрунту впродовж зими.

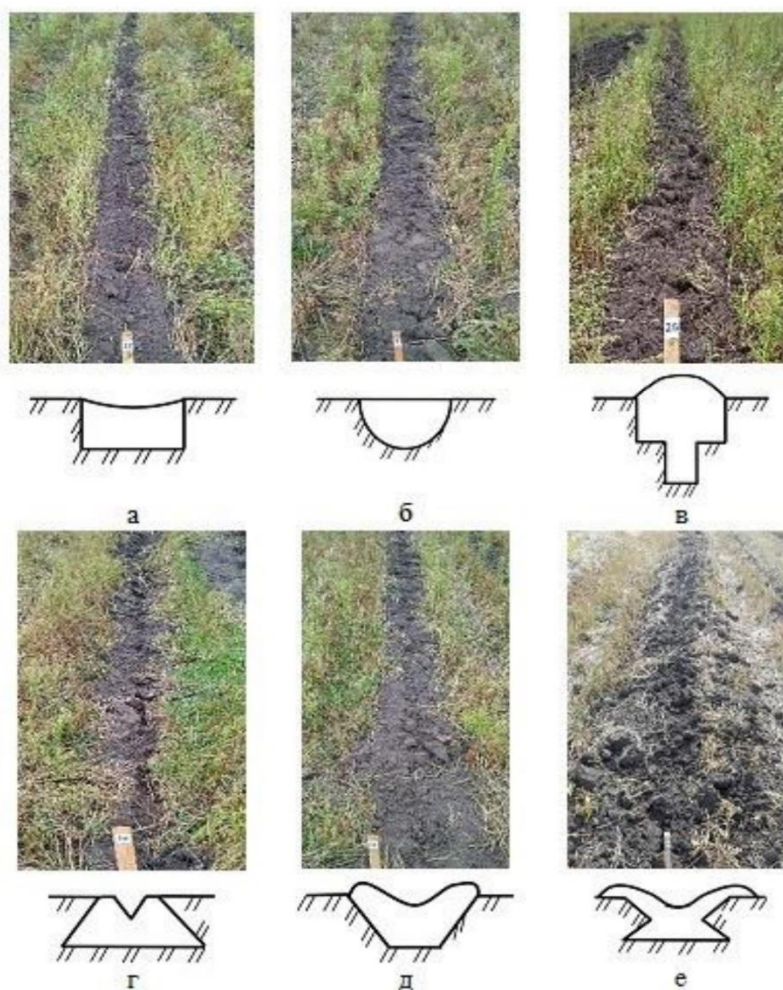


Рисунок 1.6 – Форми поперечного перерізу смуги після обробітку

Весною допускається увігнутість смуги посередині оброблених смужок (рис. 1.6, а), тобто заглиблення лінійки до 5 см від мірної рейки без урахування висоти підставок. Розкидання грудок за межі ширини обробленої смуги (рис. 1.6, д, е) не бажане тому, що це погіршує загальний стан вирівнювання поверхні поля й негативно впливає на виконання технологічних операцій таких, як догляд за посівами.

Якщо смуговий обробіток використовується лише для закладання добрив і після нього передбачено додатковий обробіток ґрунту (лушення, дискування або оранка), то вимірювання якості не обов'язкове, смуга може бути з борозною (рис. 1.6, г) та нерівномірною (рис. 1.6, д).

1.2. Огляд конструкційно-технологічних параметрів існуючих агрегатів для смугового обробітку ґрунту.

Нині на світовому ринку постійно зростає кількість компаній, що пропонують агрегати для смугового обробітку ґрунту із різними робочими органами (рис. 1.7), які за один прохід розрізають ґрунт, очищують смуги від рослинних решток, проводять глибоке розпушування і кришіння ґрунту, вирівнюють і прикотковують поверхню. Серед таких можна відмітити: агрегат Gladiator, Kuhn (Striger), Horsch (Tiger AS), Horsch (Focus TD), John Deere (2510), OrthMan (1TRIPr), DAWN (Pluribus), SLY (Stripcat), Bigham Brothers (Super Duty Strip Till), Carter (Strip Till), Agro-Lend (Mzuri Protill), Sunflower (7600), Wil-Rich (357), Yetter (Maverik), Remlinger (PST), Till-n-Plant (Schlagel), Strip Ripper (Alpha II), Unverferth (Ripper–Stripper), Kverneland (LAMMA) (Белес-Агро (Krios), АГРИВАТОР II (Агрохиммаш) [7, 16].

Дослідженню питань смугового обробітку ґрунту значну увагу приділяють в УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого [15], опубліковано ряд наукових праць, що розкривають суттєві моменти використання даних агрегатів. Розроблено вітчизняні зразки агрегатів для смугового обробітку ґрунту типу АСОГ-8 виробництва ТОВ Краснянське СП «АГРОМАШ» [15].

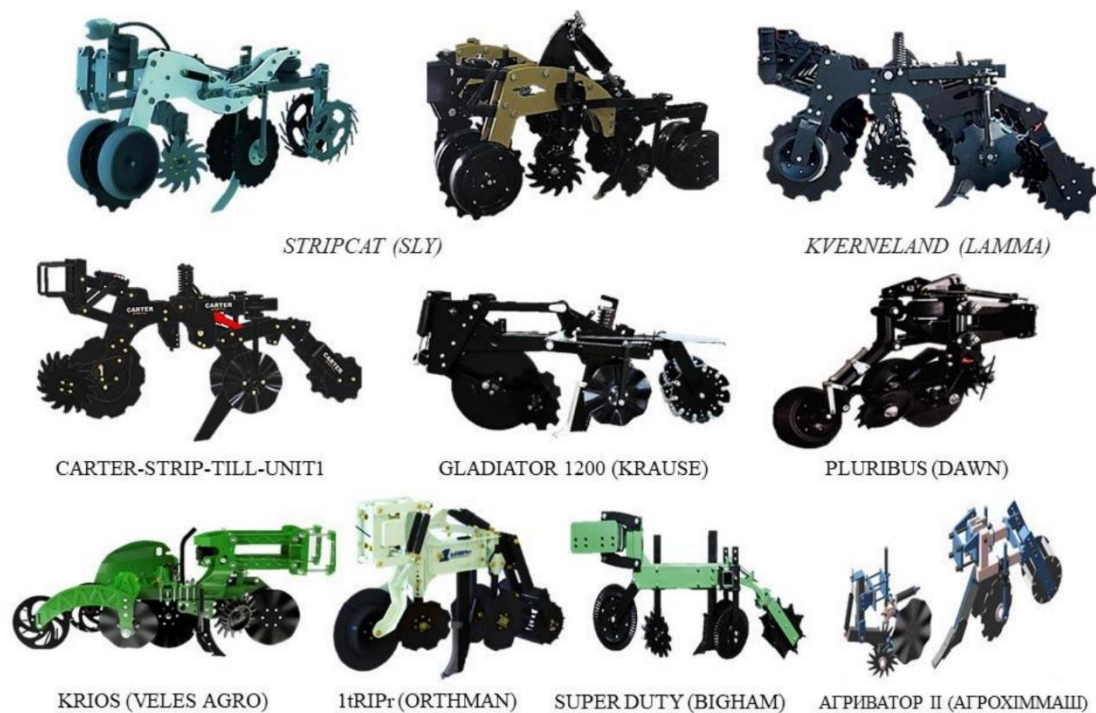


Рисунок 1.7 – Секції відомих агрегатів для смугового обробітку

Агрегати смугового обробітку ґрунту можна розділити на весняні (легкі) та осінні (середні і важкі). На перезволожених ґрунтах, де необхідно глибокий осінній обробіток (40-50 см), використовуються важкі агрегати на базі глибокорозпушувачів, на які встановлено додаткові робочі органи для очищення смуги і формування борозни. Таким прикладом є Ripper-Stripper (UM) і лінійний розпушувач 357 (Wil-Rich).

Для осіннього смугового обробітку у складі секції смугового обробітку ґрунту обов'язково повинен бути глибокорозпушувач для інтенсивного глибокого розпушування на глибину 20-30 см. У борозну, яку утворює стійка, також подаються рідкі та (або) сипучі добрива. Секція встановлюється на паралелограмній навісці, що забезпечує рівномірність заглиблення. Прикладом агрегату для осіннього смугового обробітку можна назвати 1tRiPr (OrthMan), Gladiator (Krause), Till-n-Plant (Schlagel), 7600 (Sunflower).

У посушливих зонах використання глибокорозпушувачів посилює вітрову та водну ерозію, виносячи на поверхню вологий ґрунт. У таких випадках доречно використовувати весняний обробіток з легкими агрегатами для очищення рядка від рослинних залишків та поверхневого розпушування ґрунту. Прикладом агрегату

для весняного обробітку є Pluribus (DAWN). Однак вибору раціональних параметрів та їх оптимізації взаємного розміщення робочих органів агрегатів для смугового обробітку ґрунту не приділено достатньої уваги. Незалежно від того де проводиться обробіток ґрунту: по стерні пшениці, стеблам кукурудзи чи покривній (сидеральній) культурі – завданням смугового передпосівного обробітку є забезпечити чистий, рівний, ідеально підготовлений ґрунт. Проаналізувавши тенденції розвитку агрегатів для смугового обробітку ґрунту, було розроблено узагальнену схему компоновки агрегату для смугового обробітку ґрунту (рис. 1.8), визначено типи і роль складових робочих органів таких агрегатів.

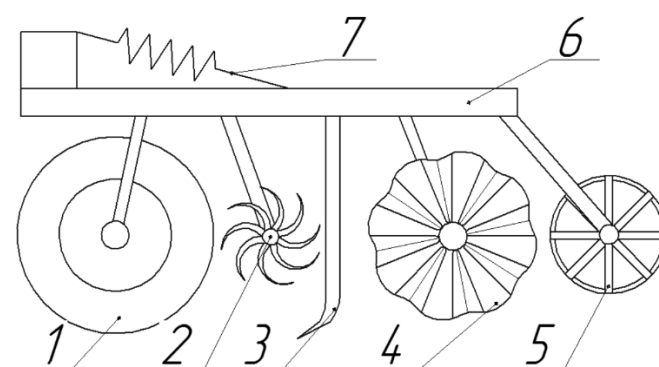


Рисунок 1.8 – Узагальнена схема секції агрегату для смугового обробітку ґрунту:
1 – передній диск; 2 – очисники рядка; 3 – глибокорозпушувач; 4 – відрізнальний диск;
5 – прикочуючий коток; 6 – рама секції; 7 – пружини рівномірності ходу

Передній диск призначений для розрізування поверхні ґрунту з метою зменшення опору руху стійки глибокорозпушувача і забезпечення постійної глибини обробітку. Зазвичай для переднього диска використовують диски різних варіантів (рис. 1.9) на пружних і жорстких кріпленнях (рис. 1.10).

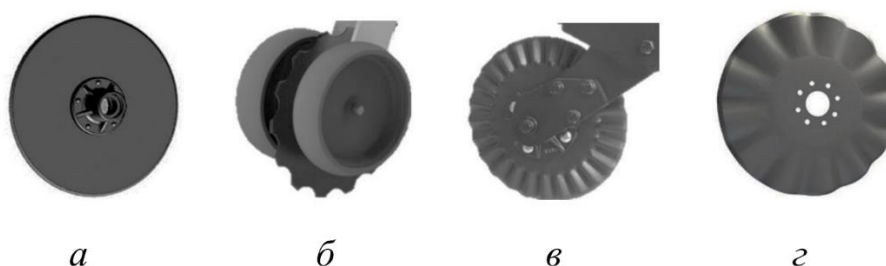


Рисунок 1.9 – Форми для переднього та відрізнальних дисків:
а – рівний; б – рівний з вирізами; в – рифлений; г – хвилястий



Рисунок 1.10 – Види кріплення переднього диска

Ефективне прибирання рослинних залишків із рядків і не допущення їх прямого контакту з насінням після посіву є однією з основних умов технології смугового обробітку. Для очищення рядка від рослинних залишків після або перед переднім диском використовують очисники. Це один або два ротаційних диски (рис. 1.11), які переміщують рослинні рештки за межі смуги, на необроблену частину. Враховуючи практичний досвід господарств, які використовують агрегати для смугового обробітку ґрунту, бачимо, що використання очисників є незавжди виправданим, оскільки при великій кількості рослинних решток вони забиваються і не виконують поставленої задачі.

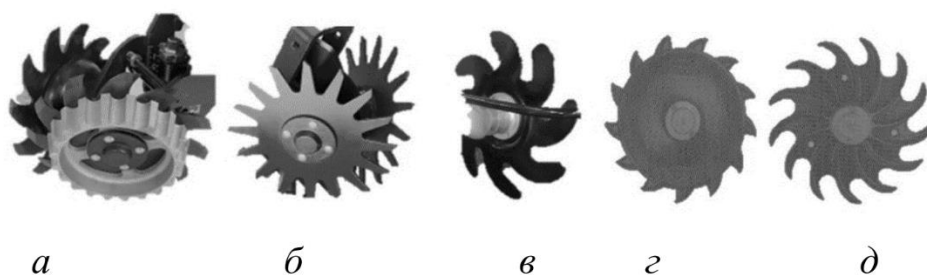


Рисунок 1.11 – Форми очисників рядка:

а – з ребрами; б – сонячний; в – пелюстковий; г – зубчатий; д – голчатий

Глибкорозпушувач (рис. 1.12) руйнує ущільнення нижнього шару (плужну підшву) для збільшення пористості ґрунту і використання кореневою системою рослини вологи і поживних речовин з глибоких (25-45 см) шарів ґрунту. Стійка глибкорозпушувача комплектується тукопроводами для одночасного внесення рідких або сипучих добрив. На глибкорозпушувачах встановлюються долотоподібні наконечники різної форми (рис. 1.13).



Рисунок 1.12 – Стійки глибокорозпушувача



Рисунок 1.13 – Наконечники (долота) для глибокопоглиблювача

Для вирівнювання поверхні обробленої смуги та підготовки насіннєвого ложе використовують прикочуючі котки (рис. 1.14).

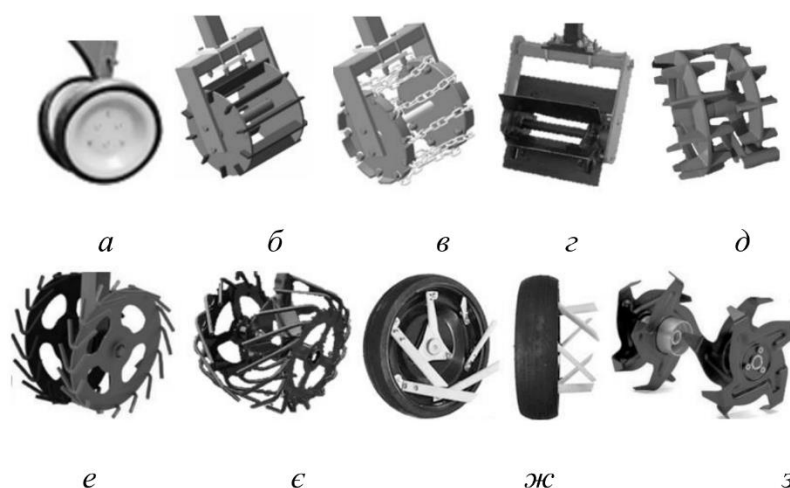


Рисунок 1.14 – Види прикочуючого котка:

а – гладенький; б – прутковий; в – ланцюговий; г – планковий; д – ребристий;
е, є, ж – пальцевий; з – фрезований

Після глибокорозпушувача на агрегати встановлюють відрізні диски, які забезпечують формування чіткої межі обробленої смуги та кришення верхнього шару ґрунту, зменшуючи його поверхневу неоднорідність. Для відрізних дисків використовують рівні, рифлені, хвилясті (шести, восьми, багато-хвильові) (рис. 1.9) та сферичні диски різного виконання.

На сучасних агрегатах загалом використовують паралелограмові системи кріплення, які забезпечують, незалежно від варіацій площини, однорідність обробітку ґрунту. Система паралельного кріплення забезпечує безперебійну роботу і точне рівномірне розміщення робочих органів і внесення добрив відповідно. Для рівномірності руху робочих секцій використовують стабілізуючі блоки пружин та пневматичні довантажувачі. Елементи врівноваження забезпечують рівномірність руху робочих органів у ґрунті [9].

Враховуючи світові напрацювання з виробництва агрегатів для смугового обробітку ґрунту [7], можна узагальнити конструкційні параметри відповідних елементів (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Узагальнення конструкційно-технологічних параметрів секцій агрегатів для смугового обробітку ґрунту

Конструкційно-технологічний параметр	Значення
Діаметр переднього диска, мм	500
Товщина переднього диска, мм	5
Діаметр опорної реборди, мм	300
Ширина опорної реборди, мм	160
Глибина обробітку глибокорозпушувачем, H , см	20-30
Ширина стійки та долота глибокорозпушувача, мм	30
Діаметр відрізного диска, мм	450
Товщина відрізного диска, мм	3
Діаметр прикочуючого котка, мм	400
Ширина прикочуючого котка, мм	350

1.3. Мета і завдання дослідження.

Мета роботи – підвищення ефективності застосування агрегатів для смугового обробітку ґрунту шляхом обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів взаємного розміщення робочих органів на секції.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз існуючих систем обробітку ґрунту та використання технології смугового обробітку;

- теоретично обґрунтувати параметри взаємного розміщення робочих органів секції агрегата для смугового обробітку ґрунту;
- експериментально визначити вплив взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту на показники ефективності смугового обробітку ґрунту;
- виконати техніко-економічну оцінку ефективності використання удосконаленої секції агрегата для смугового обробітку ґрунту.

Висновки по розділу.

В даному розділі проведено аналіз існуючих систем обробітку ґрунту та використання технології смугового обробітку ґрунту. А також здійснено огляд конструкцій робочих органів для такого виду робіт. Визначено, що робочі органи агрегатів для смугового обробітку повинні рівномірно обробляти ґрунт на глибину насінневого ложе, не забиватися ґрунтом та рослинними рештками.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Вплив на ґрунт параметрів взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту.

Аналіз наукових досліджень агрегатів для смугового обробітку ґрунту дозволив зробити висновок, що для забезпечення якісно обробленої смуги необхідно здійснювати зміну параметрів взаємного розміщення робочих органів на секції агрегату. Для проведення досліджень використаємо схему (рис. 2.1) розміщення робочих органів на секції агрегату для смугового обробітку ґрунту.

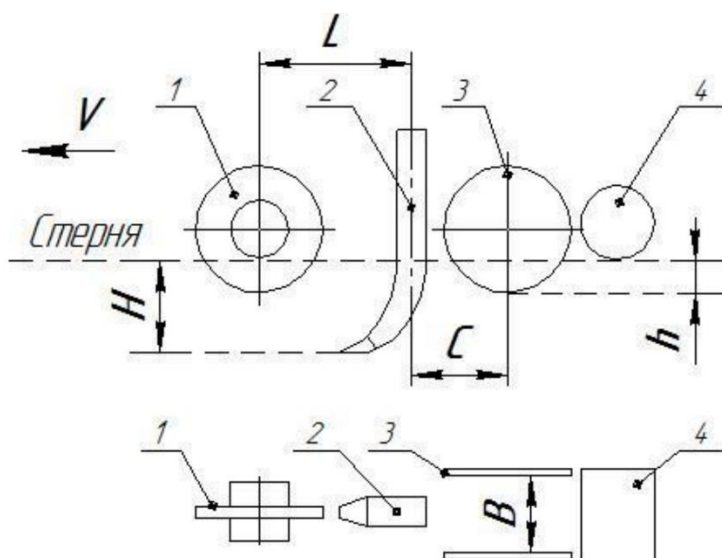


Рисунок 2.1 – Схема розміщення робочих органів на секції агрегату для смугового обробітку ґрунту:

1 – передній диск; 2 – глибокорозпушувач; 3 – відрізнi диски; 4 – прикочуючий коток. V – швидкість руху машино-тракторного агрегату, км/год; H – глибина обробітку глибокорозпушувачем, см; L – відстань від глибокорозпушувача до осі переднього диска, см; B – відстань між відрізнiми дисками (формування ширини смуги), см; C – відстань від глибокорозпушувача до осі відрізнiх дисків, см; h – заглиблення відрізнiх дисків, см

Глибокорозпушувач є основним робочим органом, який, рухаючись у необробленому ґрунті на глибині H у напрямку руху агрегату із швидкістю V ,

руйнує цілісну структуру ґрунту, зміщує і перетворює його з спокійного стану у рухомий [6, 7].

У процесі обробітку ґрунту формуються зони деформації, що розподіляються вперед і в сторони (рис. 2.2). В умовах блокувального обробітку процес пояснюється так, що долото, рухаючись в ґрунті на глибині H , деформує його, при цьому за рахунок пористості ґрунту і дисперсного складу в ньому під дією навантаження відбувається руйнування структурних зв'язків, переміщення частинок одних відносно інших, заповнення пористості між ними, витискування води і повітря із навантаженого простору, перед долотом утворюється ущільнена зона. Після проходження долотом певної відстані навантаження, виникаюче в ущільненій зоні, досягає максимуму, при якому частина ґрунту втрачає стійкість і відділяється пластом від основної структури, і спрямовується до горизонту. Середнє значення кута, обумовленого деформацією ґрунту з бокових сторін глибокорозпушувача в поперечному перерізі борозни, приймають рівним 90° .

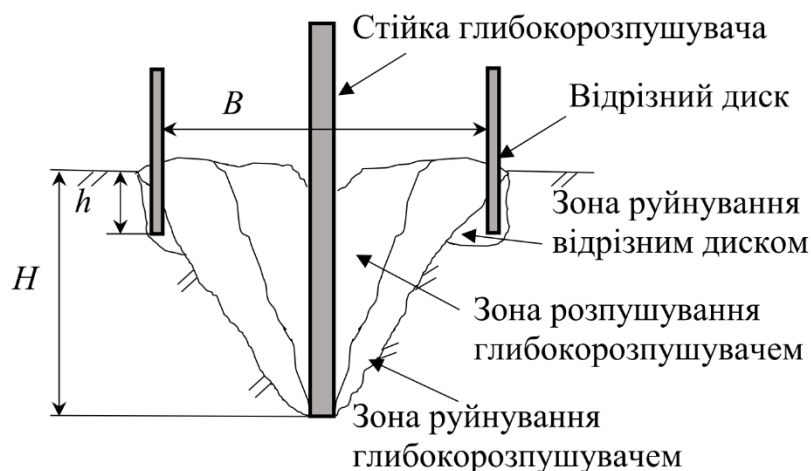


Рисунок 2.2 – Схема поперечного перерізу руйнування ґрунту секцією агрегату для смугового обробітку ґрунту

Робочим органом глибокорозпушувача є пряма або криволінійна стійка із змінним долотом. Якість і енергомісткість обробітку ґрунту глибокорозпушувачем залежать в цілому від параметрів долота та стійки. Долото діє на шар ґрунту аналогічно двогранному клину в умовах блокуваного (без наявних відкритих стінок) різання або сколювання. Якісне рихлення з найменшими енергетичними

затратами відбувається при умові, коли задана глибина обробітку не перевищує так звану критичну глибину обробітку, інакше зона деформування ґрунту зменшується, а енергетичні затрати збільшуються. Конструкційні параметри глибокорозпушувача мають забезпечувати необхідні показники якості смугового обробітку ґрунту, що залежать від розподілу траєкторій руху грудок ґрунту вздовж плоскої робочої поверхні долота та частини стійки, з якою стикаються грудки.

Відповідно до методики Л.В. Погорілого та П.В. Сисоліна критична глибина обробітку прямо пропорційна ширині долота і відношенню T/σ , яке характеризує механічні властивості ґрунту (де T – питомий опір стискання ґрунту, σ – тимчасовий опір розтягування ґрунту). Для обґрунтування конструкційних параметрів глибокорозпушувача під час виконання смугового обробітку ґрунту з метою підвищення якості обробітку і зменшення тягового зусилля нами проведено огляд теоретичних досліджень руху ґрунту M вздовж поверхні глибокорозпушувача змінної кривини з метою підвищення якості обробітку і зменшення тягового опору секції агрегату для смугового обробітку ґрунту на гаку енергетичного засобу.

Аналізуючи існуючі ґрунтообробні агрегати, зрозуміло, що широке долото призводять до утворення борозни великого поперечного перерізу, збільшення нерівності поверхні обробленої смуги та збільшення тягового опору агрегату. Вузьке долото призводять до того, що руйнування ґрунту в значній мірі здійснюється різанням. Товщина стійки повинна бути в співвідношенні до глибини обробітку 10:1. Ширина долота 30-35 мм (а в нашому випадку і стійки) при глибині обробітку 25-30 см, при глибині обробітку 40 см і більше – ширина долота повинна становити 40-60 мм, а ширина руйнування ґрунту один до одного у відношенні до глибини обробітку, тобто якщо ми плануємо обробляти ґрунт на глибину $H = 30$ см з товщиною стійки 30 мм, то відстань між дисками повинна становити $B = 30$ см. Товщина глибокорозпушувача (стійки та долота) 30 мм забезпечує руйнування ґрунту в перехідному режимі різання та розколювання.

У результаті протидії опору [9] (рис. 2.3) від необробленого ґрунту, розташованого попереду в напрямку руху, формується рух частини зруйнованого ґрунту M по робочій поверхні глибокорозпушувача до поверхні поля. Рух ґрунту

робочою поверхнею глибокорозпушувача відбувається до точки MO , де частина ґрунту M вивільняється і переходить у стадію вільного польоту зі зміною фізико-механічних та геометричних параметрів. Точка MO є початком вільного польоту, який залежить від маси, початкової швидкості V_0 та сил, що діють на частину ґрунту M , яка рухається різними траєкторіями ($M_1, M_2, M_3 \dots M_i$). Конструкційні параметри глибокорозпушувача мають забезпечувати необхідні показники якості технологічного процесу, що залежать від розподілу траєкторій руху грудок M_i вздовж робочої поверхні частини стійки, з якою стикається ґрунт. Розглянувши зверху рух вільного польоту частини ґрунту M (рис. 2.3), можна зробити висновок, що кількість напрямів руху ґрунту M_i буде безкінечною. Глибокорозпушувач рухаючись зруйнованим ґрунтом розділяє його на три потоки, два із яких під кутом до вертикалі спрямовуються в бокові сторони необробленої частини, в яких ґрунт зминається, ущільнюється.

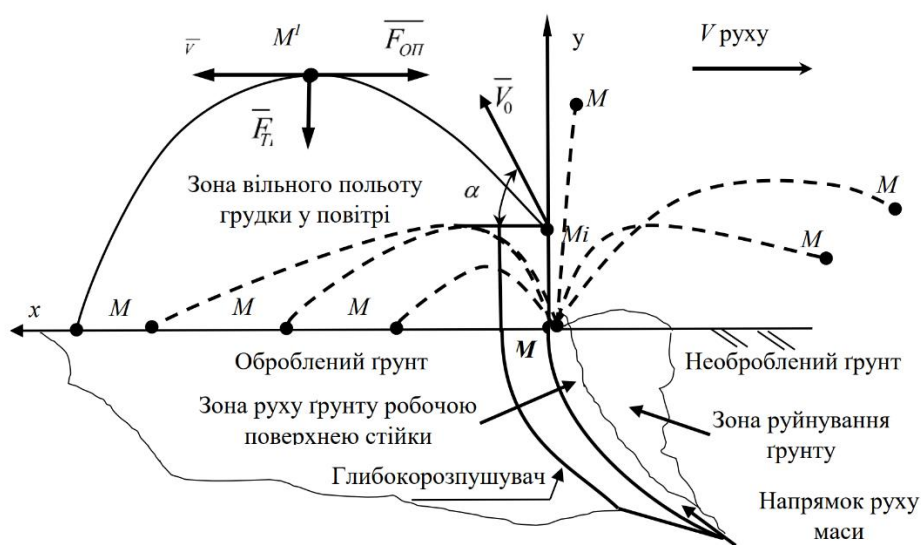


Рисунок 2.3 – Схема руху ґрунту робочою поверхнею глибокорозпушувача

Зона руйнування або формування тріщини перед глибокорозпушувачем відбувається від носка долота у напрямку руху агрегату до поверхні поля. Відповідно для формування правильного спрямування тріщини необхідно створити напрямок за допомогою переднього ножа, яким розрізається верхній рослинний шар при блокувальному обробітку.

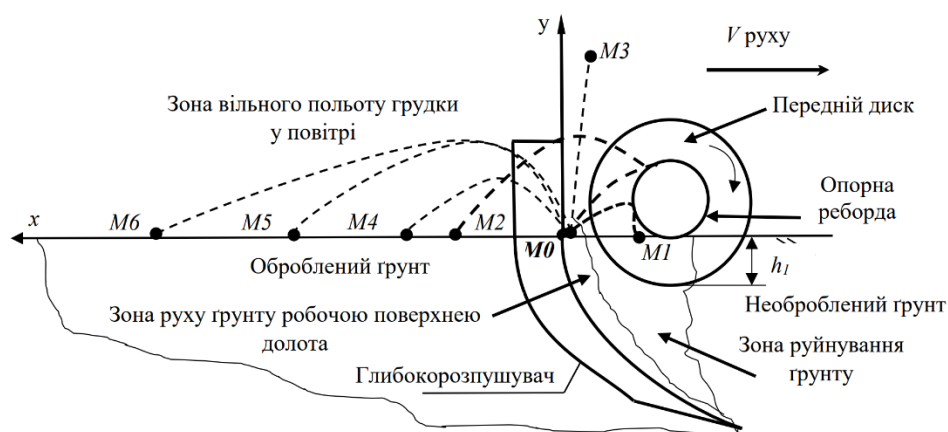


Рисунок 2.5 – Схема руху ґрунту із врахуванням дії переднього диска з опорною ребордою

Поверхня поля покрита рослинними рештками і корінням, що перешкоджає вільному руху зруйнованого глибокорозпушувачем ґрунту, формуючи суцільні пласти, які відриваються від основного ґрунту, перевертаються або ні погіршуючи якість обробітку. Рівнодіюча R_{zx} сил опору на диску ножа проходить через вісь диска під кутом α до горизонту, при чому чим більший кут α , тим більший діаметр диска. Діаметри сучасних дискових робочих органів становлять 450-660 мм, в залежності від глибини обробітку, оскільки дисковий робочий орган максимально заглиблюється на 1/3 свого діаметру.

Відрізання від необробленої смуги зруйнованого глибокорозпушувачем ґрунту у межах ширини обробленої смуги забезпечують відрізні диски. Відповідно до схеми (рис. 2.2) можна зробити висновок, що відрізні диски в залежності від відстані між дисками та глибини обробітку глибокорозпушувачем можуть рухатися в умовах блокованого, напіввільного різання та волочіння. При блокованому різанні диски рухаються стернею з частково підірваною структурою, долаючи опір розрізання рослинних решток, стискаючи ґрунт. Даний рух характеризується незмінністю напрямку руху від початково заданого.

При напіввільному (рис. 2.6) різанні (при наявності зруйнованої, обробленої зони) початково задані параметри встановлення відрізнних дисків є: паралельність один одному і боковій поверхні глибокорозпушувача, як змінюються у процесі роботи, оскільки диск рухається зруйнованою, але не розпушеною стернею.

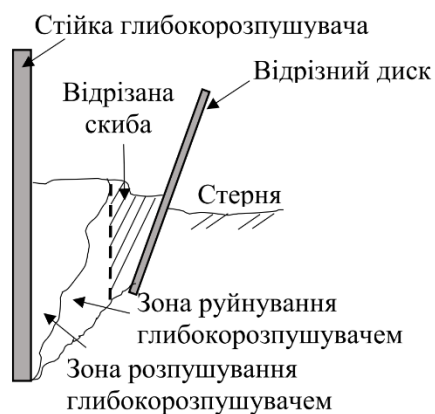


Рисунок 2.6 – Схема напіввільного руху відрізних дисків

Фронтальна частина диска сприймає опір різанню рослинних решток, відрізає частину скиби, яка, з одного боку, вивільнена розпушеним шаром глибокорозпушувача і спрямовує її до розпушеної борозни, а тильна сторона диска за рахунок переміщення маси ґрунту і стерні зміщується до вивільненого ґрунту. Таким чином, балансує між опором різанню і перемішуванням ґрунту. При напіввільному різанні для опору руху відрізного диска необхідно врахувати: питомий боковий тиск ґрунту на диск [5], питомий опір на деформацію та переміщення ґрунту, площу поперечного перерізу відрізаної скиби, кутову швидкість руху диска, коефіцієнт тертя ґрунтової маси по диску, заглиблення відрізного диска.

Задача відрізних дисків не тільки обрізати від необробленої смуги зруйнований глибокорозпушувачем ґрунт в межах ширини обробленої смуги, а і вловити вивільнений ґрунт вільного польоту в зоні після глибокорозпушувача, і направити його в борозну за глибокорозпушувачем (рис. 2.7), сформувавши правильну форму смуги із допустимою рівномірністю обробленої поверхні [9].

Грудка M_i під час вільного польоту у повітрі відповідно має n – кількість напрямів, для обмеження яких встановлюються відрізні диски. При польоті грудки M_i у нерухомій площині дія відбивання від диска описується як зміна кінетичної енергії та напрямку руху. При смуговому обробітку рух ґрунту відбувається при динамічних параметрах, де напрямок руху грудки M_i змінюється під впливом оберտального руху відрізного диска. Змоделювавши рух грудки M_i (ліва частина рис. 2.7) із n – кількістю напрямів, можемо об'єднати подібні напрями руху в п'ять

різних варіантів по відношенню до площини відрізного диска, умовно розділених осьовими лініями на чотири рівномірні сектори.

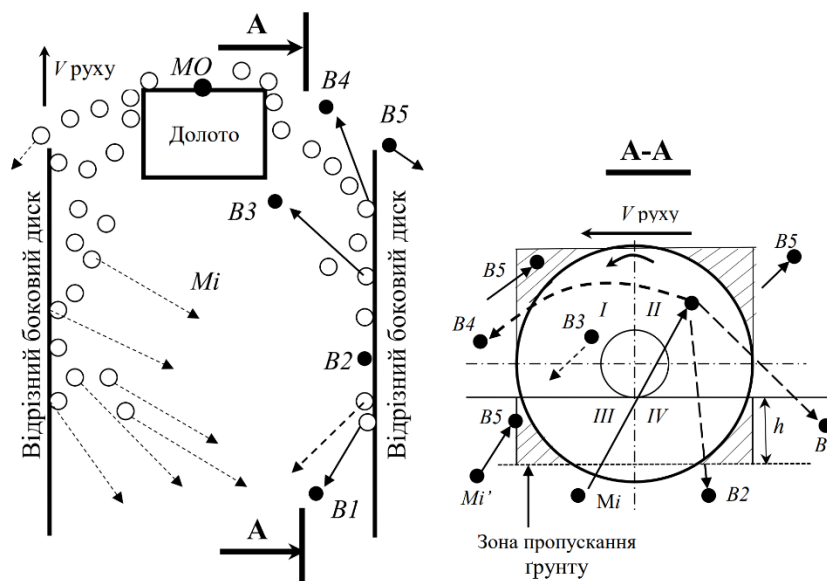


Рисунок 2.7 – Схема руху ґрунту в зоні після глибокорозпушувача під впливом відрізних дисків

Варіант 1 (B1) – рухаючись із певною швидкістю грудка M_i по дотичній потрапляє в один із секторів диска, вдаряється об диск, змінюючи напрямок руху по параболі падає в борозну за глибокорозпушувачем. Даний варіант особливо з концентрацією загальної кількості напрямів у сектор II найбільш доцільний для смугового обробітку ґрунту.

При варіанті 2 (B2) представимо рух грудки M_i , яка долітає до диска з мінімальною швидкістю, після удару втрачає кінетичну енергію і падає майже вертикально донизу в межах диску.

Варіант 3 (B3) – рухаючись з певною швидкістю, грудка M_i потрапляє в один із секторів диска, вдаряється об диск, під впливом кутової швидкості диска, змінивши траєкторію руху в зворотному напрямку, падає в борозну за глибокорозпушувачем.

Варіант 4 (B4) – грудка M_i , маючи значну масу і рухаючись з високою швидкістю, потрапляє в один із секторів диска, вдаряється об диск, під дією кутової швидкості диска змінює траєкторію руху в зворотному напрямку, отримує

прискорення і направляється в зону перед глибокорозпушувачем, створюючи негативні умови для формування якісного обробітку.

Варіант 5 (B5) – показує рух грудки M_i за межами відрізного диска, тобто в заштриховану зону пропускання грудок. Площа зони пропускання грудок безпосередньо залежить від всіх конструкційних параметрів відрізного диска.

Загальна кількість енергії, яка витрачається на деформацію ґрунту, відображується питомим опором ґрунту, який залежить від розмірів та геометрії робочого органу і швидкості обробітку, гранулометричного складу ґрунтів тощо. Отже, будь-яка дія робочого органу на ґрунт збільшує його об'ємну масу в деякому об'ємі; геометрія робочого органу і кінематика його руху зумовлює характер поля напружень і деформацій; енергія зміни об'єму, що приводить до ущільнення ґрунту робочим органом. Від форми робочого органу і кінематики його руху залежить енергоємність обробітку ґрунту.

2.2. Визначення зусиль та енергетичних потреб для виконання смугового обробітку ґрунту.

Слід зазначити, що під час рівномірного поступального руху агрегату (рис. 2.8) рушійна сила від енергетичного засобу зрівноважується силами опору секції агрегату для смугового обробітку ґрунту [9, 10].

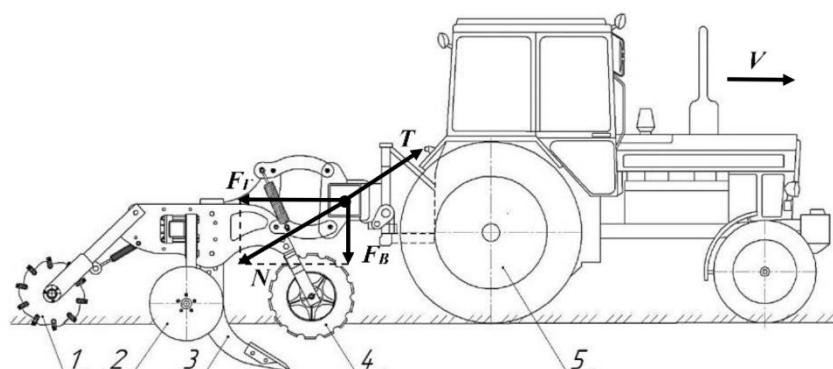


Рисунок 2.8 – Загальний вигляд машинно-тракторного агрегату та схема прикладення основних сил

1 – прикочуючий коток; 2 – відрізні диски; 3 – глибокорозпушувач; 4 – передній диск; 5 – енергетичний засіб; V – швидкість руху машинно-тракторного

агрегату, км/год; T – тягове зусилля енергетичного засобу, Н; N – сила загального опору секції агрегату для смугового обробітку ґрунту, Н; F_B – вертикальна складова загального опору секції агрегату для смугового обробітку ґрунту, Н; F_T – горизонтальна складова загального опору секції агрегату для смугового обробітку ґрунту, Н.

Вертикальна складова F_B загального опору секції агрегату для смугового обробітку ґрунту N створює момент навколо точки контакту задніх коліс трактора із ґрунтом та збільшує їх тиск на ґрунт, а горизонтальна складова F_T долається тяговою силою трактора. Сила тягового опору секції агрегату для смугового обробітку ґрунту (рис. 2.9) має основні складові елементи: сила тертя робочих органів об ґрунт, сила розрізання ґрунту робочими органами та деталями їх кріплення та сила, яка забезпечує відкидання ґрунту від поверхні робочих органів.

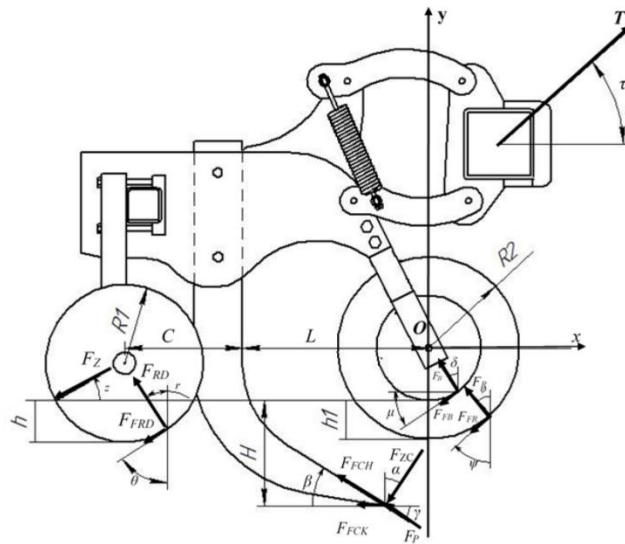


Рисунок 2.9 – Силова схема секції агрегату для смугового обробітку ґрунту

Загальний тяговий опір секції агрегату для смугового обробітку ґрунту визначали за формулою:

$$T = \sqrt{\left(F_R \sin \varphi + F_{FR} \sin \psi + F_B \sin \delta + F_{FB} \cos \mu + F_{ZC} \sin \alpha + F_P \cos \gamma + F_{FCH} \cos \beta + F_{CK} + F_{RD} \sin r + F_{FRD} \sin \theta + F_Z \cos z \right)^2 + \left(-F_R \cos \varphi + F_{FR} \cos \psi - F_B \cos \delta + F_{FB} \sin \mu + F_{ZC} \cos \alpha - F_P \sin \gamma - F_{FCH} \sin \beta - F_{RD} \cos r + F_{FRD} \cos \theta + F_Z \sin z \right)^2} \quad (2.1)$$

Зважаючи на складність виразу, що визначає горизонтальну складову загального опору секції агрегату для смугового обробітку ґрунту, для визначення

горизонтальної складової опору глибокорозпушувача було використано відому раціональну формулу В.П. Горячіна [8] із уточненим значенням сили тертя у наступному вигляді:

$$F_{\Gamma} = fgm_{\Gamma\Gamma} \left(2 \cos \theta + \frac{m_{\Gamma}}{m_{\Gamma\Gamma}} \right) + a_{\Gamma}b_{\Gamma}(k + k_v v^2) + fg(m_{PD} + m_{BD}) + k(a_{PD}b_{PD} + 2a_{BD}b_{BD}) + f_{\Pi}gm_A \quad (2.2)$$

де f – коефіцієнт тертя ґрунту і робочих органів, відн. од.; g – прискорення вільного падіння, м/с²; θ – кут установки поверхні глибокорозпушувача до горизонту, рад; $m_{\Gamma\Gamma}$, m_{PD} , m_{BD} – маса глибокорозпушувача, переднього та відрізних дисків, а також рами, яка на них припадає, кг; m_{Γ} – маса ґрунту над верхньою площиною глибокорозпушувача, кг; a_{Γ} , a_{PD} , a_{BD} , – ширина глибокорозпушувача, переднього та відрізних дисків, м; b_{Γ} , b_{PD} , b_{BD} , – глибина обробітку ґрунту глибокорозпушувачем, переднім та відрізними дисками, м; k – питомий опір ґрунту, Н/м²; k_v – питомий швидкісний опір ґрунту, Н с²/м⁴; v – швидкість руху агрегату, м/с; f_{Π} – коефіцієнт кочення реборди, відн. од.; m_A – маса секції, кг.

Основними показниками тягових властивостей і економічності енергетичного засобу є: тягова потужність $N_{\text{кр}}$, кВт, тягове зусилля $P_{\text{кр}}$, кН, швидкість руху V , км/год або м/с, буксування δ , %, годинна витрата палива G_T , кг/год та питома витрата палива $g_{\text{кр}}$, г/кВт·год [2]. Питома тягова витрата палива характеризує паливну економічність на робочих передачах в залежності від тягового зусилля і є похідною від годинної витрати палива і тягової потужності. Питома витрата палива із збільшенням навантаження зменшується і стає мінімальною в точці максимальної потужності на гаку; при перевантаженні питома витрата палива, як правило, збільшується. На основі загальновідомих виразів [3] визначимо питому витрату палива наступним чином:

$$E = \frac{Q}{S} = \frac{W}{Sq} = \frac{F_T l + W_{TP}}{Llq} = \frac{F_T}{Lq} + \frac{W_{TP}}{Sq} \quad (2.3)$$

де E – питома витрата палива машинно-тракторним агрегатом, кг/га; Q – витрата палива, кг; S – оброблена площа, м²; W – витрати енергії на роботу машинно-тракторного агрегату, Дж; q – теплотворна здатність палива, Дж/кг; F_T – тягова сила

трактора, що дорівнює силі опору робочого агрегату, Н; l – шлях, пройдений машинно-тракторним агрегатом, м; L – ширина захвату робочого агрегату, м; W_{TP} – витрати енергії на створення тягового зусилля трактором, Дж.

Оскільки ґрунтообробний агрегат є набором однотипних робочих органів, у подальшому будемо розглядати окремий робочий орган. Рівномірний поступальний рух робочого органу в ґрунті буде у випадку, коли сила тяги прикладена до робочого органу дорівнюватиме сумарній силі опору. Це може бути формалізовано наступним чином із використанням другого закону Ньютона:

$$m_A \frac{d^2 l}{dt^2} = F_T - F_F - F_R - F_H \quad (2.4)$$

де: m_A – маса робочого органу та деталей його кріплення, кг; l – шлях пройдений робочим органом, м; t – час руху робочого органу, с; F_T – сила тяги прикладена до робочого органу та деталей його кріплення, Н; F_F – сумарна сила тертя, що діє на робочий орган та деталі його кріплення, Н; F_R – сумарна сила розрізання ґрунту робочим органом та деталями його кріплення, Н; F_H – сумарна сила на підняття та відкидання ґрунту робочим органом та деталями його кріплення, Н.

Відрізні диски – це два плоскі, нормально встановлені, перпендикулярно до поверхні поля, паралельно до глибокорозпушувача і один до одного з величиною заглиблення h_l , які під час руху агрегату із швидкістю V під дією інертних сил обертаються навколо своєї осі (рис. 2.10).

Під час руху відрізний диск, з однієї сторони долаючи силу виштовхування $F_{виш}$ або опір зминанню ґрунту, відрізає від поверхні необроблюваної частини поля зруйнований глибокорозпушувачем ґрунт і за допомогою сили тертя зміщує його в напрямку руху (напрямку кутової швидкості). Вся маса ґрунту зміщується в зону m' між поверхнею поля і обробленим ґрунтом, концентруючи вагу в точці K і створюючи відкидну силу F_{σ} , яка зміщує траєкторію диска в напрямку від стерні до обробленої поверхні ґрунту. Під час зміщення траєкторії ґрунтова маса сходиться з диска і загортає борозну глибокорозпушувача. Представимо відрізний диск, встановлений на вертикальному кронштейні та під кутом до горизонту, який забезпечує розпушування ґрунту [7].

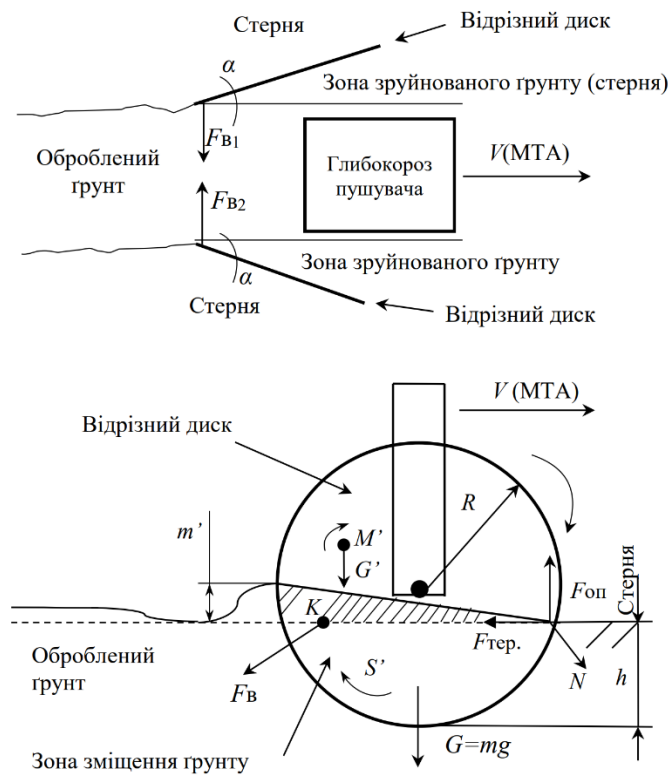


Рисунок 2.10 – Силевий аналіз руху відрізних дисків

У цьому загальному випадку сумарна сила тертя глибокорозпушувача становитиме:

$$\begin{aligned}
 F_F &= F_{ГРО} + F_{РОГ} + F_{БКГ} = \\
 &= f g m_s \cos \theta + f g (m_s \cos \theta + m_A) + f m_s g k_p = \\
 &= f g m_s \left(2 \cos \theta + \frac{m_A}{m_s} + k_p \right)
 \end{aligned}
 \quad (2.5)$$

де $F_{ГРО}$ – сила тертя ґрунту по верхній площині робочого органу, Н; $F_{РОГ}$ – сила тертя нижньої площини робочого органу по поверхні ґрунту, Н; f – коефіцієнт тертя ґрунту по металу, відн. од.; m_s – маса ґрунту над верхньою площиною робочого органу, кг; g – прискорення сили земного тяжіння, м/с²; θ – кут установки поверхні робочого органу до горизонту, рад; m_A – маса робочого органу та деталей кріплення, що припадає на робочий орган, кг; k_p – коефіцієнт бокового тиску ґрунту на вертикальні елементи робочого органу, відн. од.

Коефіцієнт бокового тиску ґрунту на вертикальні елементи робочого органу може становити незначну величину із-за того, що ґрунт має не текучу структуру, а тому ним можна знехтувати. У цьому випадку сумарна сила тертя становитиме:

$$F_F = f g m_s \left(2 \cos \theta + \frac{m_A}{m_s} \right) \quad (2.6)$$

Очевидно, що сумарна сила розрізання ґрунту робочими органами та деталями їх кріплення може бути визначена наступним чином:

$$F_R = l_{PO} k_{PO} + l_{DK} k_{PO} \quad (2.7)$$

де l_{PO} , l_{DK} – сумарна довжина ріжучої кромки робочих органів та деталей їх кріплення, м; k_{PO} , k_{DK} – питоме зусилля на розрізання ґрунту ріжучою кромкою робочих органів та деталями їх кріплення, Н/м.

На основі загальновідомих формул сумарна сила на підняття та відкидання ґрунту робочими органами та деталями їх кріплення може бути визначена наступним чином:

$$F_H = m_H g h + 0,5 m_D v^2 l_D \quad (2.8)$$

де m_H – маса ґрунту піднятого робочими органами, кг; m_D – маса ґрунту, яка відкидається робочими органами та деталями їх кріплення, кг, v – швидкість відкидання ґрунту робочими органами та деталями їх кріплення, м/с; l_D – довжина траєкторії відкидання ґрунту робочими органами та деталями їх кріплення, м.

Таким чином, питому витрату палива можемо записати:

$$E = \left[f m_s g \left(2 \cos \theta + \frac{m_A}{m_s} \right) + l_{PO} k_{PO} + l_{DK} k_{PO} + m_H g h + 0,5 m_D v^2 l_D \right] (Lq)^{-1} + \frac{W_{TP}}{Sq}, \quad (2.9)$$

а формула динаміки агрегату 2.4. набуває вигляду:

$$m_A \frac{d^2 l}{dt^2} = F_T - f g m_s \left(2 \cos \theta + \frac{m_A}{m_s} \right) - l_{PO} k_{PO} + l_{DK} k_{PO} - m_H g h - 0,5 m_D v^2 l_D \quad (2.10)$$

Із рівнянь видно, що питома витрата палива при роботі агрегату для смугового обробітку ґрунту в основному залежить від параметрів робочих органів. Параметри ґрунту у цих рівняннях відображені коефіцієнтом тертя ґрунту по металу та питомим зусиллям на розрізання ґрунту ріжучою кромкою робочих органів та деталями їх кріплення.

Для спрощення розрахунків представлено робочий орган у вигляді плоскої заточної пластини без деталей кріплення, встановлену вертикально та без відкидання ґрунту робочим органом [6]. У цьому випадку на основі рівняння динаміки можна записати:

$$m_A \frac{d^2 l}{dt^2} = F_T - 2fgm_S - fgm_A - l_{PO}k_{PO} \quad (2.11)$$

При рівномірному введенні заточеної пластини без деталей кріплення, встановлену вертикально та без відкидання ґрунту робочим органом ґрунту, можна записати:

$$F_T = fg(2m_S + m_A) + l_{PO}k_{PO} \quad (2.12)$$

Звідки:

$$k_{PO} = \frac{F_T}{l_{PO}} - \frac{fg(2m_S + m_A)}{l_{PO}} = f_T - f_F \quad (2.13)$$

де f_T, f_F – питомі зусилля тиску на ґрунт зовнішньої сили та тертя ґрунту об верхню та нижню площини робочого органу, Н/м.

Очевидно, що із глибиною та зменшенням вологості ґрунту питоме зусилля на розрізання ґрунту зростає, а тому необхідно провести експериментальні дослідження по визначенню питомого зусилля на розрізання ґрунту ріжучою кромкою робочих органів та пов'язати цю величину із твердістю ґрунту, визначену твердоміром.

Висновки по розділу.

Для умов роботи секції агрегату для смугового обробітку та на основі використання раціональної формули В.П. Горячкіна із уточненим значенням сили тертя отримано залежність для визначення тягового опору агрегату для смугового обробітку ґрунту та витрат палива в залежності від глибини обробітку ґрунту глибокорозпушувачем, а також заглиблення переднього та відрізних дисків.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Опис експериментальної секції агрегату для смугового обробітку ґрунту та її регулювання.

Для підвищення ефективності застосування агрегата для смугового обробітку ґрунту шляхом удосконалення параметрів взаємного розміщення робочих органів встановлено взаємозв'язок між конструктивно-технологічними параметрами робочих органів агрегата та показниками ефективності смугового обробітку ґрунту.

На рисунку 3.1 приведено аксонометричну модель секції агрегату для смугового обробітку ґрунту. Пропонується виконати компоновання агрегату у націпному варіанті (рис. 3.2) з восьми секціями, розміщених із міжряддям 70 см.

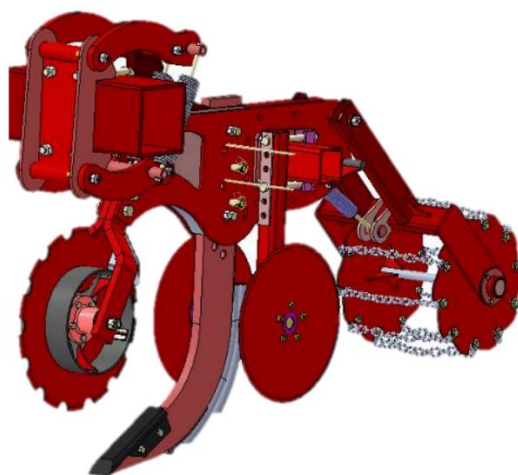


Рисунок 3.1 – Секція агрегату для смугового обробітку ґрунту

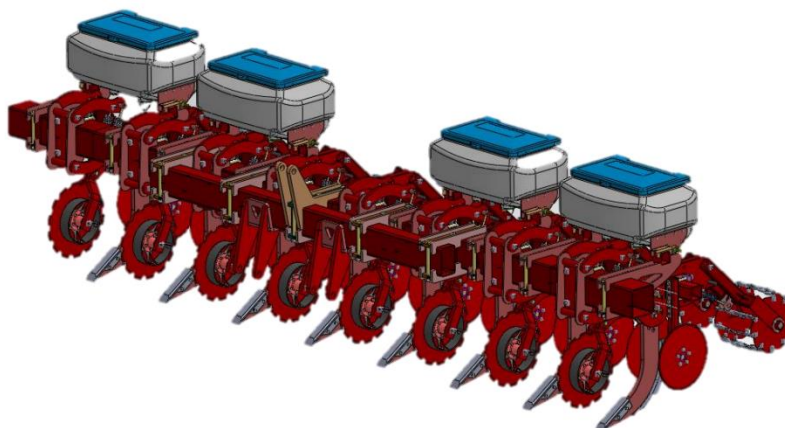


Рисунок 3.2 – Навісна система розміщення агрегату для смугового обробітку ґрунту

Зміну конструкційних параметрів розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту виконуємо відповідно до точок регулювання (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Точки регулювання конструкційних параметрів робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту

1 – стрем'янка для кріплення та регулювання відстані між відрізними дисками, B ; 2 – отвори для зміни заглиблення відрізнних дисків, h ; 3 – місце кріплення кронштейна відрізнних дисків, з додатковим регулюванням встановлення їх у відношенні до основи секції; 4 – фіксатор зміни глибини обробітку глибокорозпушувачем H ; 5 – місце встановлення перехідника для зміни відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска L .

Для зміни відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска L використано подовжувач (рис. 3.4), який кріпиться до основи секції і дозволяє жорстко закріпити вилку переднього диска, обмеживши зміщення вилки переднього диска упорами шириною 5 см.

Глибина обробітку глибокорозпушувачем H змінюється переміщенням стійки у відношенні до основи 1 (рис. 3.5) секції, яка фіксується у отворах 2.

Відстань від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків C виставлялася зміною положення зміщеного від центру кронштейна кріплення стійки та самої стійки відрізнних дисків по відношенню до кронштейна (рис. 3.6). Переміщуючи

стійку відрізних дисків вздовж кронштейну змінювалась відстань між відрізними дисками B .

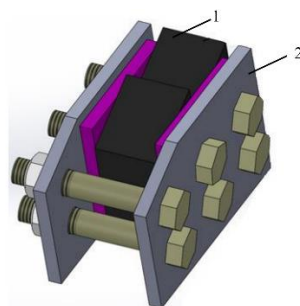


Рисунок 3.4 – Перехідник для зміни відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска L :

1 – упор; 2 – пластина кріплення змінних елементів та переднього диска

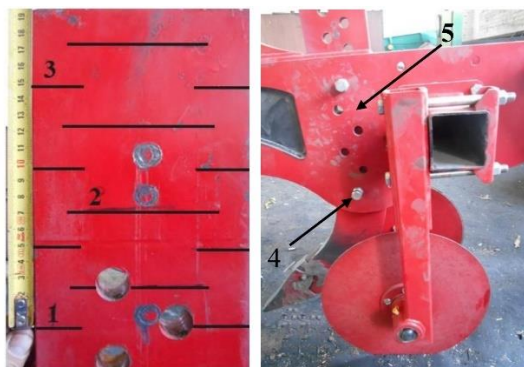


Рисунок 3.5 – Регулювання глибини обробітку глибокорозпушувачем H , см:

1 – мітка глибини обробітку $H_{\min}$, 2 – мітка глибини обробітку H_0 , 3 – мітка глибини $H_{\max}$, 4 – контровочні болти; 5 – отвір для встановлення фіксатора

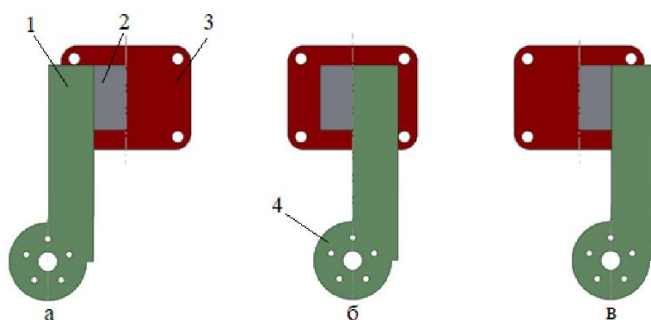


Рисунок 3.6 – Схема встановлення відрізних дисків на відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків C , см: а – відстань $C = 38$ см; б – відстань $C = 50$ см; в – відстань $C = 62$ см. 1 – стійка відрізних дисків; 2 – кронштейн кріплення стійки; 3 – кріплення кронштейна до рами; 4 – ступиця кріплення диска

3.2. Методика проведення експериментальних досліджень.

На основі попередніх досліджень та розроблених механіко-технологічних передумов секції агрегату для смугового обробітку ґрунту з врахуванням вимог (табл. 1.1), розроблено програму досліджень впливу зміни конструкційно-технологічних параметрів на агротехнічні й енергетичні показники виконання смугового обробітку ґрунту [12, 13], а саме дослідження впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем (H), відстані між відрізними дисками (B) та швидкості руху агрегату (V) на якісно-енергетичні показники обробленої смуги (табл. 3.1).

Таблиця. 3.1 – Інтервали значень та рівні варіювання досліджуваних факторів

Найменування фактору та його позначення	Рівні факторів			Інтервали варіювання
	-1	0	+1	
Глибина обробітку глибокорозпушувачем H , см	13	20	27	7
Відстань між відрізними дисками B , см	10	20	30	10
Швидкість руху агрегату V , км/год	4	7,5	11	3,5

Програмою не передбачалось визначення впливу параметрів робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту, що були визначені при розробці механіко-технологічних передумов, із врахуванням літературних джерел та конструктивних міркувань на основі досліджень попередників.

Обробка результатів експериментальних досліджень здійснювалась за стандартною методикою [1] із застосуванням прикладних математичних програм [12]. Статистичне оцінювання рівня дисперсії, отриманих результатів проводилося за критерієм Кохрена для 95-% рівня довірчої ймовірності шляхом порівняння його розрахункового значення з табличним [15]. Адекватність отриманої математичної моделі отриманого рівняння регресії та її придатність для опису досліджуваного процесу перевіряли за критерієм Фішера. Перевірка за критерієм Фішера при 0,05 рівні значущості підтвердила існування взаємозв'язків між конструкційно-технологічними параметрами та результативними ознаками. Перевірка значимості коефіцієнтів регресії при прийнятій довірчій ймовірності проводилась за критерієм Стюдента [15].

Розрахункове значення множинного коефіцієнту кореляції є величина позитивна і змінюється від 0 до 1. Нульове значення множинного коефіцієнту

кореляції означає відсутність лінійного зв'язку між величинами, але не виключає можливості існування нелінійного зв'язку. Якщо ж коефіцієнт рівний 1, то існує лінійний зв'язок, а всі експериментальні дані лежать в одній площині, яка є поверхнею відгуку. Квадрат коефіцієнту кореляції є детермінацією, яка виражає залежність однієї величини від іншої. Аналіз отриманих математичних моделей, з метою оптимізації конструкційно-технологічних параметрів взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту проведений із використанням методу побудови поверхонь відгуку.

3.3. Результати досліджень впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем, відстані між відрізними дисками та швидкості руху агрегату на якісні та енергетичні показники роботи агрегату.

За планом трьохфакторного експерименту [6] проведено дослідження з урахуванням глибини обробітку глибокорозпушувачем H , см, відстані між відрізними дисками B , см, швидкості руху V , км/год, із незмінними значеннями відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска $L=50$ см, відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків $C=50$ см, заглиблення відрізних дисків $h = 16$ см. Результати досліджень середньої поперечної нерівності B_{ϕ} , %, середньої грудкуватості N_{ϕ} , %, середньої витрати палива G_{ϕ} , л/га та середнього значення узагальненого показника γ , л/га. наведені в табл. 3.2.

Проведено візуальну оцінку якості обробітку смуги та умовно розділено на три групи: якісно оброблені (дослід № 1, 8, 9, 11), відносно якісно (№ 4, 6, 7, 13, 14, 15) та неякісно (№ 2, 3, 5, 10, 12). Зразки відповідної групи візуальної оцінки представлено на рис. 3.7.

Таблиця 3.2 – Результати досліджень впливу глибини обробітку
глибокорозпушувачем H , відстані між відрізними дисками B та швидкості руху
агрегату V на якісно-енергетичні показники обробленої смуги

№ досліду	Глибина глибокорозпу шувачем, H		Відстань між відрізними дисками, B		Швидкість руху, V		B_{ϕ} , %	N_{ϕ} , %	G_{ϕ} , л/га	γ , л/га
	код	см	код	см	код	км/год				
1	+1	27	+1	30	0	7,5	31,5	24,5	13,3	22,8
2	-1	13	-1	10	0	7,5	10,1	16,1	10,3	10,2
3	+1	27	-1	10	0	7,5	65,5	19,3	14,3	36,1
4	-1	13	+1	30	0	7,5	1,2	7,8	9,3	5,5
5	+1	27	0	20	+1	11	41,1	7,8	15,0	24,8
6	-1	13	0	20	-1	4	9,7	11,5	11,4	10,1
7	+1	27	0	20	-1	4	39,1	5,2	16,4	25,5
8	-1	13	0	20	+1	11	13,5	5,7	8,1	7,1
9	0	20	+1	30	+1	11	5,1	4,7	10,7	6,8
10	0	20	-1	10	-1	4	17,9	5,2	16,4	16,2
11	0	20	+1	30	-1	4	10,1	10,3	13,9	12,1
12	0	20	-1	10	+1	11	27,9	22,0	10,0	15,7
13	0	20	0	20	0	7,5	19,0	2,6	10,7	10,8
14	0	20	0	20	0	7,5	16,3	3,6	10,9	9,9
15	0	20	0	20	0	7,5	19,0	4,2	10,6	10,5



Рисунок 3.7 – Зразки візуальної оцінки досліджень впливу глибини обробітку
глибокорозпушувачем H , відстані між відрізними дисками B та
швидкості руху агрегату V

Після обробки експериментальних даних отримано рівняння регресії, які описують результати досліджень:

$$\begin{aligned}
B\phi &= 13,47 - 3,653H + 1,6816B + 2,1429V + 0,2H^2 - 0,0899HB - 0,1071BV, \\
&\text{при } Ff = 0,48; Gk = 0,015; \\
N\phi &= 77,9869 - 5,5954H - 3,2499B + 3,1965V + 0,1067H^2 + 0,0822B^2 - \\
&\quad - 0,0939V^2 + 0,0484HB + 0,085HV + 0,16BV; \text{ при } Ff = 2,45; Gk = 0,105; \\
G\phi &= 27,1261 - 0,1665H - 0,4099B - 3,1079V + 0,0095H^2 + 0,0046B^2 - \\
&\quad - 0,1166V^2 + 0,019HV + 0,0235BV; \text{ при } Ff = 1,59; Gk = 0,073; \\
\gamma &= 39,552 - 3,2614H - 0,3203B - 0,4836V + 0,1265H^2 + 0,0202B^2 + \\
&\quad + 0,0241V^2 + 0,0308HB + 0,0237HV + 0,0345BV, \text{ при } Ff = 0,89; Gk = 0,066;
\end{aligned} \quad (3.1)$$

де $B\phi$ – фактична поперечна нерівність, %; $N\phi$ – фактична грудкуватість, %; $G\phi$ – фактична витрата палива, л/га; γ – узагальнений показник, л/га; H – глибина обробітку глибокорозпушувачем, см; B – відстань між відрізними дисками, см; V – швидкість руху агрегату, км/год.

Графіки залежності поперечної нерівності (рис. 3.8) показують, що вона поступово збільшується із збільшенням глибини обробітку глибокорозпушувачем H . Лінії, що характеризують відстань між відрізними дисками B , спрямовані майже паралельно, при $B=30$ см найбільша кількість значень знаходиться у заданих межах 15 %. Відстань між дисками $B=20$ см може використовуватися лише для глибини обробітку глибокорозпушувачем H до 18 см, а відстань $B=10$ см – взагалі не може використовуватися.

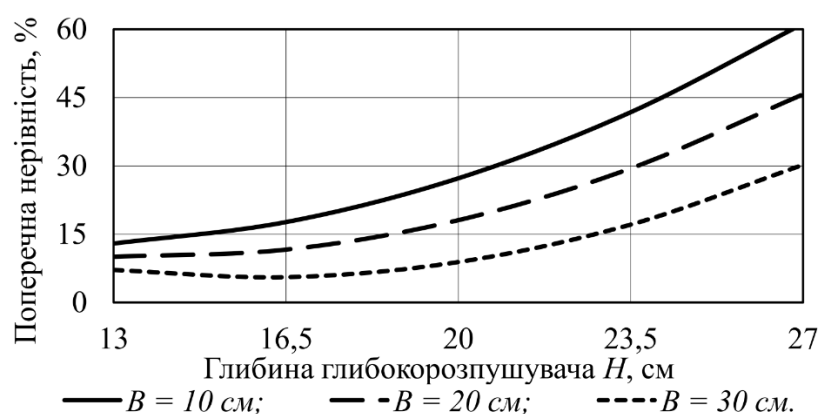


Рисунок 3.8 – Залежність поперечної нерівності від глибини обробітку глибокорозпушувачем H при швидкості руху агрегату $V=7,5$ км/год

При швидкості руху $V=7,5$ км/год видно, що при збільшенні відстані між відрізними дисками B від 10 до 30 см прямолінійна залежність поперечної

нерівності зменшується. Значення поперечної нерівності при глибині обробітку долотом $H=13$ см, незалежно від зміни відстані між відрізними дисками B , повністю потрапляє під контрольну межу 15 % і пояснюється тим, що при заданій глибині ($H=13$ см) вивільнюється незначна маса обробленого ґрунту і в більшості випадків смуга представляє собою прорізану, фактично не оброблену щілину.

При глибині обробітку глибокорозпушувачем $H=27$ см при зміні відстані між відрізними дисками B значення знаходяться за межею 15 %, що пояснюється великою кількістю вивільненого обробленого ґрунту та формуванням відповідної форми поперечного перерізу обробленої смуги. Рациональною глибиною обробітку глибокорозпушувачем H є значення від 16 до 23 см при відстані між відрізними дисками B від 23 до 30 см (рис. 3.9).

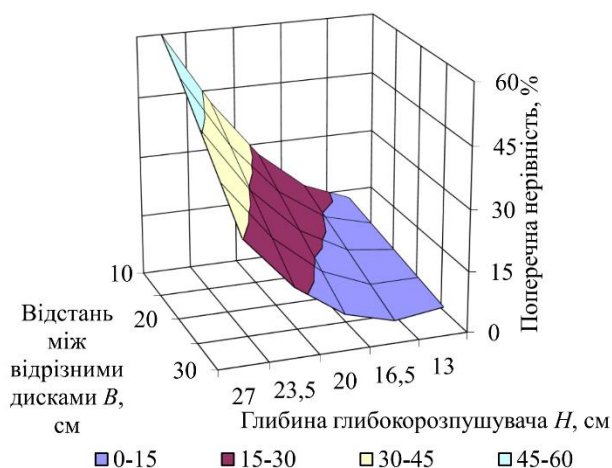


Рисунок 3.9 – Залежність поперечної нерівності від глибини обробітку глибокорозпушувачем H та відстані між відрізними дисками B при швидкості руху агрегату $V=7,5$ км/год

При відстані між відрізними дисками $B=20$ см (рис. 3.10) на швидкостях руху агрегату V від 4 до 11 км/год із збільшенням глибини обробітку глибокорозпушувачем H поперечна нерівність збільшується, тобто лише глибина обробітку глибокорозпушувачем H впливає на значення поперечної нерівності. Залежність поперечної нерівності від зміни відстані між відрізними дисками B є спадаючою прямою. При відстані між відрізними дисками $B=25-30$ см значення знаходяться у заданих межах 15 %. Значення поперечної нерівності при швидкості руху $V=4$ км/год спочатку менше порівняно з $V=11$ км/год, але після проходження

позначки відстані між відрізними дисками $B=20$ см збільшується. Дані дослідження показують, що оптимальне значення відстані між відрізними дисками B знаходиться в межах 25-30 см.

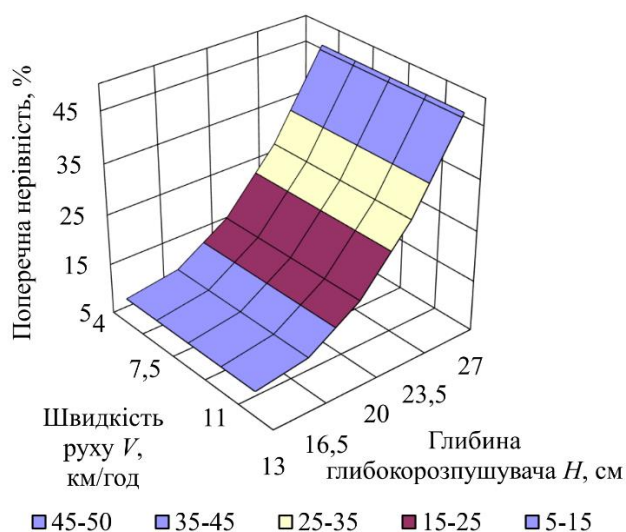


Рисунок 3.10 – Залежність поперечної нерівності від швидкості руху V та глибини обробітку глибокорозпушувачем H при відстані між відрізними дисками $B=20$ см

При відстані між відрізними дисками B від 20 до 30 см оптимальною швидкістю руху V є діапазон від 7,5 до 11 км/год (рис. 3.11) тому, що при одночасному збільшенні швидкості руху V та відстані між відрізними дисками B значення поперечної нерівності зменшується.

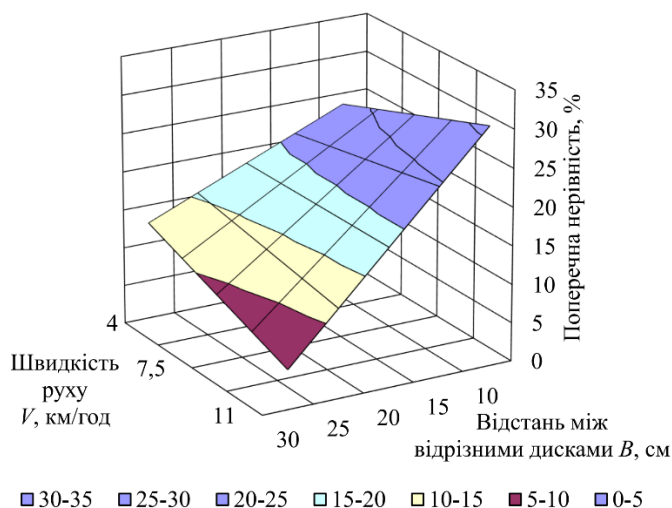


Рисунок 3.11 – Залежність поперечної нерівності від відстані між відрізними дисками B та швидкості руху агрегату V при глибині обробітку глибокорозпушувачем $H=20$ см

Отже, при зміні швидкості руху V та відстані між відрізними дисками $B=20$ см поперечна нерівність не залежить від зміни швидкості V і має значення 18 %, що є більше заданих меж. При відстані між відрізними дисками $B=10$ см поперечна нерівність постійно збільшується при збільшенні швидкості руху V і пояснюється тим, що вивільнена маса ґрунту, зустрічаючись з дисками, не встигає змінити напрямок руху і відбувається процес волочіння маси ґрунту, утворюючи канаву або насип. При відстані між відрізними дисками $B=30$ см поперечна нерівність знаходиться в заданих межах і при збільшенні швидкості руху V постійно зменшується. При $V=11$ км/год поперечна нерівність досягає мінімального значення.

Відстань між відрізними дисками $B=30$ см дозволяє якісно виконувати поставлену задачу: відрізати ґрунт від необробленої частини стерні, подрібнювати його та спрямовувати до центру обробленої смуги, загортаючи утворену глибокорозпушувачем борозну.

Графіки грудкуватості (рис. 3.12) при швидкості руху $V=7,5$ км/год показують, що значення спочатку спадають до глибини обробітку глибокорозпушувачем $H=16-20$ см, а потім із збільшенням глибини обробітку H рівномірно збільшуються [5]. Найменші показники грудкуватості спостерігаються при відстані між відрізними дисками $B=20$ см. Лінія $B=10$ см відстані між відрізними дисками повністю виходять за задані межі 10 % і є не придатною до використання.

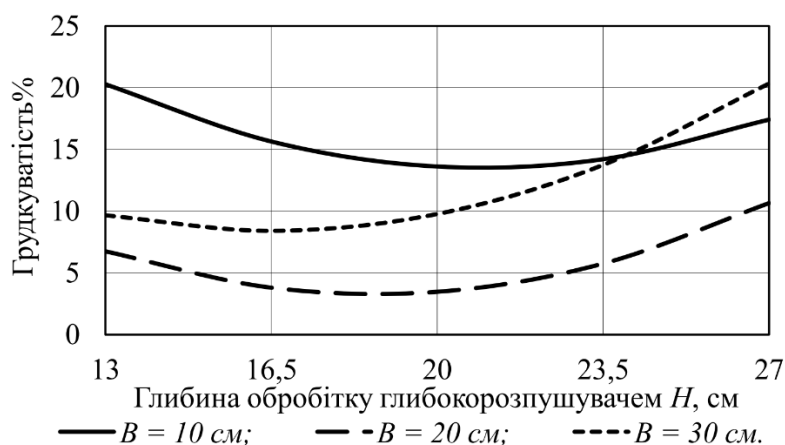


Рисунок 3.12 – Залежність грудкуватості від глибини обробітку глибокорозпушувачем H при швидкості руху агрегату $V=7,5$ км/год

Графіки залежності грудкуватості (рис. 3.13) при швидкості руху агрегату $V=7,5$ км/год зменшуються із збільшенням відстані між відрізними дисками до $B=20$ см, а потім плавно збільшуються. При глибині обробітку глибокорозпушувачем $H=27$ значення грудкуватості виходить за межі 10 %, а при збільшенні відстані між дисками до $B=30$ см взагалі доходить до позначки 20 %.

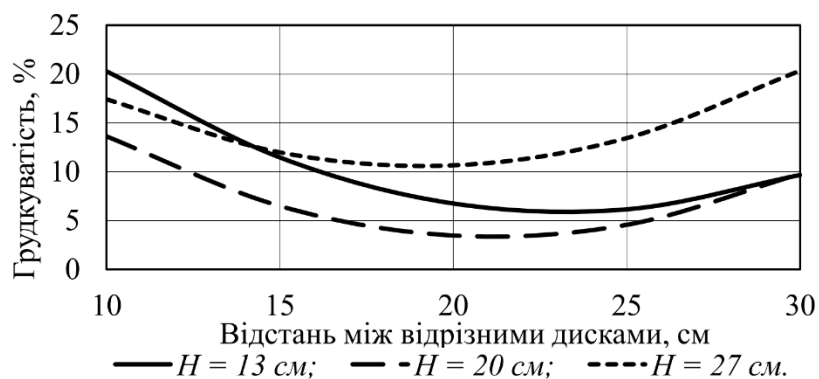


Рисунок 3.13 – Залежність грудкуватості від відстані між відрізними дисками B при швидкості руху агрегату $V=7,5$ км/год

Графік (рис. 3.14) показує, що при швидкості руху $V=7,5$ км/год найменша грудкуватість забезпечується глибиною обробітку глибокорозпушувачем $H=16-20$ см та відстанню між відрізними дисками $B=20$ см. Візуально оглянувши стан смуг, оброблених на глибину обробітку глибокорозпушувачем $H=27$ см із відстанню між відрізними дисками B 20 та 30 см, можна зробити висновок, що якість обробітку при даних параметрах краща в порівнянні з глибиною обробітку долотом $H=20$ см, а на кількість грудок у цілому впливає твердість та щільність ґрунту, сформована роками при використанні плугів на глибину до 25 см та дискових борін на глибину 18 см. Прямі залежності грудкуватості від швидкості руху V показують різний результат для різної глибини обробітку глибокорозпушувачем H . При $H=20$ см і збільшенні швидкості руху V грудкуватість не змінюється, що вказує на рівномірність складу ґрунту в шарі до 20 см, який оброблявся важкою дисковою бороною. При глибині обробітку $H=13$ см значення спадають, але це характеризується тим, що на цій глибині із збільшенням швидкості руху ґрунт не встигає обробитися, просто прорізується канавка в середині смуги. При глибині обробітку глибокорозпушувачем $H=27$ см значення характеризуються збільшенням грудкуватості при збільшенні швидкості руху V , що пояснюється збільшенням

кількості та початкової швидкості ґрунту, що вивільняється, а відрізнi диски, встановлені на відстані 20 см, формують «коридор» який спрямовує грудки, не руйнуючи їх.

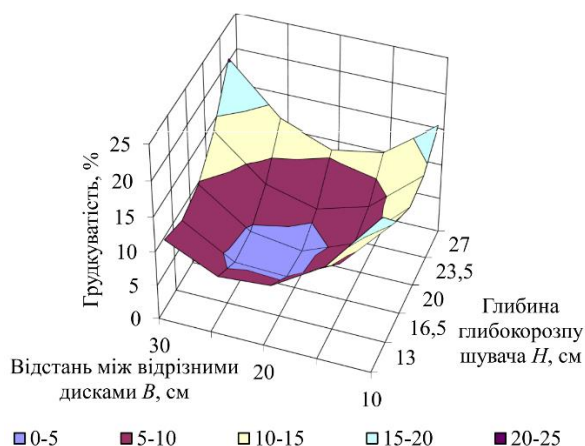


Рисунок 3.14 – Залежність грудкуватості від глибини глибокорозпушувача H та відстані між відрізними дисками B при швидкості руху агрегату $V=7,5$ км/год

Залежність грудкуватості спочатку зменшується до глибини обробітку глибокорозпушувачем $H=18-20$ см, тобто до глибини залягання «плужної підшви», сформованої дисковою бороною, а потім збільшуються майже однаково на різних швидкостях. При $V=11$ км/год та збільшенням глибини обробітку глибокорозпушувачем до $H=25$ см значення грудкуватості виходить за встановлені межі 10 %, і зменшує можливість смугового обробітку на швидкості $V=11$ км/год. Графік (рис. 3.15) показує, що із збільшенням глибини обробітку глибокорозпушувачем H та швидкості руху V при відстані між відрізними дисками $B=20$ см суттєво збільшується грудкуватість.

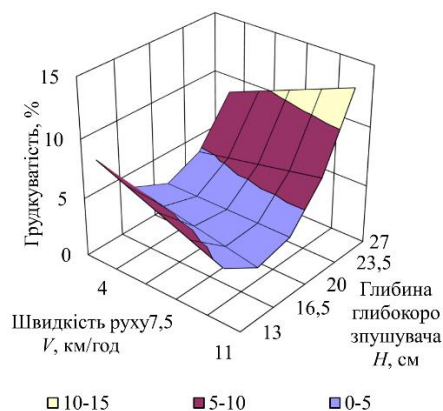


Рисунок 3.15 – Залежність грудкуватості від швидкості руху агрегату V та глибини глибокорозпушувача H при відстані між відрізними дисками $B=20$ см

При швидкості руху $V=4$ км/год значення відстані між відрізними дисками B буде в межах 15-20 см (рис. 3.16). При $V=7,5$ км/год значення грудкуватості майже повністю входить у задані межі 10 %, і відповідає оптимальності даної швидкості для виконання смугового обробітку ґрунту. При $V=11$ км/год зменшується грудкуватість при збільшенні відстані між відрізними дисками B . Значення при відстані між відрізними дисками $B=10$ см виходить за встановлені межі 10 % грудкуватості і є неможливою для використання при смуговому обробітку ґрунту. Із збільшенням швидкості руху V відповідно повинна збільшуватись відстань між відрізними дисками B .

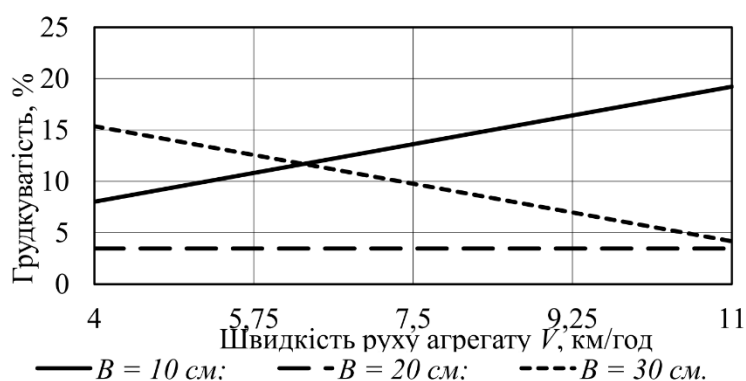


Рисунок 3.16 – Залежність грудкуватості від швидкості руху агрегату V при глибині обробітку глибокорозпушувачем $H=20$ см

Графік (рис. 3.17) показує, що під час смугового обробітку із збільшенням швидкості руху V збільшується початкова швидкість вивільненого на поверхню ґрунту, який рухається до відрізних дисків, при зіткненні з якими руйнується з більшою силою. Відстань між відрізними дисками B є впливовим фактором, який регулює силу зіткнення ґрунту з диском і впливає на якість обробітку. Ґрунт у стані вільного польоту з певною початковою швидкістю повинен встигнути досягти максимальної ударної сили. Ми бачимо, що при відстані між відрізними дисками $B=10$ см грудкуватість збільшується, тобто при даній відстані ґрунт не встигає досягнути максимальної швидкості, і при зіткненні з відрізним диском не руйнується, а просто по дотичній змінює напрямок свого руху. При збільшенні відстані між відрізними дисками більше $B=25$ см грудкуватість починає знову збільшуватись, що пояснюється зменшенням швидкості польоту ґрунту і зменшенням його кінетичної енергії при зіткненні з диском.

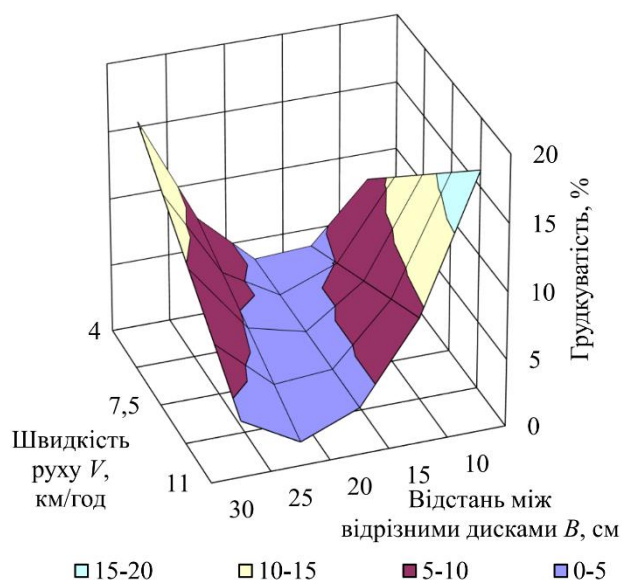


Рисунок 3.17 – Залежність грудкуватості від відстані між відрізними дисками B та швидкістю руху агрегату V при глибині обробітку глибокорозпушувачем $H=20$ см

Графік (рис. 3.18) показує, що при однаковій швидкості руху V витрата палива прямо залежить від глибини обробітку глибокорозпушувачем H та зменшується при збільшенні відстані між відрізними дисками до $B=30$ см. При відстані між відрізними дисками $B=10$ см витрата палива найбільша тому, що такої відстані недостатньо для проходження ґрунту між дисками. Ґрунт забивається між дисками, і вони починають просто сунутися смужкою, збільшуючи загальний опір секції агрегату для смугового обробітку ґрунту.

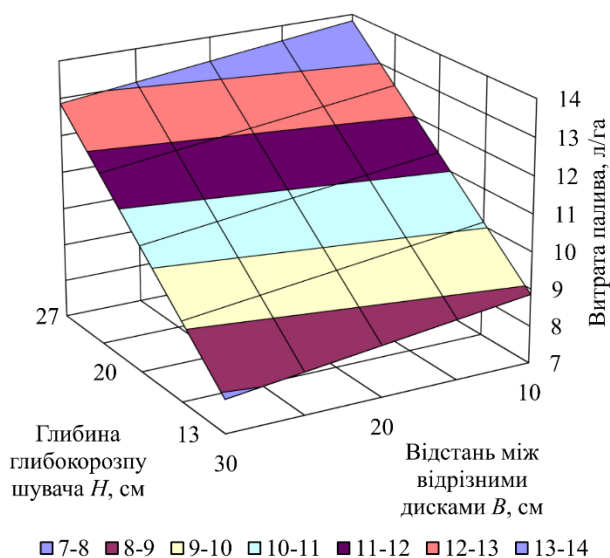


Рисунок 3.18 – Залежність витрати палива від глибини обробітку глибокорозпушувачем H та відстані між відрізними дисками B при швидкості руху агрегата $V=7,5$ км/год

Графік (рис. 3.19) показує, що витрата палива прямолінійно збільшується при збільшенні глибини обробітку глибокорозпушувачем H , яка безпосередньо впливає на збільшення опору руху секції агрегата для смугового обробітку ґрунту. Аналізуючи дані дослідження, можемо відзначити, що при збільшенні швидкості руху до $V=9$ км/год витрата палива зменшується, а потім знову починає збільшуватись, тобто минається оптимума кількості обертів двигуна та тяговим опором секції агрегата для смугового обробітку ґрунту. При швидкості руху $V=11$ км/год частина ґрунту отримує більше початкове прискорення і відповідно з більшою силою ударяється об відрізний диск, створюючи додаткові напруження і гальмуючи його обертання. При зменшенні кутової швидкості обертання маса ґрунту не встигає відлітати від диска і накопичується на ньому. Отже, оптимальною швидкістю руху агрегату V можна вважати інтервал від 7,5 до 9,5 км/год.

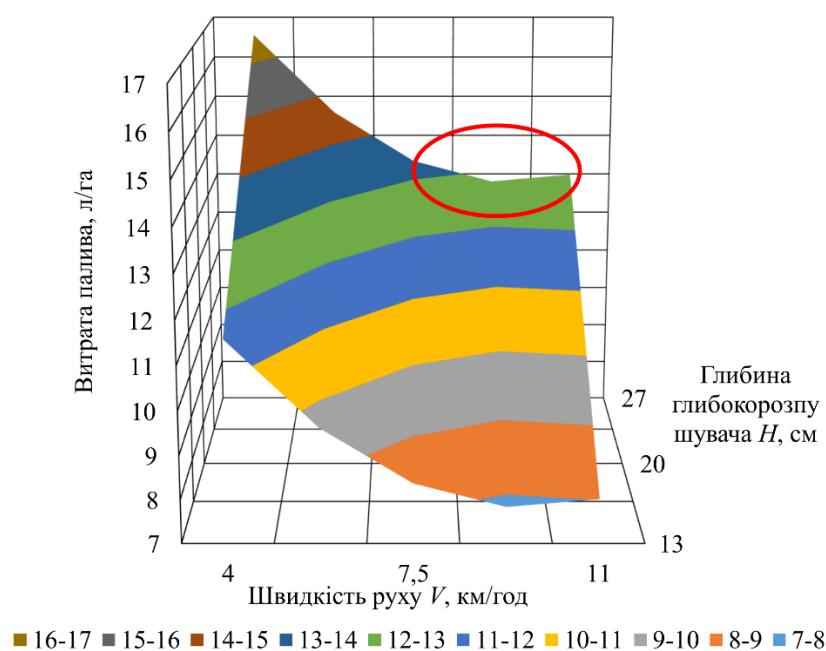


Рисунок 3.19 – Залежність витрати палива від швидкості руху агрегата V та глибини обробітку глибокорозпушувачем H при відстані між відрізними дисками $B=20$ см

При швидкості руху агрегату $V=4$ км/год (рис. 3.20) витрата палива висока, тобто відповідно тяговій характеристиці трактора двигун не довантажений і паливо витрачається на переміщення і витрати в трансмісії. При відстані між відрізними дисками $B=30$ см зменшується значення опору ґрунту в порівнянні з відстанню між відрізними дисками $B=10$ см. При швидкості руху $V=11$ км/год та відстані між

відрізними дисками $B=10$ см ґрунт забивається між дисками, формуючи суцільну площину з глибокорозпушувачем, в результаті верхня частина стійки глибокорозпушувача стає товщиною 10 см, замість спроектованої трьох см. Потужності трактора МТЗ-892 вистачає, щоб не відчувати такої зміни, тому «пролітає» полем, залишаючи після себе широку глибоку борозну. Збільшення відстані між відрізними дисками B до 30 см при швидкості $V=11$ км/год зумовлює правильне спрацювання робочих органів і підвищує якість обробітку смуги.

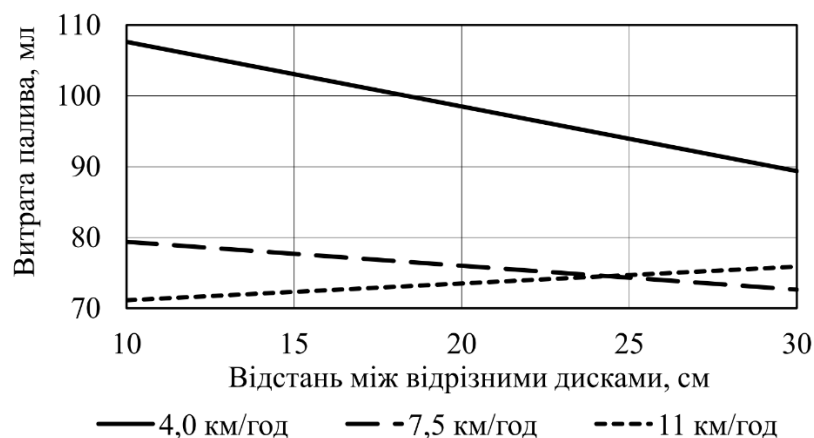


Рисунок 3.20 – Залежність витрати палива від відстані між відрізними дисками B при глибині обробітку глибокорозпушувачем $H=20$ см

Графік (рис. 3.21) характеризує зменшення витрати палива при збільшенні швидкості руху до $V=9,5$ км/год, а потім знову збільшення. Найменше значення витрати палива спостерігається в інтервалі швидкості руху $V=7,5-9,5$ км/год при відстані між відрізними дисками $B=30$ см.

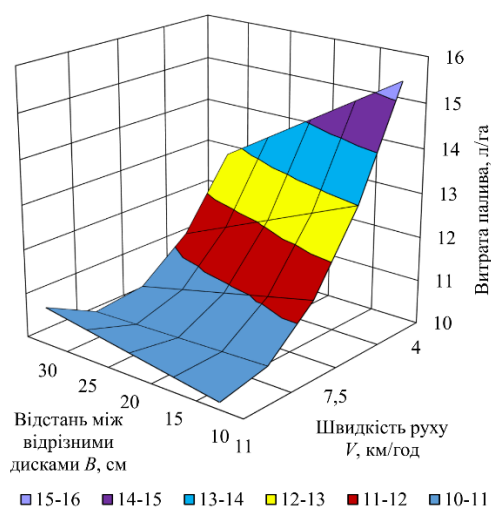


Рисунок 3.21 – Залежність витрати палива від відстані між відрізними дисками B та швидкістю руху V при глибині обробітку глибокорозпушувачем $H=20$ см

Графік залежності узагальненого показника, який враховує, як витрати палива, так і якісні показники обробітку ґрунту (рис. 3.22), показує, що із врахуванням енергетичних та якісних показників із збільшенням глибини обробітку глибокорозпушувачем H оптимальне значення відстані між відрізними дисками становить $B=25-30$ см.

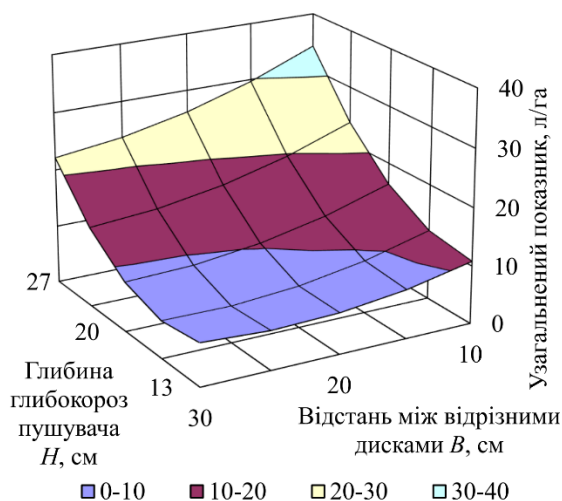


Рисунок 3.22 – Залежність значення узагальненого показника від глибини обробітку глибокорозпушувачем H та відстані між відрізними дисками B при швидкості руху агрегату $V=7,5$ км/год

Аналізуючи графіки (рис. 3.23), бачимо, що значення узагальненого показника рівномірно збільшується із збільшенням глибини обробітку глибокорозпушувачем H із незначними відхиленнями на різних швидкостях V , оскільки для трактора МТЗ-892 при швидкості руху $V=4$ км/год витрата палива буде більшою, ніж при $V=11$ км/год, навіть при холостому русі без здійснення обробітку ґрунту.

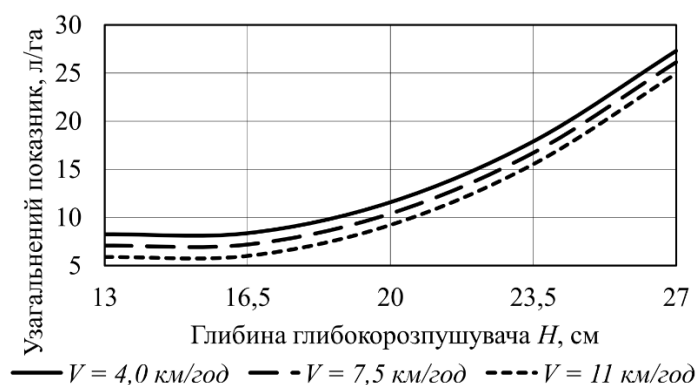


Рисунок 3.23 – Залежність значення узагальненого показника від глибини обробітку глибокорозпушувачем H при відстані між відрізними дисками $B=20$ см

Графік (рис. 3.24) показує, що найменші значення узагальненого показника при відстані між відрізними дисками $B=25-30$ см та швидкості руху $V=11$ км/год. Зазначимо, що графіки залежності витрати палива при цих дослідженнях показали оптимальний діапазон швидкості руху агрегату $V=8-9,5$ км/год.

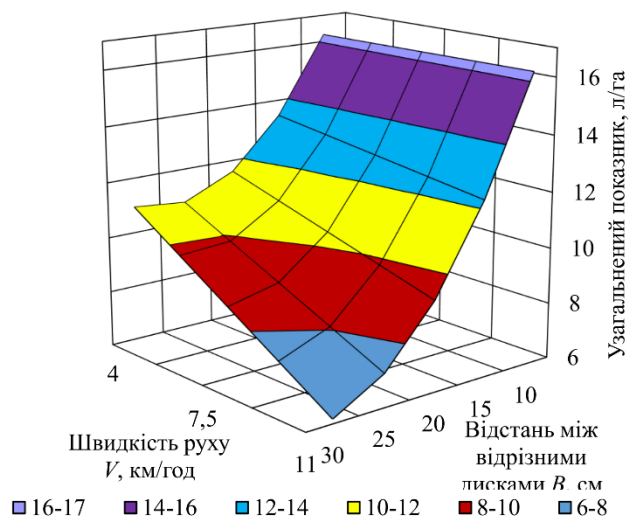


Рисунок 3.24 – Залежність узагальненого показника від відстані між відрізними дисками B та швидкості руху агрегату V при глибині обробітку глибокорозпушувачем $H=20$ см

Висновки по розділу.

В даному розділі наведено схему експериментального ґрунтообробного агрегату та визначено методику проведення досліджень.

Результати проведених досліджень щодо впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем, відстані між відрізними дисками та швидкості руху агрегату на якісні та енергетичні показники роботи агрегату, показують, що для руйнування плужної підшви, сформованої при використанні плугів та дискових борін, необхідно встановлювати глибину обробітку глибокорозпушувачем $H=27$ см при швидкості руху $V=8-9,5$ км/год. Оптимальна відстань між відрізними дисками B становить 25-30 см, що дозволяє забезпечувати дотримання заданих агротехнічних вимог (поперечна нерівність не більше 15 %, грудкуватість до 10 %).

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Організація і заходи з охорони праці в господарстві.

Основною задачею заходів і засобів по охороні праці в сільському господарстві є створення для працівників здорових і безпечних умов праці, попередження та профілактика виникнення професійних захворювань, нещасних випадків і аварій, пов'язаних з виробничими процесами сільському господарстві, тобто захист працюючих від впливу шкідливих і небезпечних факторів – фізичних, хімічних, біологічних та психофізіологічних. При цьому сільськогосподарське виробництво характеризується цілим рядом структурних, організаційних, технологічних особливостей, що впливають на рівень виробничих ризиків і роблять цю галузь однією з найбільш травмонебезпечних.

Тому, територіальний орган Державної служби України з питань праці націлює роботодавців галузі на створення здорових і безпечних умов праці працівників.

Згідно зі ст. 13 Закону України «Про охорону праці» – «Управління охороною праці та обов'язки роботодавця», роботодавець зобов'язаний створити на робочих місцях у кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до вимог нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці [9].

Необхідно забезпечити та організувати на підприємствах проведення попереднього та періодичного медичних оглядів працівників, зайнятих на важких роботах, роботах із шкідливими чи небезпечними умовами праці.

При безпосередньому проходженні кампанії на підприємствах сфери АПК має належним чином експлуатуватися техніка.

Незалежно від обсягу виробництва та кількості працюючих господар повинен усвідомлювати необхідність створення безпечних та здорових умов праці для попередження виробничого травматизму та професійних захворювань в порядку встановленому чинним законодавством.

4.2. Моделювання виробничих небезпек при роботі з ґрунтообробним агрегатом.

Працівники фермерських господарств з мінімальною кількістю сільськогосподарської техніки та устаткування виконують весь цикл технологічних робіт у сільському господарстві – обробіток ґрунту, посів, догляд за посівами, поводження з агрохімікатами та пестицидами, збір врожаю, вантажно-розвантажувальні роботи, заготівля кормів. Часто один працівник суміщає декілька професій та спеціальностей, наприклад: механізатор, слюсар, зварник тощо. Обсяг робіт, що виконуються та сезонний характер спонукають голову фермерського господарства до мінімізації затрат на утримання найманих працівників.

Проте, виробнича необхідність, пов'язана із залученням до робіт невідповідного персоналу, часто призводить до нещасних випадків на виробництві. Так, аналіз виробничого травматизму у галузі сільського господарства області свідчить про наявність великої кількості нещасних випадків на малих підприємствах.

Експлуатація сільськогосподарських машин має здійснюватися з урахуванням вимог експлуатаційної документації, щоб уникнути виробничого травматизму:

- вузли та елементи сільськогосподарських машин, що рухаються, обертаються та можуть становити небезпеку, мають бути огорожені захисними кожухами, які забезпечують безпеку працівників;

- не дозволяється експлуатація несправних машин та обладнання, експлуатація сільськогосподарських тракторів без електростартерного запуску двигуна та з відсутньою або несправною системою блокування запуску двигуна за ввімкнутої передачі;

- перед виконанням робіт працівники мають переконатися, що дроти повітряних ліній електропередач техніка, яка проїжджає під ними, зачіпати не буде;

- під час проїзду техніки потрібно дотримуватися безпечної дистанції;

- під час руху агрегату не допускається одночасне обслуговування одним працівником двох і більше машин.

- заміну, очищення і регулювання робочих органів навісних машин і знарядь, які підняті, потрібно проводити тільки спеціальними чистками в рукавицях із зупиненим, загальмованим агрегатом та вимкнутим двигуном і вжиттям заходів, що запобігають їх самовільному опусканню;

- працівникам заборонено підніматися або спускатися з машин під час їх руху.

Логічна схема уникнення травматизму при експлуатації ґрунтообробних машин має вигляд [11]:

$$НУ — НД — НС — (А;Т)$$

У процесі роботи були забиті робочі органи машини (НУ), робітник намагається усунути недолік при працюючій машині (НД), це призводить до захоплення руки (НС) та травмуванню (Т) робітника.

Висновки по розділу.

В розділі охорони праці наведені заходи з охорони праці у фермерських господарствах та наведено вимоги до працівників при виконанні сільськогосподарських робіт, а також показано логічну схему уникнення травматизму при експлуатації ґрунтообробних машин.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СЕКЦІЇ АГРЕГАТУ ДЛЯ СМУГОВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Оцінка економічної ефективності запропонованої секції агрегату для смугового обробітку ґрунту проведена за результатами експлуатаційно-технологічного дослідження їх параметрів згідно з ГОСТ 24055-88, ГОСТ 24057-88, ГОСТ 24059-88 та ДСТУ 4397: 2005 та чинними нормативними документами, що відображають надійність машин, якість їх роботи, безпечність та умови праці [10].

Прототипом для порівняння обрано агрегат для смугового обробітку ґрунту 1tRIPr компанії OrthMan [16]. Параметри прототипу: глибина обробітку глибокорозпушувача $H=27$ см, відстань від осі переднього диска до глибокорозпушувача $L=50$ см, відстань від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків $C=50$ см, відстань між відрізними дисками $B=30$ см, заглиблення відрізних дисків $h=16$ см. Розрахункова витрата палива становить 10 л/га.

Критерієм оптимізації секції агрегату для смугового обробітку ґрунту є фактична витрата палива на гектар з врахуванням узагальненого показника якості, який при більших значеннях характеризує обробіток смуги як незадовільний і потребує додаткових операцій обробітку ґрунту і з додатковою витратою палива.

Для розрахунку критерію оптимізації приймаємо оптимально досліджені параметри секції агрегату для смугового обробітку ґрунту при глибині обробітку глибокорозпушувача $H=27$ см, відстань від осі переднього диска до глибокорозпушувача $L=55$ см, відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків $C=38$ см, відстанню між відрізними дисками $B=30$ см, заглиблення відрізних дисків $h=16$ см.

Годинна витрата палива на виконання смугового обробітку при глибині обробітку глибокорозпушувачем $H=27$ см становить 19 л/год, що при швидкості 9 км/год і ширині міжрядь 70 см становить 7,8 л/га. Різниця між прототипом і пропонуваним варіантом при виконанні смугового обробітку становить 2,2 л/га, що

при оптовій вартості ДП 54 грн/л, на 41,8 грн/га рентабельніше. За умови однакової вартості секції агрегату для смугового обробітку ґрунту 41800 грн. при прогнозованому завантаженні агрегату для смугового обробітку ґрунту 1 тис. га/рік, за рахунок зменшення витрати палива термін окупності однієї секції буде становити 1 рік у порівнянні з базовим варіантом. Економічні показники використання секції агрегату для смугового обробітку ґрунту з дослідженими параметрами взаємного розміщення робочих органів приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Економічні показники використання секції агрегату
для смугового обробітку ґрунту

Параметр	Базовий варіант	Пропонований варіант
Швидкість руху машино-тракторного агрегату V , км/год	8-9,5	
Глибина обробітку глибокорозпушувачем H , см	27	
Відстань від глибокорозпушувача до осі переднього диска L , см	50	55
Відстань між відрізними дисками B , см	30	
Відстань від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків C , см	50	38
Заглиблення відрізних дисків, h , см	16	
Фактична витрата палива, л/га	10	7,8
Вартість секції, грн	41 800	41 800

Для порівняння ефективності використання технології смугового обробітку із традиційною технологією з використанням відповідного набору машин (табл. 5.2), що використовуються в господарстві із затвердженими нормами витрати палива та оплати праці [14].

Основна технологія: розкидання добрив МТЗ-82+МВУ-5, оранка Т-40+ПЛН-2-35, передпосівна культивация МТЗ-82+КПС-4. Для виконання технології смугового обробітку: нарізання смуг Т-40 + секція агрегату для смугового обробітку, внесення добрив в смуги МТЗ-82 + КРН-4,2.

Таблиця 5.2 – Визначення економічної ефективності використання технології
смугового обробітку ґрунту

Економічний показник	Основна технологія	Технологія смугового обробітку
Витрати на оплату праці, грн/га	28	22
Витрати на ПММ (при вартості ДП 19 грн/л), грн/га	293,26	204,4
Сумарні витрати, грн/га	321,26	226,4
Різниця витрат, грн/га	94,86	
Урожайність кукурудзи на зерно, ц/га	83,2	86,6
Різниця урожайності, ц/га	3,4	
Додатковий прибуток (при вартості кукурудзи 3850 грн/т), грн/га	1309	
Додаткова економічна ефективність, грн/га	1403,86	

Приведені витрати на виконання основного та передпосівного обробітку ґрунту та внесення добрив без врахування амортизаційних відрахувань та відрахувань на технічне обслуговування. Технологічні операції посіву, догляду за посівами та збирання були однаковими для традиційної та пропонованої технології.

Дослідженнями, отримано додаткову економічну ефективність 1403,86 грн/га від використання технології смугового обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно, у порівнянні з типовою технологією (оранкою).

Таким чином, при прогнозованому завантаженні агрегату для смугового обробітку ґрунту 1 тис. га/рік, термін окупності однієї секції буде становити 1 рік, у порівнянні з базовим варіантом.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломній роботі наведено дослідження щодо підвищення ефективності застосування агрегатів для смугового обробітку ґрунту шляхом обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів взаємного розміщення робочих органів на секції.

1. Технологія смугового обробітку застосовується при вирощуванні польових культур і з часом може стати основною технологією обробітку ґрунту для культур широкорядного та здвоєного посіву. Проаналізувавши тенденції розвитку агрегатів для смугового обробітку ґрунту, було розроблено узагальнену схему компоновки секції агрегату для смугового обробітку ґрунту, визначено типи, роль і конструкційні параметри складових робочих органів, а також, на основі існуючих вимог до передпосівного обробітку ґрунту, запропоновано агротехнічні вимоги до роботи агрегатів для смугового обробітку ґрунту.

2. Для умов роботи секції агрегату для смугового обробітку та на основі використання раціональної формули В.П. Горячікіна із уточненим значенням сили тертя отримано залежність для визначення тягового опору агрегату для смугового обробітку ґрунту та витрат палива в залежності від глибини обробітку ґрунту глибокорозпушувачем, а також заглиблення переднього та відрізних дисків.

3. Експериментально встановлено залежності, які пов'язують глибину обробітку ґрунту глибокорозпушувачем, відстань від глибокорозпушувача до осі переднього диска, відстань між відрізними дисками, відстань від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків та заглиблення відрізних дисків агрегату для смугового обробітку ґрунту з показниками поперечної нерівності й грудкуватості обробленої смужки ґрунту, а також витратами палива агрегатом для смугового обробітку ґрунту. Дослідження впливу на агротехнічні показники якості обробітку ґрунту параметрів взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту при трьох швидкостях руху машино-тракторного агрегату V , км/год ($V_1=4$ км/год, $V_2=7,5$ км/год, $V_3=11$ км/год), відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска $L=50$ см, відстані від

глибокорозпушувача до осі відрізних дисків $C=38\text{см}$ показали, що заглиблення відрізних дисків повинно становити $h=16\text{см}$. Дослідження впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем H , відстані між відрізними дисками B та швидкості руху агрегату, V на якісно-енергетичні показники обробленої смуги які показали, що для руйнування плужної підшви сформованої при використанні плугів та дискових борін, необхідно встановлювати глибину глибокорозпушувача $H=20-27\text{см}$ при швидкості руху агрегату $V=8-9,5\text{км/год}$ та відстані між відрізними дисками $B=25-35\text{см}$.

4. Економічна ефективність використання агрегату для смугового обробітку ґрунту показала, що розроблений агрегат забезпечує зменшення витрат палива на $2,2\text{ л/га}$, що у перерахунку на грошові кошти становить $41,8\text{ грн/га}$, у порівнянні із базовим варіантом. При прогнозованому завантаженні агрегату для смугового обробітку ґрунту 1 тис. га/рік , термін окупності однієї секції буде становити 1 рік у порівнянні з базовим варіантом, за умови однакової вартості секції агрегату для смугового обробітку ґрунту 41800 грн . Дослідженнями, отримано додаткову економічну ефективність $1403,86\text{ грн/га}$ від використання технології смугового обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно у порівнянні з типовою технологією (оранкою).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Василенко П.М. Елементи математичної обробки результатів експериментальних досліджень. Київ, 1978. 57 с.
2. Гаврилов С. Проблема плужної підшви у ґрунті та шляхи її вирішення. Пропозиція. 2015. № 10 (243). С. 60–73.
3. Герман Вілфрід. Особливості застосування та переваги технології Strip Till. Агроном. 2011. № 4 (50). С. 70–73.
4. 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.
5. 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 сільського господарства України. 2020. Вип. 27 (41). С. 89–98.
6. 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.
7. 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.
8. Горячкін В.П. Зібрання творів: у 3-х томах. 2-ге ред./ за ред. М.Д. Лучинського. Київ : Колос. 1988.
9. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII - zakon . rada URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>.

10. ДСТУ 4397:2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробовування. [Чинний від 2005–04–28]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 16 с.

11. Коробко О.В., Троян Ю.І. Методичні вказівки до практичної роботи. Моделювання процесів формування та виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій на виробництві. Запоріжжя : ЗНТУ, 2011. 18 с.

12. Кравчук В., Баранов Г., Комісаренко О. Ергатичне випробування у просторі та часі комплексних техніко-технологічних рішень керованого землеробства. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наук. пр. УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. 2018. Вип. № 23 (37). С. 14–27.

13. Мельников С.В. Планування експерименту у дослідженнях сільськогосподарських процесів. Київ : Колос, 1980. 168 с.

14. Типові норми продуктивності і витрат палива на передпосівному обробітку ґрунту. Вітвіцький В.В., Лобастов І.В., Кислеченко М.Ф та ін. К.: «Укагропромпродуктивність». 2005. 672 с.

15. Шустік Л., Громадська В., Мариніна Л., Негуляєва Н., Супрун В. Шляхи реалізації технології смугового обробітку ґрунту в малих і середніх господарствах. Техніка і технологія. 2017. № 11 (98). С. 16–21.

16. 1tRIPr OrthMan Agricultural. Operator's Manual. 125-000-01. 78 p.

17. Cárcer P., Sinaj S., Fossati D. 2019. Long-term effects of crop succession, soil tillage and climate on wheat yield and soil Soil and Tillage Research. T. 190. P. 209–219.

18. Dinku M. Endale, Thomas L. Potter, Timothy C. Strickland, David D. Bosch. 2017. Sediment-bound total organic carbon and total organic nitrogen losses from conventional and strip tillage cropping systems. Soil and Tillage Research. T. 171. P. 25–34.

19. Adee, Eric; Hansel, Fernando D. Corn Response as Affected by Planting Distance from the Center of Strip Till Fertilized Rows. Frontiers in plant science. Vol.: 7. №: 1232. 18.08. 2016.

20. Kudrynetskyi R., Dnes V., Skibchyk V. Methodical Principles of Modeling of Subject-Agrometeorological Events in Technological Processes Growing of Grain Crops. 2018. TEKA. Quarterly journal of agri-food industry. 2018. Vol. 18. No. 3, 129-139.

21. Europe: A MZURI Pro-Till Hybrid Machine. Case Study. Agronomy 2020, 10, 925; doi:10.3390/agronomy10070925. P.2-18.