

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)

(підпис) А.В. Войтік
(ініціали, прізвище)

ДИПЛОМНА РОБОТА

магістр

(освітній рівень)

тема роботи «ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ
РОБОТИ РОЗПУШУВАЧА ҐРУНТУ»

Виконав: студент 2 курсу, групи 22м-ім
освітньої програми магістр
спеціальності 208
«Агроінженерія»
Порхун І.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доцент Лісовий І.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

А.В. Войтік

“ _____ ” _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

студенту _____ Порхуну Івану Миколайовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Обґрунтування параметрів та дослідження роботи розпушувача ґрунту» _____

керівник роботи _____ Лісовий І.О., к.т.н., доцент _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“14” листопада 20 23 р. № 01-06/261

2. Строк подання студентом роботи _____ 20.11.2024 р. _____

3. Вихідні дані до роботи: навчальна, наукова та періодична література за темою роботи; _____

4. Перелік питань, які потрібно розробити: Вступ; Розділ 1. Стан питання мета та задачі досліджень; Розділ 2 Аналітичні передумови дослідження процесу збирання насіння люцерни методом обчисування; Розділ 3. Експериментальні дослідження; Розділ 4. Охорона праці; Загальні висновки. _____

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: _____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		
Техніко-економічне обґрунтування	Лісовий І.О., доцент		

7. Дата видачі завдання 18 квітня 2024 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка

Студент_____
(підпис)Порхун І.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи_____
(підпис)Лісовий І.О.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ	7
1.1 Аналіз існуючих видів глибокого розпушення ґрунту	7
1.2 Визначення напрямків покращення ефективності розпушення ґрунту існуючими робочими органами	11
1.3 Висновки до розділу	16
1.4 Задачі досліджень	16
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОЧОГО ОРГАНА ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧА	17
2.1. Дослідження геометрії та кінематики руху точок ґрунтової скиби	17
2.2 Обґрунтування радіуса кінцевої кривизни поверхні	23
2.3 Визначення ширини поверхні	25
2.4 Обґрунтування довжини ґрунторозпушувальної поверхні	27
Висновки до розділу	32
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	33
3.1 Ґрунтовий канал з динамометричним візком	33
3.2 Тракторний агрегат для польових випробувань	36
Висновки до розділу	37
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	38
4.1 Характеристика і аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які можуть виникнути під час роботи та обслуговування розпушувача ґрунту	38
4.2 Розробка організаційно-технічних заходів по забезпеченню нормальних санітарно-гігієнічних умов праці під час роботи та обслуговування розпушувача ґрунту	39
4.3 Моделювання небезпечних ситуацій під час роботи та обслуговування розпушувача ґрунту	40
Висновки до розділу	41
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	42
Висновки до розділу	44
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	46
ДОДАТКИ	55

РЕФЕРАТ

Порхун І.М. «Обґрунтування параметрів та дослідження роботи розпушувача ґрунту». (Магістерська робота. Умань, Уманський національний університет садівництва, 2024: пояснювальна записка на 55 сторінках, 21 рисунка, графічна частина підготовлено ілюстративний матеріал у вигляді презентації 12 слайдів як додаток до доповіді за темою магістерської роботи)

Робота присвячена вирішенню задачі підвищення ефективності глибокого розпушення ґрунту шляхом створення нового ярусного робочого органа глибокорозпушувача з обґрунтуванням його конструктивно-технологічних параметрів на основі врахування фізико-механічних характеристик ґрунту в орному та підорних шарах.

Запропоновано організацію безпечних умов праці для роботи з агрегатом.

Техніко-економічні показники підтверджують ефективність отриманих результатів.

Ключові слова: ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧ, КРИШІННЯ, РОЗПУШЕННЯ, МАШИНА, ЕНЕРГОЄМНІСТЬ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, АГРЕГАТИ, ЩІЛЬНОСТІ.

ВСТУП

Актуальність теми. Аналіз стану сільськогосподарських земель Західного Полісся свідчить про наявність значної кількості перезвожених важких ґрунтів з незадовільними водно-фізичними властивостями [1-4]. Це призводить до зниження їх родючості і врожайності вирощуваних культур. Дослідженнями встановлено, що довготривале використання на староорних землях енергонасиченої техніки [5, 6] веде до утворення “підорної підшви” і надмірного ущільнення підорного шару на глибину від 0,4 до 1,2. Наслідком цього є зниження живильних, фільтраційних та протиерозійних властивостей ґрунтів. Для покращення фізичного стану ґрунту в умовах надлишкового зволоження чи ущільнення раз на три роки проводять глибоке розпушення ґрунту. Воно передбачає розпушення підорного шару ущільненого ґрунту на необхідну глибину, що підвищує ефективність орного родючого шару і покращує фільтраційні властивості підорних шарів. З цією метою застосовують здебільшого глибокорозпушувачі безвідвального типу [7-9]. Мета і задачі досліджень.

Метою роботи є підвищення ефективності глибокого розпушення ґрунту на основі створення нового ярусного робочого органа глибокорозпушувача з обґрунтуванням його конструктивно-технологічних параметрів.

Об’єкт досліджень – процес глибокого ярусного розпушення ґрунту та технічні засоби для його здійснення.

Предмет досліджень – вплив конструктивно-технологічних параметрів робочого органа ярусного глибокорозпушувача на кількісні та якісні показники розпушення ґрунту

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз існуючих видів глибокого розпушення ґрунту

Розпушення (кришіння) ґрунту – розділення прошарку ґрунту, що обробляється, на окремі структурні частини (агрегати), яке супроводжується збільшенням відстаней між ними і, як наслідок, зменшенням об'ємної маси, (щільності) ґрунту [9, 10].

За призначенням розпушення поділяється на три види: будівельне, меліоративне, сільськогосподарське.

Будівельне розпушення є підготовчим заходом і спрямоване на полегшення розробки ґрунту будівельними та дорожніми машинами [11-13]. Меліоративне розпушення проводиться з метою підвищення ефективності використання меліоративних систем за рахунок впливу на коефіцієнт фільтрації ґрунту, умови водовідведення та водоакумулювання [14]. В комплексі меліоративних заходів проводиться глибоке меліоративне розпушення, зокрема, глибоке безвідвальне проорювання, поглиблення орного шару для покращення водопроникності шару ґрунтів потужністю не менше 0,6 м. Розпушення перезволожених ґрунтів застосовують на фоні закритого дренажу в комплексі з плануванням та іншими заходами по організації поверхневого стоку (обладнання водовідвідних колодязів у зниженнях рельєфу та ін.).

Сільськогосподарське розпушення, як основний вид обробітку, направлене на утворення оптимальної структури ґрунту для поліпшення умов збереження та нагромадження вологи, аерації й життєдіяльності мікроорганізмів у ґрунті [15, 16]. Поліпшений водний, повітряний та живильний режими ґрунту забезпечують інтенсивний ріст і розвиток кореневої системи рослин в глибоких шарах ґрунту, що у свою чергу стабілізує структуру за рахунок утворення в підорному шарі органічної речовини.

Заходи механічного обробітку ґрунту класифікуються за технологічним призначенням, за глибиною та способом обробітку (табл. 1.1)

Таблиця 1.1

Заходи сільськогосподарського механічного обробітку ґрунту

Класифікаційні категорії	Технологічні ознаки	Заходи
За технологічним призначенням		
Заходи основного обробітку	Найбільш глибокий обробіток, істотно змінює будову ґрунту	Оранка, чизелювання, плоскорізний обробіток
Заходи поверхневого обробітку	Для передпосівного та післяпосівного обробітку	Лущення, культивація, боронування, шлейфування, коткування, малування
Спеціальні заходи	Надання ґрунту особливих ознак у специфічних умовах	Щілювання, ланкування, підгортання, кротування*, боронування, гребенеутворення, оранка дисковими плугами*, ярусна оранка
За глибиною обробітку		
Поверхневий	до 8 см	Боронування, культивація, лущення, шлейфування, коткування
Мілкий	8-16 см	Лущення, плоскорізне розпушування, фрезерування*
Середній	16-24 см	Оранка, плоскорізне розпушування
Глибокий	понад 24 см	Оранка, чизелювання, щілювання*
Плантажний	40 см	Плантажна оранка*
За способами обробітку		
Полицевий	З обертанням оброблюваного шару	Оранка, лущення лемішними і дисковими луцильниками, фрезування
Безполицевий	Без обертання оброблюваного шару	Плоскорізний обробіток, чизелювання, культивація, боронування, коткування

* - може бути також і меліоративним заходом.

У нашій країні і за кордоном намітилися дві основні тенденції у механізації розпушувальної обробки ґрунту [16-19]: традиційна – із застосуванням відвальних плугів і ґрунтозберігаюча, яка включає дискування,

фрезерування, кротування, щілювання, застосуванням різних безвідвальних знарядь, у тому числі плоскоріжучих, чизельних, а також комбінованих агрегатів.

Розрізняють наступні основні види відвального обробітку (оранки): культурна оранка, з оборотом шару, зі здйманням шару, гладка оранка, ромбічна і ярусна. Відвальний обробіток відрізняється підвищеними енерговитратами і ґрунторуйнуванням, що знижує протиерозійну стійкість ґрунту, викликає необхідність використання пестицидів, які забруднюють навколишнє середовище [20]. На даний час проходить поступовий відхід від традиційної обробки який можна пояснити недостатньою її ефективністю по відношенню до ґрунтозбереження, енерговитрат та показників якості [5, 21, 22]. Ґрунтозберігаючий обробіток, порівняно з традиційним, має менші енерговитрати, дає кращу ерозійну стійкість ґрунтів, але має, на даний час, недостатні якісні показники [23, 24]. До цього часу порядок критеріїв розробки робочих органів визначався як енерговитрати-якість, але інтенсифікація сільського господарства вимагає іншого порядку: якість-енерговитрати [7, 25-27]. Встановлено, що, обробіток ґрунту без обороту створює кращі умови для утворення гумусу та підтримання родючості ґрунтів [28].

На території України переважають ґрунти глинисто-піщаного і супіщаного механічного складу [1, 17, 29-31] із переущільненими нижніми шарами (35...50 см – 1,90...2,00 г/см³). Шар гумусу в багатьох випадках становить лише 10-15 см верхнього шару [35], що говорить про недоцільність використання відвальних знарядь при відсутності інших вагомих причин, особливо при глибокій обробці.

Передумовою успішного вирішення поставлених задач є праці та дослідження багатьох відомих вчених. Вагомий вклад в розв'язання загальних питань землеробської механіки та обробітку ґрунту внесли: В.П.Горячкін, П.М.Василенко, Л.В.Погорілий, В.А.Сакун, В.І.Виноградов, Ю.О.Ветров, А.М.Зеленін, А.С.Кушнарьов, В.С.Козаков, В.О.Дубровін, Д.Д.Прокопенко, І.А.Шевченко та ін. У дослідженнях вище зазначених вчених відображена низка

суттєвих аспектів та висвітлені важливі закономірності процесу розпушення ґрунтів. При глибокому обробітку значної уваги заслуговує, ярусна схема робочих органів. Основні принципи та переваги такої схеми відображені в роботах С.В.Кравця, Є.Д.Томіна, В.І.Баловнева та інших. Нагальним залишається питання якісних показників розпушення ґрунту та їх залежності від форми та параметрів робочих органів, що відображено в працях таких вчених як: Я.С.Гукова, В.І.Корабельського, А.С.Павлоцького, В.І.Вєтохіна, Б.А.Шелудченка, А.Н.Панченка, Б.А.Волика, В.Ф.Ткачука, О.П.Рижого. Однак, до цього часу залишається недослідженим ряд питань, багато з них досліджені частково або потребують доопрацювання [1-15].

За багаторічними дослідженнями [32], при довготривалому використанні земель, внаслідок постійної оранки на глибину, багатократної дії ходових частин та осідання вимитих з верхнього розпушеного шару мулуватих частинок, ґрунт ущільнюється на глибину до 0,7-1,2 м, що має значний негативний вплив на верхні шари через створення низької водопроникності зв'язних ґрунтів. Разом з нерівномірністю рельєфу це призводить до того, що в надлишково- і середньовологі роки, навіть на дренажних площах, місцями довгостроково застоюються поверхневі води.

Тому, висловлюється багато тверджень про необхідність поглиблення орного шару до 0,4-0,6 м (в деяких випадках навіть до 1 м) [2, 3, 5, 20, 33]. Результати досліджень впливу глибокої обробки ґрунту на його агрофізичні властивості та на урожай сільськогосподарських культур [35] показують, що завдяки глибокій оранці ґрунтів значно покращуються їх фізичні та хімічні властивості. Внаслідок глибокої обробки у верхніх шарах збільшується кількість водомірних агрегатів, зменшується небезпека водної ерозії, зростає водопроникність в шарі 0...20 см [35]. В таких умовах у ньому зберігається тривалий період оптимальна його будова, параметри водного, повітряного і поживного режимів, формується розвинена коренева система рослин, здійснюється ефективний захист від бур'янів, хвороб і шкідників. При чому структурність ґрунту по глибині має бути різною [7], що вимагає керованості

процесу структуроутворення робочим органом [36], що не властиво наявним робочим органам. Вертикальний ґрунтовий профіль має містити протиерозійний верхній шар (0-0,05 м) [35], оптимально структурований кореневмісний шар (0,05- 0,40 м) та фільтраційний нижній шар ($>0,4-0,6$ м), що можливе при ярусності проведення розпушення [1, 36, 37].

При такій глибині, ярусність також є бажаною і з умов зменшення енерговитрат. Найбільш сприятливим періодом для об'ємного розпушення ґрунтів є осінь – період закінчення збирання сільськогосподарських культур і до глибоких заморозків. Розпушення ґрунту в цей період забезпечує більш повне аку мулювання осінньо-зимових і ранньовесняних опадів, меншу глибину промерзання та більш швидке відтавання ґрунту весною. Об'ємне розпушення можна проводити і весною перед висівом культури з подальшим ущільненням ґрунту. Весняне розпушення обмежене в часі 2-3 тижнями. Ефект від глибокого розпушення спостерігається на протязі 2-3 років [2]. Отже, на основі вище викладеного, впливає необхідність розробки безвідвального знаряддя для глибокого ярусного розпушення ґрунту з можливістю диференціації структури розпушеного ґрунту за глибиною обробітку.

1.2 Визначення напрямків покращення ефективності розпушення ґрунту існуючими робочими органами

В сільському господарстві та в меліоративному комплексі для підготовки земляних площ, в залежності від природних та ґрунтових умов, використовуються різного типу глибокорозпушувачі. Приведемо їх класифікацію [17].

Глибокорозпушувачі класифікуються: за призначенням: будівельні, меліоративні, сільськогосподарські; за принципом дії: активні: ударні: вібраційні, частотні, електрогідравлічні; фрезерні: барові (ланцюгові), роторні; дискові; пасивні: дискові, ножові (зубові), полицеві. інтенсифіковані: з використанням фізичних ефектів; з використанням хімічних ефектів; з

використанням електро-хімічних ефектів; за агрегуванням: навісні, напівнавісні, причіпні; за площинністю дії: багатоплощинні; одноплощинні: вертикальна площина, горизонтальна площина; за компонованням: рядні, ярусні, комбіновані; за кількістю робочих елементів: 1-, 2-, багатоелементні; за видом робочого елемента: S-, T-, U-, V-подібні, долото-, скобо-, жолобовидні, ножові (зубові), відвальні, стрільчаті [20-25].

Вітчизняні та зарубіжні виробники сільськогосподарських розпушувачів і їх технічні показники наведені в дод. В та дод. Г, відповідно.

На даний час основними знаряддями в сільському господарстві для основної обробки ґрунту є полицеві робочі органи. До них відносяться різного типу плуги. Відвальні корпуси плугів за формою робочої поверхні підрозділяються на культурні, напівгвинтові і гвинтові. Культурні добре обертають і кришать ґрунтовий шар, тому їх використовують для оранки староорних ґрунтів; напівгвинтові і гвинтові добре обертають шар, але погано кришать його – з їх допомогою зорюють сильнозадернілі, цілинні і перелогові землі. Обґрунтування параметрів відвальних поверхонь [33, 37, 38] направлені в основному на зменшення енергоємності розробки ґрунту та повороту ґрунтового шару з умови невідривного руху поверхнею. Недоліками цих машин є: велика питома маса, складність конструкції і велика енергоємність.

На даний час в ґрунтозахисній та вологозберігаючій технологіях обробітку ґрунту широко використовуються робочі органи з плоскими формами робочих поверхонь. Головним їх недоліком є низька здатність якісно розпушувати вирізаний пласт, підвищені енергетичні показники технологічного процесу, а також небезпека зруйнувати біологічно активну структуру ґрунту [39]. Ґрунтообробні робочі органи з криволінійними формами робочих поверхонь в значній мірі можуть усунути ці недоліки. Це пов'язано з тим, що такі поверхні мають змінні кути деформації і рух ґрунту такими поверхнями проходить з перемінною швидкістю. Як свідчать різнопланові дослідження форм поверхонь та їх профілів [40-43], зокрема дослідження Павлова А.В., Корабельського В.И., Павлоцького А.С. Вєтохіна В.І., Кравчука В.І. [39],

криволінійні форми робочих поверхонь спроможні розпушувати ґрунт з малими енерговитратами .

Існує думка, що ґрунт на робочій поверхні криволінійної форми рухається із змінною швидкістю. При цьому окремі шари ґрунтової маси взаємодіють між собою, отже і переміщуються по різному. Це і спричинює ефективну дію механізму деформації ґрунту та інтенсивне руйнування внутрішніх зв'язків у ньому [39, 44, 45]. Згідно цього, відвальні поверхні плугів, які забезпечують різні кутові швидкості обертання точок ґрунтового шару, краще його кришать за рахунок зміщення вертикальних перерізів ґрунтового шару один відносно одного.

Це твердження говорить про вплив форми та радіуса кривизни r відвальної поверхні на ступінь кришіння ґрунту [1].

Хоча цим умовам, в певній мірі, відповідають культурні відвальні поверхні плугів, але вони не можуть бути визнані за раціональні кришилльні поверхні тому, що розроблялися тільки з умови забезпечення малоенергоємного перевороту ґрунтового шару. Нераціональність відвальних поверхонь плугів як розпушувальних підтверджують дослідження, де проводили аналіз різних форм робочих поверхонь плужних корпусів, зокрема ПЛЕ-21 та американської фірми "John deere". На основі теорії технологічного процесу оранки акад. В.А. Желіговського, був зроблений висновок, що всі процеси пов'язані з кришінням ґрунту проходять в першій частині робочої поверхні, до переходу на крило відвалу. За результатами експериментальних випробувань вкорочені відвали кришать ґрунт гірше ніж стандартні лише на 5-7% [46].

Казакевичем П.П. для симетричної відвальної поверхні плуга було обґрунтовано форму направляючих кривих, знайдені раціональні форми їх ортогональних перерізів виходячи з рівнянь плоскопаралельного руху поперечного перерізу шару [47]. Його аналіз показує, що форма направляючої залежить від параметрів корпусу, ширини захвату b і швидкості, і найбільш прийнятними слід вважати виконання направляючої кривої в вигляді параболи або спряжених дуг. Недоліком є те, що рух ґрунту по криволінійній

направляючий може бути утрудненим через утворення ґрунтових ущільнень у впадинах цієї кривої. Павлов А.В., Корабельський В.І., Павлоцький А.С. [41], для зменшення енерговитрат, пропонують S-подібний повздовжній профіль, а поверхню виконувати зі знакоперемінною кривизною. Ці принципи були застосовані в конструкціях пристроїв типу скоби та напівскоби, а також чизельного плуга, розробленими ГСКБ “Одесаґрунтмаш”, і успішно використовуються в технологіях глибокого розпушення [48]. Ґрунтодеформуючі поверхні знакоперемінної дії сприяють зниженню тягового опору робочих органів до 20%, підвищують ефективність кришіння (при збереженні біологічно активної структури ґрунту) і забезпечують активне перемішування внутрішніх шарів, що подовжує час дії розпушення і підвищує вологоакумулюючу здатність. Недоліком є те, що внаслідок S-подібності повздовжнього профілю, з вгнутою частиною на початку, виникає ущільнення ґрунтового шару в напрямку руху. Рациональність даної форми повздовжнього профілю поверхні обґрунтована з умов енерговитрат [15, 20, 49]. Колективом авторів НУВГП, зокрема, Рижим О.П., розроблений варіант ґрунторозпушувальної поверхні з умов структуроутворення. Запропонована поверхня (рис. 1.1) є сукупністю прямих твірних L_t , які сполучають відповідні точки (точки М та N) на відрізку $[-b; b]$ та кінцевій дузі радіусом R без врахування умов переходу і зміни форми поперечного перерізу між ними. При цьому довжина дуги дорівнює довжині відрізка $[-b; b]$.

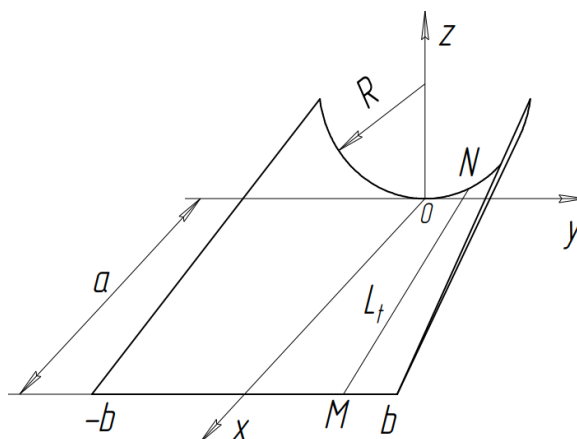


Рис. 1.1 Схема ґрунтообробної поверхні

Зменшуючи або збільшуючи радіус кривизни на виході з транспортувальної поверхні, можна регулювати ступінь розпушення ґрунту. Лінійчастість поверхні зменшує ймовірність залипання поверхні ґрунтом [27].

Але, як показав графоаналітичний аналіз цієї поверхні, вона має суттєві недоліки. Вона є нерозгортною, в ній присутній горизонтальний поперечний стиск ґрунту. Це відбувається внаслідок того, що поточним поперечним перерізом поверхні є еліпс, більша піввісь якого лежить в площині симетрії. При чому, найбільший стиск скиби спостерігається на середній частині поверхні, тому кінцева частина є більше пасивно транспортуною ніж робочою, що майже вдвічі зменшує ефективність використання деформувальних властивостей поверхні та веде до перевитрати матеріалів і надлишкової поверхні тертя [22].

Крім того, невідповідність та неузгодженість співвідношення геометричних параметрів та форми поверхні до процесу згину ґрунтової скиби, неврахування умов переходу між крайніми перерізами, а саме наявності еліптичних поперечних перерізів в середині поверхні, призводить до значних деформацій стиску та нерівномірності інтенсивності розпушення ґрунту. Форма і параметри поверхні не змінювані за глибиною обробітку, що не відповідає необхідності диференціації ступеня розпушення ґрунту в ярусах при глибокому розпушенні. Значна частина деформацій на таких поверхнях проходить у повздовжній горизонтальній площині замість вертикальної, що спричинює до утворення зон ущільнення ґрунту [29].

Патентний огляд вибору раціональної форми поверхні та її повздовжнього профілю засвідчив наявність різноманітних форм ґрунтообробних елементів: гіперболічний параболоїд [50], гвинтова [51], прямий та еліптичний, вгнутий та випуклий конуси [53, 54], циліндрична, [52] і їх комбінації [53, 55, 56]. При чому як бачимо всі форми добре відомі. Зважаючи на різноманітність форм поверхні робимо висновок про необхідність оптимізації форми криволінійної поверхні ґрунтообробного елемента з умов отримання заданої структурності ґрунту.

1.3 Висновки до розділу

На основі проведеного аналізу були зроблені наступні висновки:

- глибоке розпушення ґрунту повинно проводитись пошарово з можливістю диференціації структури ґрунту за глибиною обробітку;
- наявні конструкції робочих органів розпушувачів не в повній мірі відповідають диференційованим за глибиною обробітку агротехнічним вимогам до глибокого розпушення;
- для підвищення ефективності робочого процесу розпушування слід використовувати згин ґрунтової скиби.

1.4 Задачі досліджень

Для досягнення поставленої мети вирішенню підлягали наступні задачі досліджень:

проаналізувати чинні способи і засоби глибокого розпушення перезволожених та ущільнених ґрунтів, з'ясувати недоліки та обґрунтувати напрями їх усунення;

теоретично й експериментально обґрунтувати форму та параметри ґрунторозпушувальних поверхонь ярусного глибокорозпушувача

.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОЧОГО ОРГАНА ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧА

2.1. Дослідження геометрії та кінематики руху точок ґрунтової скиби

Ефективність роботи ґрунторозпушувальної поверхні визначається її параметрами. Для визначення критеріїв оптимізації параметрів поверхні необхідно визначитися з формою її поперечного перерізу та оцінити характер фронтальних проекцій просторових траєкторій точок ґрунтового скиби, при поперечному згині. Дослідження геометрії та кінематики руху точок необхідне для визначення раціональних кінематичних режимів поперечного згину ґрунтової скиби [57, 58].

При русі ґрунторозпушувальною поверхнею скиба ґрунту в поточному поперечному перерізі деформується згином. Для забезпечення однакового ступеня деформації розриву по всій ширині скиби її умовні волокна при згині повинні утворювати дуги кіл. Для зрівноважування бокового зусилля згин мусить бути симетричним [59-61].

Згин ґрунтового шару розглядаємо за деформацією розтягу його нижніх волокон (рис. 2.1.) (до 82% об'єму). Систему координат орієнтуємо наступним чином. Початок координат розмістимо на середині лемішної прямої, вісь Ox направляємо по перетину площини симетрії з поверхнею, вертикально вгору – Oz , вправо – Oy . В подальших дослідженнях будемо розглядати поверхню та переріз від площини симетрії до краю в додатному напрямку поперечної осі Oy просторової системи координат [62-64].

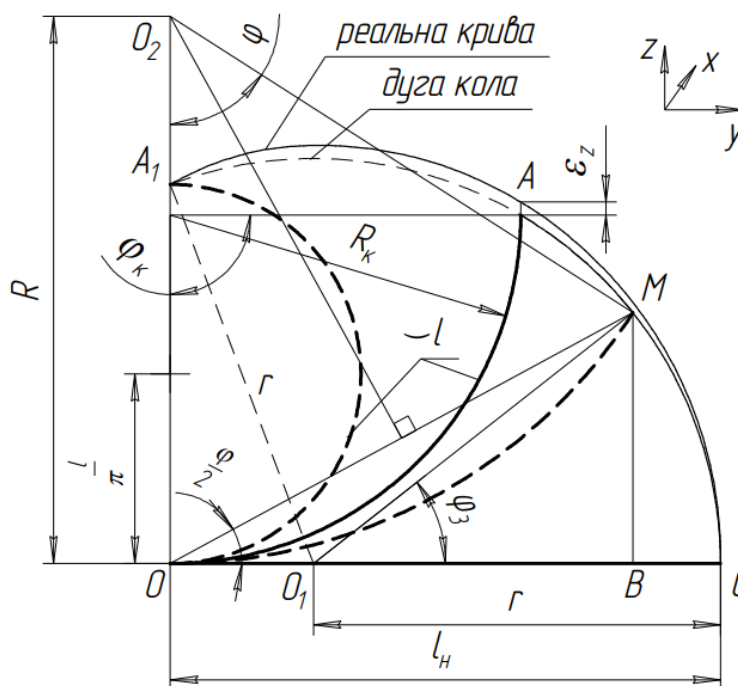


Рис. 2.1. Основні геометричні параметри поперечного перерізу

Розглянемо траєкторію руху деякої точки [59, 65, 66] $M(z_m, y_m)$, яка лежить на краю нижніх волокон ґрунтової скиби. При згині ґрунтові волокна утворюють дуги $\cup(OM)_i = \cup l$ з центром кривизни в т. O_2 , радіусом $R_i \in (\infty; R_k]$, $i=1, 2, 3, \dots$. Де R_k – кінцевий радіус поперечної кривизни поверхні, визначається фізико-механічними властивостями ґрунтів та агротехнічними вимогами; l – довжина дуги $\cup(OM)_i$, максимальне значення визначається з умови неперевертання ґрунтового шару при згині, $l \in [l_n; l_n(\varepsilon_p + 1)]$, де l_n – довжина дуги нейтральної лінії, $l_n \in (0; R_k \pi / 2]$; ε_p – гранична величина подовження нижніх волокон.

Центральний кут дуги l :

$$\varphi = l/R; \quad (2.1)$$

при $R=R_k$ $\varphi=\varphi_k$, тоді φ_k – центральний кут при кінцевому радіусі поперечної кривизни. Траєкторія точки M дасть деяку криву CM (рис.2.1.). Для аналізу умов

руху точки ґрунтового шару запишемо її в вигляді $f(z, y)=0$.

З $\triangle OMB$:

$$\frac{z_i}{y_i} = \operatorname{tg} \frac{l}{2R_i};$$

R_i визначається з рівняння кола:

$$(z_i - R_i)^2 + y_i^2 = R_i^2, \quad \rightarrow \quad R_i = \frac{z_i^2 + y_i^2}{2z_i}.$$

Здійснивши підстановку отримаємо:

$$\frac{z_i}{y_i} = \operatorname{tg} \frac{l \cdot z_i}{z_i^2 + y_i^2}. \quad (2.2)$$

Вираз (2.2) є дуже незручним для подальшого використання через неможливість явного його запису у вигляді $z=z(y)$.

При графічній побудові з допомогою редакторів тривимірного твердотільного моделювання T-Flex Parametric CAD Pro 7.0 дуг однакової довжини з різними радіусами (з достатньою щільністю), центри яких лежать на вертикалі, виявилось, що траєкторія т.М є дуже близькою до дуги кола, центр кривизни, якої лежить на осі Oy (рис. 2.1.). Зміна положення точки М на дузі $\cup CA$ характеризується кутом підйому φ_3 .

$$\varphi_3 = \arcsin\left(\frac{R(1 - \cos \varphi)}{r}\right). \quad (2.3)$$

Математичний запис наближеної траєкторії т.М у вибраній системі координат запишеться як:

$$z^2 + (y - (l - r))^2 = r^2. \quad (2.4)$$

При проведенні порівняння даних залежностей (2.4) та (2.2) в середовищі Microsoft Excel-2000 максимальна відносна похибка по аплікаті z склала $\varepsilon_z=3,3\%$.

Звідки робимо висновок, що при будь-якій зміні радіуса R_i дуги $\cup(OM)$ і в окремих паралельних площинах простору, траєкторія кожної частинки ґрунтового шару лежить на поверхні уявного циліндра радіусом r (рис. 2.2).

Просторова траєкторія має вигляді деякої гвинтової кривої з певним кроком. Це дає можливість використовувати відомі залежності для гвинтових кривих, зокрема, для визначення просторової кривизни траєкторії в будь-якій точці простору.

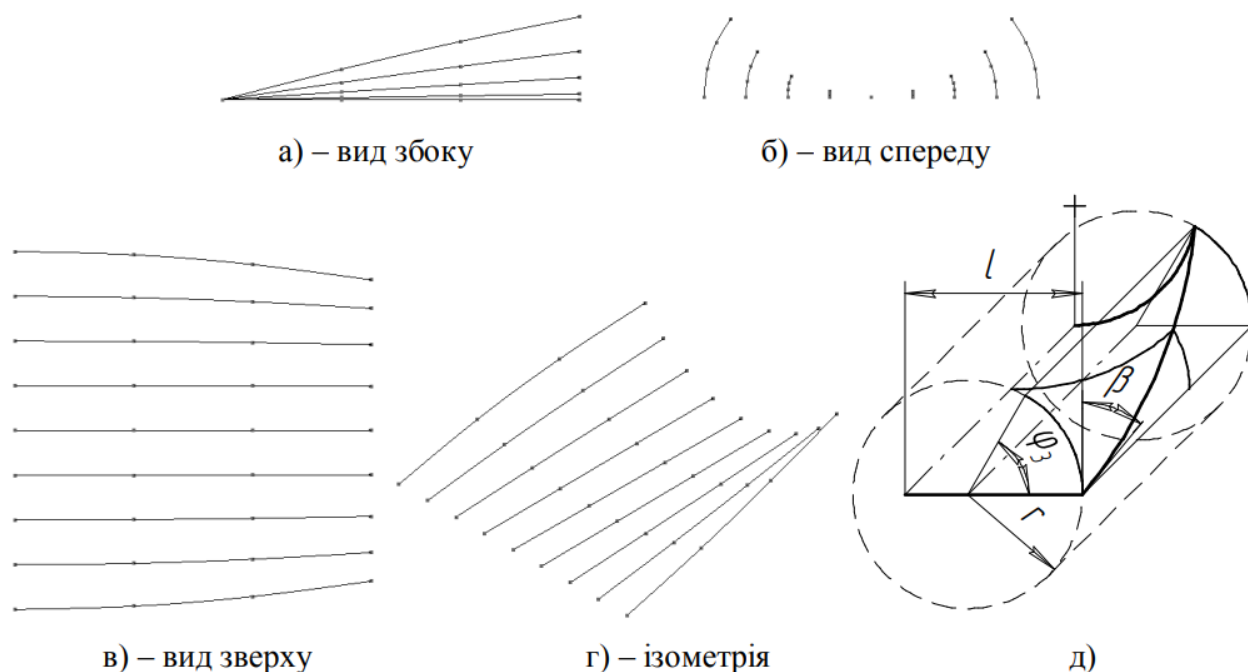


Рис. 2.2. Просторові траєкторії руху точок ґрунтового шару при русі поверхнею а) – г) – моделювання в T-Flex Parametric CAD Pro 7.0; д) – параметри траєкторії [17, 27, 29, 50, 66].

$$(a=0,4 \text{ м}; L=0,4 \text{ м}; R_k=0,2 \text{ м})$$

Радіус дуги $\cup(OM)$ r визначаємо з умови, що т.А мусить попасти в т.А₁, утворюючи при цьому дугу l радіусом l/π (рис. 2.1.), де $l = l_n$. З прямокутного $\Delta A_1 O O_1$ запишемо:

$$A_1 O^2 + O O_1^2 = A_1 O_1^2; \quad \left(2 \frac{l_n}{\pi}\right)^2 + (l_n - r)^2 = r^2;$$

звідки, здійснивши перетворення, отримаємо величину радіуса дуги поперечної проекції просторової траєкторії кожної точки нижніх волокон ґрунтового шару при згині:

$$r = \frac{4 + \pi^2}{2\pi^2} l_n \approx 0,702 \cdot l_n. \quad (2.5)$$

Крім геометричних параметрів, рівноцінність деформаційних умов по дузі l повинні забезпечувати і кінематичні параметри. Запишемо зміну координат т. M від її положення в просторі при згині як для дуги нейтрального шару. Розглянемо рух точки M відносно т. O_1 (в рівняннях індекс – 1) та т. O_2 (в рівняннях індекс – 2) (рис. 2.1.).

$$\begin{cases} z_{1t} = R_t(1 - \cos \varphi_t) = \frac{l_n}{\varphi_t}(1 - \cos \varphi_t) \\ y_{1t} = R_t \sin \varphi_t = \frac{l_n}{\varphi_t} \sin \varphi_t \end{cases}; \quad \begin{cases} z_{2t} = r \sin \varphi_{3t} \\ y_{2t} = r \cos \varphi_{3t} + l_n - r \end{cases} \quad (2.6)$$

Швидкості зміни координат та їх прискорення:

$$\begin{cases} V_{1z} = \dot{z}_{1t} = \dot{\varphi}_t \left(\frac{-l_n}{\varphi_t^2} (1 - \cos \varphi_t) + \frac{l_n}{\varphi_t} \sin \varphi_t \right) \\ V_{1y} = \dot{y}_{1t} = \dot{\varphi}_t \left(\frac{-l_n}{\varphi_t^2} \sin \varphi_t + \frac{l_n}{\varphi_t} \cos \varphi_t \right) \end{cases}; \quad \begin{cases} V_{2z} = \dot{z}_{2t} = r \cos \varphi_{3t} \cdot \dot{\varphi}_{3t} \\ V_{2y} = \dot{y}_{2t} = -r \sin \varphi_{3t} \cdot \dot{\varphi}_{3t} \end{cases}; \quad (2.7)$$

$$\begin{cases} a_{1z} = \ddot{z}_{1t} = \dot{\varphi}_t^2 \left(\frac{2l_n}{\varphi_t^3} (1 - \cos \varphi_t) - \frac{2l_n}{\varphi_t^2} \sin \varphi_t + \frac{l_n}{\varphi_t} \cos \varphi_t \right) + \ddot{\varphi}_t \left(\frac{l_n}{\varphi_t} \sin \varphi_t - \frac{l_n}{\varphi_t^2} (1 - \cos \varphi_t) \right) \\ a_{1y} = \ddot{y}_{1t} = \dot{\varphi}_t^2 \left(\frac{2l_n}{\varphi_t^3} \sin \varphi_t - \frac{2l_n}{\varphi_t^2} \cos \varphi_t - \frac{l_n}{\varphi_t} \sin \varphi_t \right) + \ddot{\varphi}_t \left(\frac{l_n}{\varphi_t} \cos \varphi_t - \frac{l_n}{\varphi_t^2} \sin \varphi_t \right) \end{cases};$$

$$\begin{cases} a_{2z} = \ddot{z}_{2t} = -r \sin \varphi_{3t} \cdot \dot{\varphi}_{3t}^2 + r \cos \varphi_{3t} \cdot \ddot{\varphi}_{3t} \\ a_{2y} = \ddot{y}_{2t} = -r \cos \varphi_{3t} \cdot \dot{\varphi}_{3t}^2 - r \sin \varphi_{3t} \cdot \ddot{\varphi}_{3t} \end{cases} \quad (2.8)$$

Для визначення раціональних кінематичних режимів згину ґрунтового шару в середовищі Machcad 2000 Professional було проаналізовано рух частинки ґрунтового шару (т. M) при різних режимах руху: прискорений – $\ddot{\varphi} > 0$, $\ddot{\varphi}_3 > 0$; рівномірний – $\ddot{\varphi} = 0$, $\ddot{\varphi}_3 = 0$; сповільнений – $\ddot{\varphi} < 0$, $\ddot{\varphi}_3 < 0$ (рис. 2.3.).

Аналіз отриманих графічних залежностей на рис. 2.3. з точки зору інерційності дав наступні результати.

Відносно т. O_1 :

– прискорений ($\ddot{\varphi} > 0$): на початку дуги l переважає інерційне вертикальне підйомне навантаження, на кінці дуги l переважає інерційне горизонтальне стискаюче навантаження;

- рівномірний ($\ddot{\varphi} = 0$): інерційні навантаження по дузі l мінімальні;

– сповільнений ($\ddot{\varphi} < 0$) на початку дуги l переважає інерційне вертикальне втискаюче навантаження, на кінці дуги l переважає інерційне горизонтальне втискаюче навантаження.

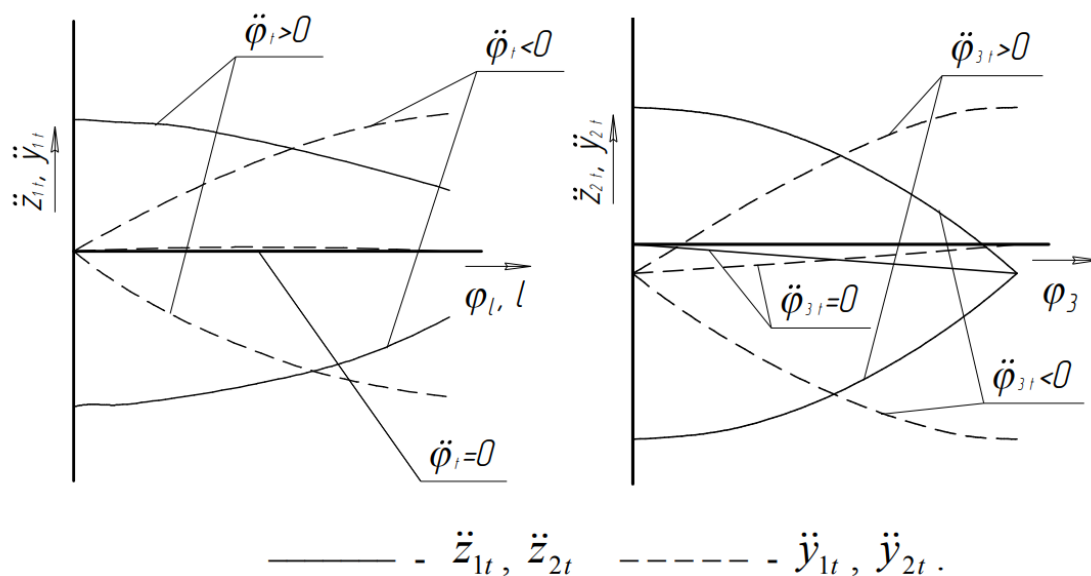


Рис. 2.3. Кінематика руху точки ґрунтового шару [1, 28, 66, 67]

Відносно т.О2: прискорений ($\ddot{\varphi}_3 > 0$): на початку згину переважає інерційне вертикальне підйомне навантаження, в кінці згину переважає інерційне горизонтальне стискаюче навантаження (при симетричному згині); рівномірний ($\ddot{\varphi}_3 = 0$): інерційні навантаження мінімальні; сповільнений ($\ddot{\varphi}_3 < 0$) на початку згину переважає інерційне вертикальне втискаюче навантаження, в кінці згину переважає інерційне горизонтальне втискаюче навантаження.

Інерційні стискаючі навантаження створюють передумови для збільшення енергоємності та утворення ядер ущільнення на ґрунторозпушувальній поверхні. З умови забезпечення однакових інерційних умов навантаження по всій дузі приймаємо рівномірний характер згину ($\ddot{\varphi} = 0$, $\ddot{\varphi}_3 = 0$). Отже, ґрунторозпушувальна поверхня повинна утворюватися сукупністю поперечних

перерізів у вигляді дуг кіл. При русі поверхнею кожна точка ґрунтового шару описує у просторі траєкторію, яка лежить на поверхні уявного циліндра. Швидкості згину ґрунтового шару та розриву його волокон мають бути сталими.

2.2 Обґрунтування радіуса кінцевої кривизни поверхні

Кінцева кривизна поверхні є основним чинником отримання заданої якості розпушення ґрунту. Внаслідок значення радіуса кінцевої кривизни поверхні ґрунтова скиба отримує граничну деформацію.

Скиба ґрунту руйнується згином внаслідок досягнення його нижніми волокнами граничної деформації розриву. При остаточному горизонтальному розшаруванні віддаль між горизонтальними шарами повинна дорівнювати заданій величині поперечника ґрунтового агрегату l_k .

Критерієм обґрунтування є якісні показники розпушення ґрунту. Величина радіуса кінцевої кривизни поверхні визначається в залежності від фізико-механічних характеристик ґрунту та агротехнічних вимог через геометричні залежності поперечного перерізу поверхні (рис. 2.4.). Для цього, по дузі, яка лежить посередині між нейтральною та крайньою дугою, необхідно забезпечити досягнення граничної деформації шару ґрунту на розрив. Тоді, згідно рис. 2.4., для кінцевого поперечного перерізу запишеться залежність:

$$2\varphi_k = \frac{L(1 + \varepsilon_p)}{R_k - l_k / 2} = \frac{L}{R_k - l_k} \quad (2.9)$$

де ε_p – гранична відносна деформація ґрунту на розрив; l_k – величина поперечника ґрунтового агрегату [66].

Звідки радіус кінцевої поперечної кривизни в залежності від його фізико-механічних характеристик: |

$$R_k = \frac{l_k}{2\varepsilon_p} + l_k = l_k \left(\frac{1}{2\varepsilon_p} + 1 \right); \quad (2.10)$$

Або, врахувавши умову руйнування розривом у вигляді: $\sigma_p = E \cdot \varepsilon_p \geq \sigma_{gp}$; де σ_p – напруження розтягу, що виникають при згині ґрунтового шару вздовж лінії, яка знаходиться на віддалі $l_k/2$ від нижнього краю; E – модуль пружної деформації ґрунту на розрив; σ_{gp} – гранична напруга ґрунту на розрив: |

$$R_k = l_k \left(\frac{E}{2\sigma_{gp}} + 1 \right). \quad (2.11)$$

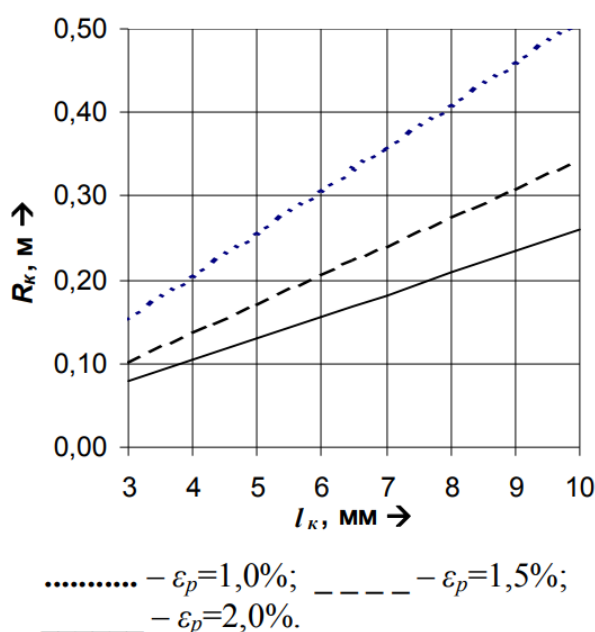


Рис. 2.4 Визначення радіуса кінцевої поперечної кривизни

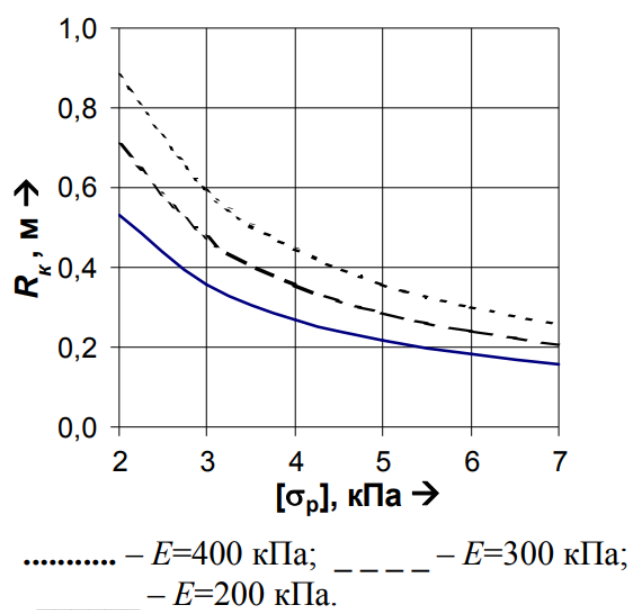


Рис. 2.5 Залежність радіуса згину від міцності ґрунту

Радіус згину є пропорційним величині утворюваних агрегатів та модуля пружної деформації, і має обернену пропорційність до міцності ґрунту (рис. 2.4, 2.5). Для розпушення ґрунтів ($l_k=5\ldots7$ мм) із найпоширенішими характеристиками ($\sigma_{кр}=3\ldots7$ кПа, $\varepsilon_p=1\ldots2\%$) кінцевий радіус поперечної кривизни повинен становити для підорних шарів $R_k=0,25\text{--}0,41$ м, для орних – $R_k=0,13\text{--}0,21$ м. Це відповідає і доповнює дані попередніх досліджень [66, 70], що підтверджує правильність вибору схеми і передумов подрібнення ґрунтової скиби згином.

2.3 Визначення ширини поверхні

Внаслідок дугового кінцевого перерізу поверхні, ширина поверхні впливає на співвідношення видів деформації в поперечному перерізі ґрунтової скии, і, як наслідок, на прохідність ґрунтового шару. Ширина захвату повинна такою, щоб ґрунт при подрібненні не затискувався між боковими пелюстками поверхні на виході з неї та не здійснював переворот. Для цього вона повинна бути узгоджена з радіусом кінцевого перерізу поверхні.

З геометричної точки зору, очевидним є те, що для забезпечення неперевертання, максимальна ширина поверхні повинна дорівнювати величині півдуги кола вихідного поперечного перерізу:

$$L = \pi R_k. \quad (2.12)$$

Геометрична умова не є достатньою при визначенні ширини захвату так, як вона не враховує силові фактори. Вона може виступати лише як перевірка ширини на абсолютний максимум. Згідно розрахункової схеми (рис. 2.6), для зменшення енергоємності процесу, максимальна ширина поверхні повинна виключити переважання енергоємних видів деформацій на пелюстках поверхні. Для цього необхідно мінімізувати модуль різниці значень вертикальної та горизонтальної реакцій з боку поверхні на ґрунтовий шар:

$$|V_n - H_c| \rightarrow \min.$$

При переважанні величини вертикальної реакції V_n над H_c (рис. 2.6) скиба ґрунту буде деформуватися більше від згину ніж від стиску, і, навпаки, при H_c – від стиску. Стиск ґрунтової скиби внаслідок різкого зростання енергоємності процесу є небажаним.

Тоді, необхідною умовою буде: $V_n \geq H_c$, де згідно до рис. 2.6.

$$V_n = N \cdot \cos\varphi + S \cdot \sin\varphi, \quad H_c = N \cdot \sin\varphi - S \cdot \cos\varphi; \quad (2.13)$$

Звідки:

$$N \cdot \cos\varphi + S \cdot \sin\varphi \geq N \cdot \sin\varphi - S \cdot \cos\varphi; \rightarrow (N+S) - (N-S) \cdot \operatorname{tg}\varphi \geq 0; \rightarrow N \cdot S \cdot N \cdot S - + \varphi \leq \operatorname{arctg}.$$

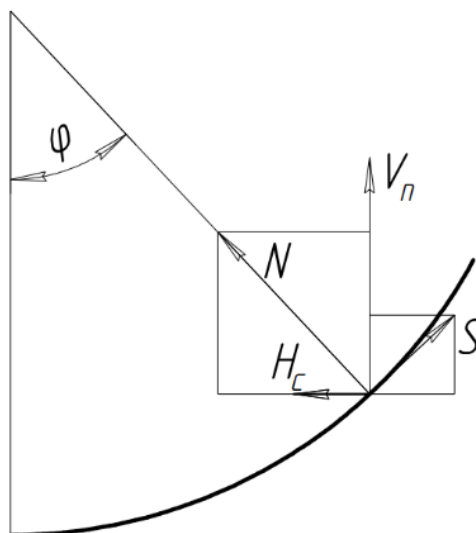


Рис. 2.6 Схема до визначення ширини поверхні (активні зусилля не показані) [1, 20, 66, 67]

При розгляді силової взаємодії ґрунтового шару з поверхнею виявлено, що $S \in (0; -0,2N]$ ($\alpha_p = 0 \dots 30^\circ$). Тоді, відповідно, при $S=0$ – $\varphi \leq \pi/4$, а при $S = -0,2N$ – $\varphi \leq 0,6$. Підставивши отримані значення S та φ в другу рівність системи (2.13), побачимо, що при визначенні зусилля затискання H_c неврахування S (при $\varphi = \pi/4$) викликає незначну похибку до 2,5%. Тому, нехтуючи S , маємо: $\varphi = \pi/4$. Врахувавши (2.1), граничне значення ширини захвату поверхні:

$$L = (\pi/2)R_k. \quad (2.14)$$

З (2.12) та (2.14) видно, що ширина поверхні визначена з точки зору неперевертання буде завжди у два рази більша. Визначення ширини поверхні за (2.14) справедливе при будь-якій висоті ґрунтової скиби. Незалежно від висоти скиби стискаючі зусилля переважають вертикальні при довжині дуги перерізу більшій за четвертину дуги кола.

Ширина захвату поверхні не залежить від величини силових факторів, а є пропорційною кінцевому радіусу R_k . Орієнтуючись на залежність R_k від типу ґрунтових характеристик (рис. 2.4, 2.5), для орного шару у порівнянні з підорними шарами ширина захвату зменшується. Ширина поверхні для підорних шарів $L = 0,39 \dots 0,61$ м, для орних – $L = 0,20 \dots 0,33$ м.

2.4 Обґрунтування довжини ґрунторозпушувальної поверхні

Внаслідок криволінійності профілю ґрунторозпушувальної поверхні її довжина буде задавати інтенсивність навантаження ґрунтової скиби. Довжина поверхні повинна забезпечити умови подрібнення ґрунтової скиби при найменших затратах тягового зусилля та матеріалу.

Довжину поверхні а визначаємо методом екстремуму (методом Ферма), зважаючи на обернений зв'язок довжини поверхні зі швидкістю поперечної деформації розриву нижніх волокон ґрунтового шару. Вираз для енерговитрат на поперечну деформацію розтягу, при русі ґрунтового шару вздовж поверхні:

$$W_d = P_d \cdot V_{azp}; \quad (2.15)$$

де P_d – горизонтальна складова від зусилля деформації.

Швидкість деформації V_d виражається через V_{azp} наступним чином:

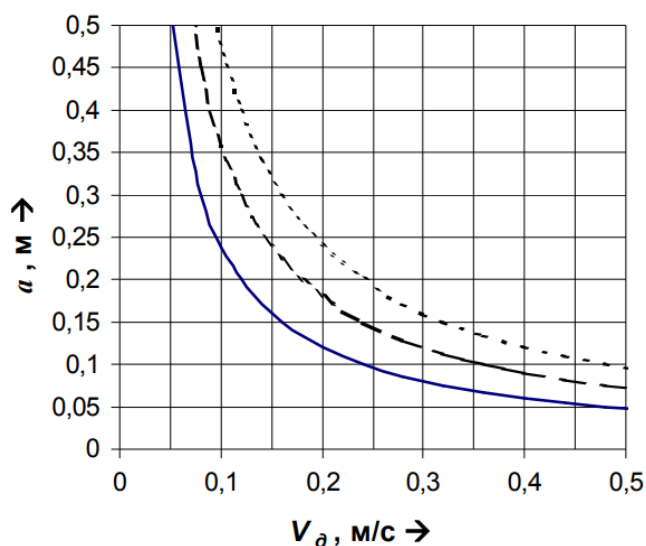
$$\int_0^{2\varepsilon \cdot L} \frac{dl}{V_d} = \int_0^a \frac{dx}{V_{azp}}; \quad V_{azp} = \frac{a}{2\varepsilon \cdot L} V_d. \quad (2.16)$$

Враховуючи (2.16) вираз (2.15) запишеться як: $W_d = P_d \cdot a \cdot V_d / (2\varepsilon p L)$. Звідки видно, що довжина і швидкість деформації нижніх волокон ґрунтового шару в однаковій мірі впливають на енергоємність процесу. Розглянемо їх взаємну залежність. Виразивши з (2.16) довжину $a(V_d)$ отримаємо:

$$a = \frac{2\varepsilon_p \cdot L \cdot V_{azp}}{V_d} \quad (2.26)$$

З виразу (2.17) залежність $a=f(V_d)$ впливу довжини поверхні на швидкість деформації розриву при різних L та V_{azp} виступає у вигляді сімейства гіперболічних кривих (рис. 2.7).

Аналізуючи вираз (2.16) та графічні залежності на рис. 2.7 робимо наступні висновки: - збільшення довжини а та швидкості деформації V_d в однаковій мірі збільшують енерговитрати, зменшенню енерговитрат сприяє парна мінімізація обох величин; - при малих значеннях а, наступне відносно мале зменшення довжини призводить до збільшення в декілька разів швидкості



_____ – $V_{agp}=1,0$ м/с; _____ – $V_{agp}=1,5$ м/с; – $V_{agp}=2,0$ м/с.

Рис. 2.7 Вплив довжини поверхні на інтенсивність процесу ($L=0,4$ м; $\epsilon_p=3\%$;)

деформації; - при великих значеннях a зміна довжини поверхні не має істотного впливу на швидкість деформації. Досягнення великої швидкості деформації призведе до зростання тягового опору внаслідок динамічного зростання міцності ґрунту [11, 68, 69], а отримання дуже малої швидкості, орієнтуючись на форму поверхні, буде можливо на довгій поверхні, що призведе до перевитрат матеріальних ресурсів, збільшення розмірів, ваги та збільшення тягового опору внаслідок збільшення площі тертя ґрунту з поверхнею. Тоді, раціональною вважаємо таку точку на кривій $a(V_d)$, де радіус її кривизни є найменшим.

Методом екстремуму (методом Ферма) знайдемо вираз для знаходження довжини поверхні в цій точці. Для коректного застосування даного методу координатні осі на рис. 2.7 повинні мати однакову розмірність. Для цього помножимо чисельник і знаменник виразу (2.17) на час t , внаслідок чого в знаменнику отримаємо величину деформації розтягу ґрунтових волокон s_d зі швидкістю V_d за час t .

Залежність (2.17) запишеться у вигляді:

$$a = \frac{2\varepsilon_p \cdot L \cdot V_{azp} \cdot t}{s_\delta} . \quad (2.18)$$

Радіус кривизни кривої а (s_δ) визначається за залежністю [70]:

$$\rho_a = \frac{(1 + a_{s_\delta}'^2)^{\frac{3}{2}}}{a_{s_\delta}''} \rightarrow \min.$$

За теоремою Ферма:

$$\frac{d\rho_a}{ds_\delta} = \frac{\frac{3}{2}(1 + a_{s_\delta}'^2)^{\frac{3}{2}} \cdot 2 \cdot a_{s_\delta}' \cdot a_{s_\delta}'' \cdot a_{s_\delta}'' - (1 + a_{s_\delta}'^2)^{\frac{1}{2}} \cdot a_{s_\delta}'''}{a_{s_\delta}''^2} = 0 ;$$

$$a_{s_\delta}' = \frac{-L \cdot 2\varepsilon_p \cdot V_{azp} \cdot t}{s_\delta^2} ; \quad a_{s_\delta}'' = \frac{2 \cdot L \cdot 2\varepsilon_p \cdot V_{azp} \cdot t}{s_\delta^3} ; \quad a_{s_\delta}''' = \frac{-6 \cdot L \cdot 2\varepsilon_p \cdot V_{azp} \cdot t}{s_\delta^4} .$$

Тоді:

$$\frac{-3 \left(1 + \frac{(L \cdot 2\varepsilon_p \cdot V_{azp} \cdot t)^2}{s_\delta^4} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot (L \cdot 2\varepsilon_p \cdot V_{azp} \cdot t)^2 + \frac{3}{2} \left(1 + \frac{(L \cdot 2\varepsilon_p \cdot V_{azp} \cdot t)^2}{s_\delta^4} \right)^{\frac{3}{2}}}{(L \cdot 2\varepsilon_p \cdot V_{azp} \cdot t)^2 \cdot s_\delta^2} = 0 ;$$

$$2(s_\delta^4 + (L \cdot 2\varepsilon_p \cdot V_{azp} \cdot t)^2)^{\frac{1}{2}} \cdot (L \cdot 2\varepsilon_p \cdot V_{azp} \cdot t)^2 - (s_\delta^4 + (L \cdot 2\varepsilon_p \cdot V_{azp} \cdot t)^2)^{\frac{3}{2}} = 0 ;$$

$$(s_\delta^4 + (L \cdot 2\varepsilon_p \cdot V_{azp} \cdot t)^2)^{\frac{1}{2}} \cdot ((L \cdot 2\varepsilon_p \cdot V_{azp} \cdot t)^2 - s_\delta^4)^{\frac{3}{2}} = 0 .$$

Звідки швидкість деформації в названій точці:

$$s_\delta = \sqrt{2\varepsilon_p \cdot L \cdot V_{azp} \cdot t} . \quad (2.19)$$

Підставивши (2.19) у (2.18) знайдемо:

$$a = \sqrt{2\varepsilon_p \cdot L \cdot V_{azp} \cdot t} . \quad (2.20)$$

Невідомим є час t. Для його знаходження запишемо (2.20) у вигляді:

$$t = \frac{a^2}{2\varepsilon_p \cdot L \cdot V_{azp}} .$$

Тут a визначається графічним методом за залежністю приведеною на рис.

2.9. Так, при $\varepsilon_p=0,03$, $L=0,4$ м, $V_{agr}=1,0; 1,5; 2,0$ м/с, $a=0,155; 0,190; 0,219$ м час $t=1,001; 1,003$ та $0,999$ с відповідно. Отже, приймаємо час $t=1$ с. Графічно залежність довжини поверхні від швидкості руху агрегату матиме вигляд рис.

2.10. Збільшення швидкості руху агрегату та ширини поверхні зумовлює подовження ґрунторозпшувальної поверхні. Для підорних шарів ґрунту, при однаковій ширині поверхні, вони є дещо коротші ніж для орного шару. Довжина поверхні має суттєвий вплив на вид деформації скиби: три- або двоплощинна. Це залежить від співвідношення радіусів просторової та поперечної кривизни поверхні. Кривизна траєкторій частинок ґрунтового шару, які рухаються поверхнею змінюється від нульової – в середині поверхні, до максимальної – на краю. Кривизна крайньої траєкторії задає найбільшу інтенсивність деформації ґрунтової скиби вздовж поверхні. При співрозмірності кривизни крайньої просторової траєкторії з кривизною кінцевого поперечного перерізу, деформацію вважаємо триплощинною. При відмінності значень радіусів кривизн більше ніж на порядок, при більшому радіусі кривизни просторової траєкторії, деформацію ґрунтового шару вважаємо двоплощинною. Так, як траєкторія руху є гвинтова лінія, то радіус її кривизни [70] з врахуванням (2.3), (2.5) та (2.14) визначиться за формулою:

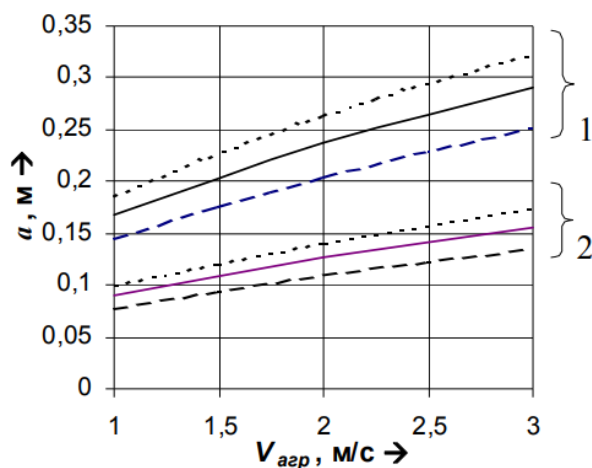
$$\rho = \frac{r^2 + (a/\varphi_{3\kappa})^2}{r} = 0,351L + \frac{a^2}{0,351L \arcsin^2 \frac{R_\kappa(1 - \cos(0,5L/R_\kappa))}{0,351L}} \quad (2.21)$$

Графічна залежність $\rho=f(a)$ показана.

Для врахування часу релаксації ґрунту необхідно використовувати поверхні довжиною $a=0,26...0,43$ м при швидкості руху $V_{agr}=1,5-2,5$ м/с.

З іншої сторони, якщо орієнтовно прийняти за час релаксації ґрунтів $0,17-0,18$ с [55, 66, 69], то при швидкості руху $V_{agr}=1,5-2,5$ м/с довжина поверхні повинна становити:

$$a = V_{agr} \cdot t_p = (1,5...2,5) \cdot 0,17 = 0,26...0,43 \text{ м.} \quad (2.22)$$

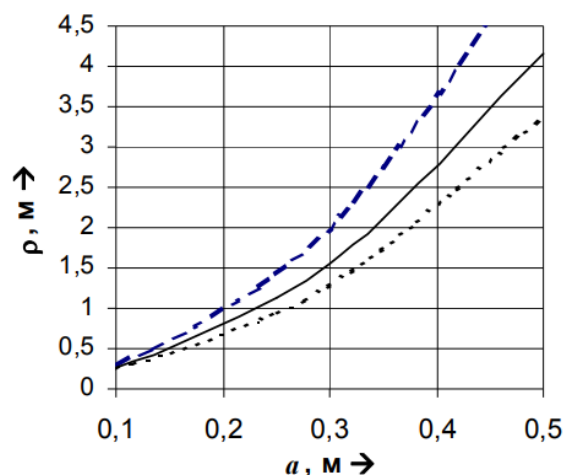


..... – $L=0,5$ м; ——— – $L=0,4$ м;

----- – $L=0,3$ м.

1 – орний шар; 2 – підорні шари.

Рис. 2.8 Вплив швидкості агрегату на довжину поверхні



..... – $R_k=0,25$ м; ——— – $R_k=0,20$

м;

----- – $R_k=0,15$ м.

Рис. 2.9 Залежність просторового радіуса траєкторії від радіуса кінцевого перерізу.

Згідно рис. 2.11. максимальна довжина поверхонь з триплощинним деформуванням для орних шарів становить $a=0,25$ м і $a=0,42$ м для підорних шарів.

Якщо визначити довжину поверхні за (2.20), то в переважній більшості випадків отримаємо поверхні з двоплощинним деформуванням ґрунтової скиби. Довші поверхні є більш лінійчатию ніж коротші, тому сприяють легшому проходженню ґрунту. В відносно довгих поверхнях ($a>0,25$ м для орного шару, $a>0,42$ м для підорних шарів) переважає в основному двоплощинне руйнування, а в більш коротких – триплощинне. Збільшення швидкості руху та підвищення зв'язності ґрунту призводить до подовження поверхні.

Висновки по розділу

1. Ґрунтова скиба розглядається як однорідне за щільністю суцільне середовище. В якості теорії міцності, прийнята до уваги теорія Кулона-Мора, як для середовища, яке чинить різний опір деформаціям стиску та розтягу.

2. Ґрунторозпушувальна поверхня утворюється сукупністю поперечних перерізів у вигляді дуг кіл однакової довжини. При русі поверхнею кожна точка ґрунтової скиби при згині описує у просторі траєкторію, яка лежить на поверхні уявного циліндра. Швидкості руху мають бути сталими.

3. Радіус кривизни поверхні вздовж руху є більш ніж в 10 разів більший ніж в поперечному перерізі, на підставі чого, для спрощення розрахунків, в основному розглядається плоский згин ґрунтової скиби в поперечному перерізі

4. Кінцевий радіус поперечної кривизни повинен становити для підорних шарів $R_k=0,25-0,41$ м, для орних – $R_k=0,13-0,21$ м для розпушення ґрунтів ($l_k=5...7$ мм) із найпоширенішими характеристиками ($\sigma_{кр}=3...7$ кПа, $\varepsilon_p=1...2\%$). Це відповідає і доповнює дані попередніх досліджень, що підтверджує правильність вибору схеми і передумов подрібнення ґрунтової скиби згином.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Експериментальні дослідження проводились з метою перевірки теоретичних положень врахування стану ґрунту в параметрах ґрунторозпушувальної поверхні, визначення впливу основних параметрів ґрунторозпушувальних поверхонь на показники розпушення ґрунту, оцінки ефективності роботи запропонованого глибокорозпушувач [5, 7, 67].

3.1 Ґрунтовий канал з динамометричним візком

Ґрунтовий канал кафедри представляє собою бетоновану місткість прямокутного перерізу з розмірами $9,2 \times 1,8 \times 1,5$ м, заповнену розпушеним і ущільненим ґрунтом. Верхньою площиною вертикальних бетонних стінок каналу прокладені рейки, якими рухається динамометричний візок з дослідним робочим обладнанням.

Загальний вигляд ґрунтового каналу і кінематична схема приводу динамометричного візка представлені на рис. 3.1 і 3.2.

Динамометричний візок 11 пересувається за допомогою трособлокового механізму під дією тягового зусилля, яке створюється барабаном 19 лебідки. Крутний момент на барабан 19 передається від електродвигуна 3 через ланцюгову передачу 5 на вхідний вал ходозменшувача 4, коробку зміни передач 2, задній міст 1 трактора. На вхідному валу правого бортового редуктора встановлена зірочка ланцюгової передачі 20 приводу барабана 19 лебідки. Трос 18 трособлокового механізму одним кінцем закріплюється до ручної лебідки 6, пропускається через направляючі блоки візка 9, 17, барабан 19, нерухомий блок 15, направляючі блоки візка 16, 12. Інший кінець тросу 18 закріплюється до динамометра-тензоперетворювача другого класу точності (ДПУ-2- 2) 13, який з'єднаний з нерухомою опорою 14. Візок зварної конструкції 11 опирається на чотири котки 10 з ребордами і рухається рейками 7 вздовж каналу 8 [40, 65].

На рамі візка (рис. 3.3) встановлені паралельно два стояки з ґрунторозпушувальними поверхнями з можливістю регулювання глибини та кута різання.

Для дослідження впливу величини кінцевого радіуса поверхонь та їх їх конструкції, було виготовлено декілька дослідних зразків поверхонь (рис. 3.4)

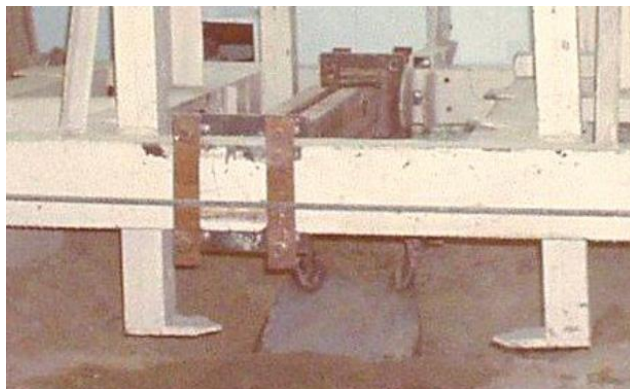


Рис. 3.1 Загальний вигляд ґрунтового каналу з динамометричним візком.

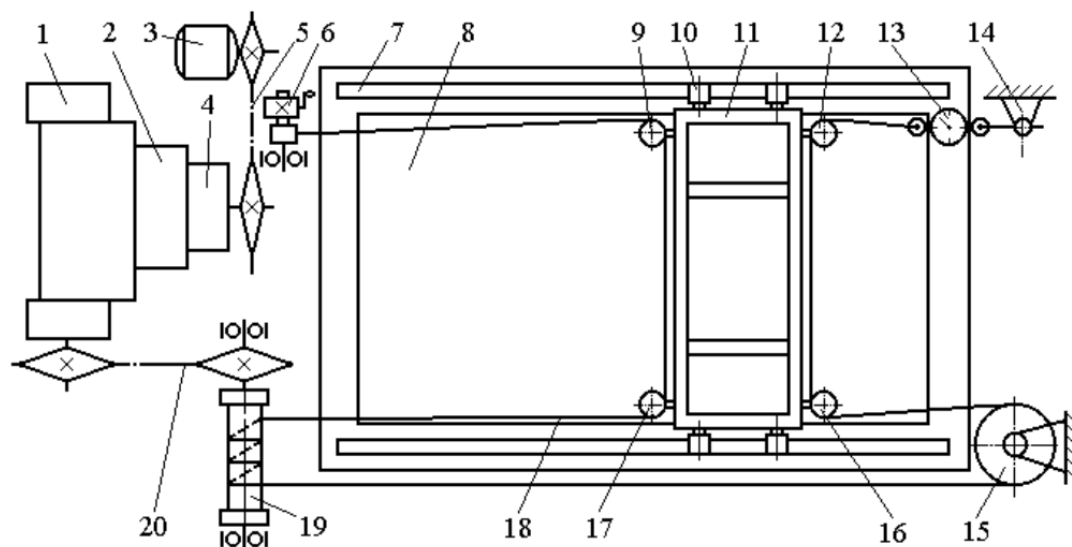


Рис. 3.2 Кінематична схема приводу динамометричного візка: 1 - задній міст трактора; 2 - коробка зміни передач; 3 - електродвигун; 4 - ходозменшувач; 5, 20 - ланцюгові передачі; 6 - лебідка попереднього натягування троса; 7 - рейкова колія; 8 - ґрунтовий канал; 9, 12, 15, 16, 17 - направляючі блоки; 10 - ходові котки; 11 - візок; 13 - динамометр-тензоперетворювач; 14 - опора; 18 - тяговий трос; 19 – бараба



Рис. 3.3 Навіска дослідного обладнання на динамометричний візок [41]



Рис. 3.4 Змінні дослідні ґрунторозпшувальні поверхні [66]

3.2 Тракторний агрегат для польових випробувань

Дослідження глибокорозпушувачів проводилися на базі тракторів тягового класу 3 . Робочі органи виконані тристояковими двоярусними. Для дослідження впливу розміщення стояків на рамі, необхідності додаткової обробки задернованого шару, наявності опорного колеса, виявлення переваг роботи глибокорозпушувача нової конструкції з глибокорозпушувачем попередньої конструкції [108], було виконано два дослідних зразки з V- та δ подібним виконанням несучої рами (рис. 3.5).



а) – V-подібне виконання [41];



б) – Δ -подібне виконання [66]

Рис. 3.5 Загальний вигляд робочих органів ярусного глибокорозпушувача

Варіант (а) має V-подібне розміщення стояків на несучій рамі. В стояках відсутнє перекриття робочих поверхонь в ярусах в напрямку руху. ґрунт, що розробляється, сприймає поперечний згин та стиск. Для регулювання заглиблення та стабільності руху змонтоване опорне колесо. Варіант (б) має Δ-подібне розміщення стояків на несучій рамі. В стояках відсутнє перекриття робочих поверхонь в ярусах в напрямку руху. ґрунт, що розробляється, сприймає тільки поперечний згин без стиску. Перед робочими поверхнями у верхньому ярусі встановлені вертикальні розрізні ножі. Конструктивно найближчий двохярусний тристояковий глибокорозпушувач має Δ-подібне розміщення стояків на несучій рамі. В стояках присутнє перекриття робочих поверхонь в ярусах в напрямку руху на $1/3$ довжини поверхні. ґрунт, що розробляється, сприймає поперечний згин та стиск.

Висновки до розділу

- Підтверджено прийнятий механізм фізичного процесу подрібнення ґрунтової скиби згином, за якою ґрунтовий шар руйнується внаслідок почергових горизонтальних та вертикальних розшарувань, з відсутністю перемішування. Нижні шари є деформуючими для вищих. Інтенсивність подрібнення наростає в напрямку від початкового нейтрального шару.

- Тягове зусилля залежить в більшій мірі від глибини розробки ґрунту ніж від кінцевого поперечного радіусу поверхні.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Стан умов та охорони праці в аграрній галузі економіки України, безпека технологічних процесів та стан виробничого середовища на сільськогосподарських підприємствах забезпечує динамічний розвиток аграрного сектору економіки. Україна прагне інтегруватися у європейську та світову системи господарювання, але для цього необхідне підвищення ефективності виробництва та продуктивності праці через вирішення проблема забезпечення гуманізації умов праці та визнання пріоритетної ролі людського чинника у створенні ефективної системи регулювання соціально-трудових відносин. Основою охорони праці на виробництві є навчання певним знанням щодо створення безпечних та комфортних умов праці. Забезпечує безпеку праці:

- керівник, який повинен створювати на робочих місцях безпечні умови праці [71];
- працівник, який повинен дотримуватися умов і вимог техніки безпеки на робочому місці [72].

4.1 Характеристика і аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які можуть виникнути під час роботи та обслуговування розпушувача ґрунту

При експлуатації запропонованого ґрунтообробного знаряддя можливе виникнення наступних нещасних випадків: травмування внаслідок наїзду знаряддя на робітників, які виконують його обслуговування; потрапляння спецодягу, частин тіла працівників до механізмів ґрунтообробного знаряддя, які рухаються, котяться чи обертаються; потрапляння мастила із гідросистеми в обличчя механізатора при виконанні приєднання або роз'єднання ґрунтообробного знаряддя з трактором; травмування частин тіла робітників об гострі кромки елементів конструкції знаряддя; опікові травми при загоранні паливо-мастильних матеріалів, внаслідок дії високої температури від двигуна трактора; травмування при перебуванні працівників в небезпечних зонах – між трактором і ґрунтообробним знаряддям при його приєднанні або русі;

потрапляння під ґрунтообробне знаряддя внаслідок його перевертання при порушенні останнім вимог до повздовжньої стійкості, зіткненні з іншими транспортними засобами при переїздах по дорогах загального призначення; виникнення поламок причіпного пристрою ґрунтообробного знаряддя. З метою усунення і запобігання переліченим небезпекам та аваріям конструктивне виконання знаряддя передбачає безпечне розташування вузлів і механізмів ґрунтообробного знаряддя, що зменшує ймовірність травмування обслуговуючого персоналу при виконанні розконсервування і постановки на консервацію, монтування, демонтування і експлуатації. Транспортування по дорогах загального призначення виконувати автотранспортом, перевіряти надійність кріплення до кузова автомобіля, перевірити кріплення піврам у транспортному положенні, обов'язково зафіксувати кронштейни стопорами [37, 68].

4.2 Розробка організаційно-технічних заходи по забезпеченню нормальних санітарно-гігієнічних умов праці під час роботи та обслуговування розпушувача ґрунту

Заходи із забезпечення безпечних умов праці на розробленій машині. Відповідно до умови забезпечення стійкості і керування агрегатом у повздовжньому напрямку на тракторі повинен бути передбачений кронштейн для закріплення вантажів, вага яких відповідає розрахунковій. Для роботи на схилах конструкцією забезпечена можливість поперечної стійкості до перекидання для трактора з агрегатом не менше 10^0 . Ґрунтообробне знаряддя у відчепленому стані здатне зберігати стійкість при застосуванні зусиль більше 200 Н. Можливість транспортування агрегату по дорогах загального призначення в темний час доби забезпечена наявністю світловідбивачів: позаду червоного кольору, попереду – білого, позаду з лівої сторони нанесено знак, регламентуючий обмеження максимальної швидкості згідно ПДР. Конструкцією чизеля забезпечена можливість приєднання до трактора одним оператором.

Зусилля, які прикладаються до гвинтів регулювання глибини обробітку не перевищує 200 Н. Загальне число робочих рухів оператора на хвилину при регулюванні та заправці не перевищує 25. Елементи конструкції чизельного агрегату не обмежують оператору огляд з робочого місця за об'єктами постійного спостереження. Робочі органи, які не мають жорсткого кріплення, при транспортуванні стопоряться механічними фіксаторами. Розроблений агрегат відповідає вимогам пожежної безпеки згідно Державним стандартам, нормам і правилам пожежної безпеки. Первинні засоби пожежогасіння встановлені в кабіні трактора. Місця для встановлення первинних засобів пожежогасіння легкодоступні і забезпечують їх знімання без використання додаткових пристроїв. Час на знімання не повинен перевищувати 8 с. [68, 69, 70].

4.3 Моделювання небезпечних ситуацій під час роботи та обслуговування розпушувача ґрунту

Отже, проаналізувавши та виявивши небезпечні зони (додаток А рис. 8) можна змодельовати виникнення небезпечних умов, а в подальшому і ситуацій при недотриманні хоча б однієї з вище перерахованих вимог. Наприклад розглянемо по одній небезпечній умові, що може виникнути в кожній небезпечній зоні [1] (додаток А рис. 8).

Небезпечна умова один НУ1 – надлишковий тиск у гідросистемі. НУ2 – машина знаходиться у відчепленому стані поза майданчиком. НУ3 – машина пофарбований в темні кольори. НУ4 – працівник не провів ТО у встановлений строк. НУ5 – рухомі частини агрегату не захищені. НУ6 – механізатор не пройшов інструктаж перед початком робіт. НУ7 – нехтування вимогами виробничої санітарії [1].

Наведені вище небезпечні умови при поєднанні з небезпечними діями працівника можуть призвести до виникнення небезпечних ситуацій, а в подальшому і до отруєнь, аварій, травм чи захворювання. Так, НД1 – працівник

знаходиться поблизу гідросистеми. НД2 – навіска агрегатів до трактора. НД3 – працівник не розрахував габарити МТА. НД4 – налагодження чи проведення технічного огляду МТА. НД5 – робота без засобів індивідуального захисту. НС1 – порив магістралей гідросистеми. НС2 – падіння агрегатів при під'єднанні до трактору. НС3 – наїзд на працівника. НС4 – травмування працівника при налагодженні агрегату. НС5 – зоонозні захворювання можуть потрапити організм працівника [1].

Для попередження виникнення аварій, травм, отруєнь чи захворювання необхідно дотримуватись всіх вимог безпеки в усіх небезпечних зонах, так як порушення хоч однієї з них в кінцевому результаті може призвести до небажаних наслідків [1].

Висновки до розділу

Отже, на створення безпечних та здорових умов праці, для попередження виробничого травматизму й професійних захворювань не може впливати такий, як кількість працюючих на підприємстві, чи обсяги виконуваних робіт. Є підприємство (велике, мале) – є небезпека, є небезпека – повинні бути заходи з їх вирішення і керівник повинен це усвідомлювати. Впровадження заходів з безпеки та гігієни праці завжди матиме значний позитивний вплив на профілактику виробничого травматизму і допоможе зберегти життя й здоров'я працівників під час трудової діяльності [71].

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Метою економічного розрахунку є визначення доцільності впровадження у виробництво нового робочого обладнання ярусного розпушувача.

Економічний ефект визначався у порівнянні з відомим аналогічним ярусним глибокорозпушувачем, але з лінійчатими ґрунторозпушувальними поверхнями [39]. Доцільність використання такого глибокорозпушувача (з лінійчатими поверхнями) було доведено позитивним ефектом, отриманим внаслідок значного приросту врожайності сільськогосподарських культур, в порівнянні з традиційними розпушувачами [40, 69].

Таблиця 5.1

Характеристики базової та нової машини

№	Показники	Одиниці виміру	Базова машина	Нова машина
1.	трактор	-	3	3
2.	Номінальне тягове зусилля	кН	30	30
3.	Номінальна потужність двигуна	кВт	55	55
4.	Питома витрата пального	г/(кВт·год)	265	265
5.	Конструкція робочого органу	-	двоярусний, тристояковий	двоярусний, тристояковий
6.	Вага робочого органу(з ґрунтом)	кН	7,1	7, 1
7.	Тип ґрунторозробної поверхні	-	лінійчата	радіальна
8.	Кількість ґрунторозробних поверхонь	шт.	6	6
9.	Глибина розробки	м	0,3	0,3
10.	Ширина захвату робочого органу	м	1,5	1,5
11.	Робоча швидкість руху	м/с	1,6	1,6

Розрахунок проводився для двох'ярусного тристоякового глибокорозпушувача. Конструктивне виконання рами робочого органу та кріплення ґрунторозпушувальних поверхонь для обох розпушувачів є

ідентичним. Так, як ґрунторозпушувальні поверхні мають схожий принцип дії, а якісна оцінка структури розпушеного ґрунту не мала суттєвих відмінностей, то порівняння проводилося на основі визначення питомих енергетичних показників. Найбільша частка витраченої непоновлювальної енергії при розпушенні ґрунту припадає на паливо

Розрахунок технічної продуктивності

$$П_T = 0,36B \cdot V_{agr}, \text{ га/год.}$$

Базова машина:

$$П_T = 0,36 \cdot 1,5 \cdot 1,6 = 0,9 \text{ га/год.}$$

Нова машина:

$$П_T = 0,36 \cdot 1,5 \cdot 1,6 = 0,9 \text{ га/год.}$$

Визначення тягового зусилля

$$P_T^{agr} = G_{agr} \cdot f - jkbh + j \cdot m[kh(2\delta + b) + P_T^{nov}], \text{ кН};$$

де $P_T \text{ пов}$ – тягове зусилля, яке затрачається на одну ґрунторозпушувальну поверхню. Значення $P_T \text{ пов}$ приймаємо на основі експериментальних результатів (див. табл. 4.7), з врахуванням зміни площі поперечного перерізу ґрунтового шару від $h \times L = 0,1 \cdot 0,32 \text{ м}^2$, при експерименті, до $h \times L = 0,15 \cdot 0,4 \text{ м}^2$ в заданих умовах. Згідно цього для базової машини $P_T \text{ пов} = 1,38 \cdot 1,875 = 2,93 \text{ кН}$, для нової машини

$$P_T \text{ пов} = 1,18 \cdot 1,875 = 2,21 \text{ кН.}$$

Базова машина:

$$P_T^{agr} = 7,1 \cdot 0,5 - 2 \cdot 30 \cdot 0,15 \cdot 0,15 + 2 \cdot 3[30 \cdot 0,15(2 \cdot 0,015 + 0,15) + 2,93] = 24,61 \text{ кН.}$$

Нова машина:

$$P_T^{agr} = 7,1 \cdot 0,5 - 2 \cdot 30 \cdot 0,15 \cdot 0,15 + 2 \cdot 3[30 \cdot 0,15(2 \cdot 0,015 + 0,15) + 2,21] = 20,34 \text{ кН.}$$

Годинна витрата пального

$$Q = 0,001q \cdot P_T^{agr} V_{agr}, \text{ кг/год};$$

де q – питома витрата пального, $\text{г}/(\text{кВт} \cdot \text{год})$.

Базова машина:

$$Q = 0,001 \cdot 265 \cdot 24,61 \cdot 1,6 = 10,43 \text{ кг/год.}$$

Нова машина:

$$Q = 0,001 \cdot 265 \cdot 20,34 \cdot 1,6 = 8,63 \text{ кг/год.}$$

Питомі грошові витрати

$$K_m = C \cdot Q / ПТ, \text{ грн./га;}$$

де C – ціна 1 кг дизельного пального.

Станом на 10.2024 $C = 51,00$ грн/кг.

Базова машина:

$$K_{б.м.} = 51,00 \cdot 10,43 / 0,9 = 593,3 \text{ грн/га.}$$

Нова машина:

$$K_{н.м.} = 51,00 \cdot 8,63 / 0,9 = 489,03 \text{ грн/га.}$$

Показники економічної ефективності Економічний ефект:

$$E = K_{б.м.} - K_{н.м.} = 593,3 - 489,03 = 104,27 \text{ грн/га.}$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$e = (K_{б.м.} - K_{н.м.}) / K_{б.м.} = (593,3 - 489,03) / 593,3 = 0,176.$$

З курсу економічної теорії відомо, що впровадження є доцільним (рентабельним) якщо $e \geq 0,15$. Підсумкові результати Результати розрахунків зводимо в табл.5.2.

Таблиця 5.2.

Порівняльні показники ефективності впровадження

№	Показник и	Одиниці виміру	Базова машина	Нова машина
1.	Технічна продуктивність	га/год	0,9	0,9
2.	Необхідне тягове зусилля	кН	24,61	20,34
3.	Годинна витрата пального	кг/год	10,43	8,63
4.	Питомі грошові витрати	грн/га	593,3	489,03
5.	Економічний ефект	грн/га	-	104,27
6.	Економічна ефективність	%	-	17,6

Висновки до розділу

Доведено економічну доцільність впровадження нового розпушувача за питомими енергетичними показниками. Показник економічної ефективності становить 17,3%

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Аналіз чинних способів і засобів глибокого розпушення ґрунту показав неповну їх відповідність сучасним агротехнічним вимогам до якості виконання процесу та його диференціації за глибиною обробітку.

Ґрунтуючись на попередніх дослідженнях, встановлено, що перспективним напрямом усунення вказаних недоліків є створення нового, ярусно-адаптованого до ґрунтових умов робочого органа, основним принципом роботи якого є згин ґрунтової скиби.

На основі методів оптимізації та математичного моделювання, теоретично обґрунтовано аналітичні залежності для визначення форми та параметрів ґрунторозпушувальних поверхонь: кінцевого радіуса (2.19), ширини (2.23), довжини (2.29) та їх рознесення в напрямі руху машини: вертикального та горизонтального взаємного зміщення різальних кромek, кута встановлення поверхні до дна борозни, які дають змогу визначити раціональні значення цих параметрів диференційованих за глибиною обробітку.

Порівняння техніко-економічних показників розробленого глибокорозпушувача з найбільш близьким конструктивно ярусним безвідвальним робочим органом та найбільш поширеним серійним відвальним знаряддям показало більшу його ефективність, відповідно: за показниками якості розпушення – 2,1% і 21,0%; за питомим тяговим опором – 18,0% і 26,6%; за відносними кількісно-якісними показниками – 20,8% і 30,9%. У порівнянні з найбільш конструктивно близьким безвідвальним ярусним робочим органом економічна ефективність за витратою паливних матеріалів становить 17,3%

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Порхун І.М. Удосконалення конструкції щілиноріза Кваліфікаційна робота (дипломний проект) перший (бакалаврський). УНУС Умань 2023 39с.
2. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Механікотехнологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України. К.: Нора-прінт, 1999. 280 с.
3. Липець Е., Медведєв В.В., Линдіна Т.Є. Вплив щільності ґрунту на засвоєння сільськогосподарськими культурами поживних елементів. Вісник аграрної науки: Науково-теоретичний журнал УААН. №5, 2002. С. 11-15.
4. Куцеруба В. Я. Розробка операційної технології рихлення ґрунту з модернізацією глибокорозпушувача : кваліфікаційна робота : спец. 208 «Агроінженерія» / Поліський нац. ун-т, каф. агроінженерії та технічного сервісу; наук. кер. Заєць М. Л. – Житомир, 2024. – 29 с.
<http://ir.polissiauniver.edu.ua/handle/123456789/15887>
5. Медведєв В.В., Лактіонова Т.М., Почепцова Л.Г. Вплив структури ґрунту на фільтраційну здатність // Вісник аграрної науки: Науковотеоретичний журнал УААН. №3, 2003. С. 5-7.
6. Цизь, І., & Голій, В. (2024). Обґрунтування конструкції та дослідження тягового опору робочого органу знаряддя для глибокого розпушення ґрунту. *сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, 1(22), 337-348.
<https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1377>
7. Гуков Я.С. Проблеми обробітку ґрунту і шляхи їх розв'язання. Вісник аграрної науки: Науково-теоретич журнал УААН. №1, 1996. С. 28-30.
8. X. Wang, B. Li, R. Xia, *et al.* The effect of two wings of subsoiler on tillage based on DEM Eng. Appl. Discret. Elem. Method, 27 (2) (2021), pp. 159-171 View at publisherCrossrefView in ScopusGoogle Scholar
9. Гунько І.В. Технічний сервіс в АПК. Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. Супрун Д.Г., Гунько І.В., Паладійчук Ю.Б., Швець Л.В. Вінниця, ВНАУ, 2012. 197с.

10. Цизь І.Є., Голій О.В., Хвесик В.О., Оласюк Я.В., Деміх І.В. Дослідження процесу та знаряддя для глибокого розпушення ґрунту. Сучасні технології в ашинобудуванні та транспорті, 2023, №1(20), 290-302 с.
11. Дубровін В.О., Сушко Д.С., Волик Б.А. та ін. Особливості основного обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи // Науковий вісник НАУ. – К.: НАУ, 2004. вип. 73., Ч.2. С. 55-59.
12. Сисолін П., Сало В. Уніфіковані ґрунторозпушувачі для захисних систем землеробства // Техніка АПК: Науково-технічний журнал. №2, 2000. С. 12-15.
13. Цизь І.Є., Голій О.В. Результати дослідження твердості ґрунту полів Дпедг «Еліта». Сільськогосподарські машини № 50 2024, 25-36, <https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1332>
14. Bednar. (n.d.). Terraland TN. Retrieved April 27, 2024, from <https://www.bednar.com/en/terraland-tn/>
15. Greatplain. (n.d.). Sub-soiler. Retrieved April 28, 2024, from <https://www.greatplainsag.com/en-gb/products/709/sub-soiler>
16. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. В 2 т. Харків: Око, 2001. Т.І (ч.1): Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. 444 с.
17. Gregoire-besson. (n.d.). Sub-Soilers. Retrieved April 27, 2024, <https://www.gregoire-besson.com/en/machines/heli>
18. Jympa. (n.d.). Subsoiler. Retrieved April 28, 2024, from: <https://jympa.com/en/products/agriculture/subsoilers/>
19. Павлоцький А.С., Савченко І.Ф. Використання ґрунтодеформуючої поверхні у проектуванні робочих органів // Вісник аграрної науки: Науково-теоретичний журнал УААН. №8, 2000. – С. 51-53.
20. Ткачук В.Ф., Рижий О.П. Дослідження міцності та деформаційних властивостей талих ґрунтів при розтягуванні // Збірник наукових праць. Випуск 3 (16). Рівне: РДТУ: 2002. с. 211-216.
21. Wil-rich. (n.d.). Rippers. Retrieved April 28, 2024, from <https://www.wil-rich.com/primary-tillage/rippers/357-inline-ripper/>

22. Грунтообробна техніка. Каталог продукції Компанії “FAVORIT”. URL: <https://favorit-td.com.ua/ua/g40733348-pochvoobratyvayuschaya-tehnika>.
23. Кондратюк Дмитро Гнатович. Удосконалення робочого процесу та обґрунтування параметрів ротаційних граблів-сіноворушилок з відцентровими робочими органами : Автореф. дис...канд. техн. наук (05.20.01) / Дніпропетровський аграрний ун-т. Дніпропетровськ, 1995. 24 с.
24. Глибкорозпушувачі. Каталог продукції Компанії “DEMETRA”. URL: <https://demetra-site.com.ua/catalog/glibkoro-zpushuvachi>.
25. Коломієць М.В. Оптимізація обробітку ґрунтів лісостепу: наукові та прикладні аспекти. Вісник аграрної науки: Науково-теоретичний журнал УААН. №1, 1998. С. 12-16.
26. Глибкорозпушувач SHEDR. Каталог продукції підприємства «Агрокалина». URL: <https://agrokalina.com/hruntoobrobna-tekhnika/hlybokoro-zpushuvach/shedr>.
27. Обробіток ґрунту. Каталог продукції компанії KUHN. URL: <https://www.kuhn.ua/roslynnytstvo/obrobitok-gruntu>.
28. Основні види обробітку ґрунту. Каталог продукції компанії BEDNAR. URL: <https://www.bednar.com>.
29. Чизель глибкорозпушувач. Каталог продукції «БМ-Сістемс». URL: <https://www.agrobm.com/chyzeli-glybokoro-zpushuvachi>.
30. Лук'янчук О.П. Експериментальні дослідження ґрунтової балки на згин. Вісник УДУВГП, Збірник наукових праць. Рівне: УДУВГП, 2003, вип. 2 (21), с. 151-156.
31. Ткачук В.Ф., Лук'янчук О.П. Можливі технологічні поверхні кришільних ковшів багатоярусного розпушувача. Вісник РДТУ, Технічні науки. Сільськогосподарські науки. Збірник наукових праць. Випуск 3 (16), Рівне 2002, с. 204–210.
32. Стрельченко В.П., Бовсуновський А.М., Налапко М.В. Вплив рослинних решток в орному шарі ґрунту на продуктивність сівозмін // Вісник аграрної науки: Науково-теоретичний журнал УААН. №3, 2003. С. 9-11.

33. Пришляк В.М., Погорілець О.М.. Сільськогосподарські машини: розрахунок, проектування. Методичні вказівки до виконання курсової роботи. ВНАУ, 2016. С. с.84.
34. Глиботорозпушувачі. Каталог виробника Maschio Gaspardo. URL: <https://www.maschiogaspardo.com/en/web/international>.
35. Глиботорозпушувачі. Каталог виробника Gregoire Besson. URL: <https://www.gregoire-besson.com/ua/machines/helios>.
36. Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І. Оцінка ефективності глибокого безполицевого обробітку ґрунту // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кропивницький: ЦНТУ. Вип. 50. 2020. С. 3-11. URL: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2020.50.3-11>
<https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/10951>
37. Лелека, Д. О. Удосконалення комбінованого ґрунтообробного агрегату з обґрунтуванням параметрів робочих органів : кваліфікаційна магістерська робота : спец. 133 «Галузеве машинобудування» / наук. кер. Д. І. Петренко ; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2024. – 58 с. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/14629>
38. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навч. Посібник. К: НМК ВО, 1992. 320 с.
39. Швець Л.В. Технічний сервіс в АПК. Том І. Навчальний посібник. / Швець Л.В., Паладійчук Ю.Б., Труханська О.О./ Вінницький національний аграрний університет, 2019. 647с
40. Гуков Я.С. Грицишин М.І. Погорілий Л.В. та ін. Концепція розроблення системи машин для виробництва сільськогосподарської продукції // Вісник аграрної науки: Науково-теоретичний журнал УААН. №9, 2002. С. 48-50.
41. Рижий О.П. Обґрунтування параметрів багатоярусного агромеліоративного розпушувача: Дис. канд. техн. наук – Львів, 2003. - 177 с.

42. Тищенко С.С., Дубровін В.О., Сушко Д.С. Визначення сил, що діють на скибу з боку робочої поверхні плужного корпусу // Науковий вісник НАУ. К.: НАУ, 2003. вип. 60. С. 323-329.
43. Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І., Васильковський О.М., Мельніченко В. Дослідження впливу параметрів глибокорозпушувача та комбінації робочих органів на ефективність обробітку ґрунту. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кропивницький: ЦНТУ. Вип. 53. 2023. С. 196-208. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.196-208>
44. Nukeshev S, Tanbayev K, Ramaniuk M, Kakabayev N, Sugirbay A, Moldazhanov A. Spray Angle and Uniformity of the Flat Fan Nozzle of Deep Loosener Fertilizer for Intra-Soil Application of Fertilizers. *AgriEngineering*. 2024; 6(2):1365-1394. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6020079>
45. Lijiao Wei, Weihua Huang, Jian Liu, Ming Li, Zhenhui Zheng, Shuo Wang, Dongjie Du, Yuan Zhang, DEM simulation of subsoiling in tropical sugarcane fields: Effects of opposing subsoiler design and model parameters, *Smart Agricultural Technology*, Volume 9, 2024, 100593, ISSN 2772-3755, <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100593>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772375524001989>)
46. J. Yuan, J. Wang Analysis on operational process of self-excited vibrating subsoiler based on DEM-MBD coupling algorithm *Trans. CSAM*, 51 (2020), pp. 17-24 View in ScopusGoogle Scholar
47. S.K. Shukla, V.P. Jaiswal, L. Sharma, *et al.* Sugarcane yield using minimum tillage technology through subsoiling: beneficial impact on soil compaction, carbon conservation and activity of soil enzymes *SugarTech*, 22 (2) (2020), pp. 31-43 Google Scholar
48. X. Zhang, R. Zhang, S. Ru, X. Zhang, Y. Li, D. Liang Design and experiment of pre-soil-breaking chisel-type subsoilers for banana field in hot areas of Hainan

- Province, China Trans. Chin. Soc. Agric. Eng., 36 (18) (2020), pp. 49-55 Google Scholar
49. Калетнік Г.М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість. Ч I, II : Підручник/ Г.М. Калетнік, М.Г. Чаусов, В.М. Швайко, В.М. Пришляк, А.П. Пилипенко, М.М. Бондар. К.: Хай-ТекПрес, 2011. 616 с.
 50. X. Zhang, R. Zhang, S. Ru, X. Zhang, Y. Li, D. Liang Design and experiment of pre-soil-breaking chisel-type subsoilers for banana field in hot areas of Hainan Province, China Trans. Chin. Soc. Agric. Eng., 36 (18) (2020), pp. 49-55 Google Scholar.
 51. Romanovsky A.L., Kravets S.V., Tkachuk V.F., Nechidjuk A.A. Multi-tier plough. International publication №. W 091/03607 International application № PCT/SU 89/00238. The International Bureau of WIPO, Geneva, Switzerland, 21.03.91
 52. J. Tong, X.H. Jiang, Y.M. Wang, *et al.* Tillage force and disturbance characteristics of different geometric-shaped subsoilers via DEM Adv. Manuf., 8 (2020), pp. 392-404 View at publisherCrossrefView in ScopusGoogle Scholar
 53. Fang H.I., Chan W.F. New method for determination of tensile strength of soils. Highway research record, 345 с., 1971. с. 62-68.
 54. Будівельні і меліоративні машини: Підручник під заг. ред. д.т.н., проф., акад. В.Л. Баладінського. –Рівне: РДТУ, 1999. 404 с.
 55. Wasserleitungen und Abwasserleitungen von Ing. Adolf Böhm und Dipl.- Gwl. Gisela Lischka, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1989.
 56. Бойко І.М., Сало В.М., Серeda Л.І. Формалізація процесу безполицевого обробітку ґрунту. Техніка АПК: Науково-технічний журнал. №10- 12, 2001. С. 25-26.
 57. X. Wang, R. Du, L. Geng, *et al.* Performance evaluation of a cicada-inspired subsoiling tool using DEM simulations Biomimetics, 9 (1) (2024), p. 25 View PDFView articleGoogle Scholar
 58. P. Wu, X. Zhang, Z. Zeng, *et al.* DEM simulation of subsoiling for soil disturbance as affected by soil layering and working speed Smart Agric. Technol., 7 (2024), Article 100385 View PDFView articleView in ScopusGoogle Scholar

59. Z. Zhao, D. Wang, S. Shang, *et al.* Analysis of cyperus esculentus-soil dynamic behavior during rotary tillage based on discrete element method Agriculture, 13 (2) (2023), p. 358 View in ScopusGoogle Scholar
60. L. Zhang, Y. Zhai, J. Chen, *et al.* Optimization design and performance study of a subsoiler underlying the tea garden subsoiling mechanism based on bionics and EDEM Soil Tillage Res., 220 (05) (2022), pp. 96-108 Google Scholar
61. W. Song, X. Jiang, L. Li, *et al.* Increasing the width of disturbance of plough pan with bionic inspired subsoilers Soil Tillage Res., 220 (17) (2022), pp. 56-67 View in ScopusGoogle Scholar
62. M. Li, J. Yu, A. Zhang, R. Wang, R. Shao, M. Dong Operation parameter optimization and experiment of hydraulic ForcecVibration subsoiling monomer J. Agric. Mech. Res., 44 (10) (2022), pp. 97-107 View at publisherCrossrefGoogle Scholar
63. L. Zhang, Y. Zhai, J. Chen, Z. Zhang, S. Huang Optimization design and performance study of a subsoiler underlying the tea garden subsoiling mechanism based on bionics and EDEM Soil Tillage Res., 220 (10) (2022), pp. 59-75 Volume View at publisherCrossrefGoogle Scholar
64. Kondratiuk A, Šarauskis E, Sheludchenko B, Kukharets S, Jasinskas A, Zabrodskiy P, Shubenko V. Substantiation of the Use of a Flexible Chain-Type Subsoiler for Improving the Agrotechnological Properties of Soil. *Sustainability*. 2024; 16(13):5355. <https://doi.org/10.3390/su16135355>
65. Vanderhasselt A.,Cool S.,D'Hose T., andCornelis W.,How tine characteristics of subsoilers affect fuel consumption, penetration resistance and potato yield of a sandy loam soil,Soil and Tillage Research. (2023)228, <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105631>
66. Заболотний К.В. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів глибокорозпушувача ґрунту. Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 – Агроінженерія ВНТУ, 2020 97с. <http://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/26037.pdf>

67. Порхун І.М., Лісовий І.О. Перспективність конструкції щілиноріза з наповнювачем. Abstracts of XXVI International Scientific and Practical Conference. «Modernity and scientific youth trends» July 03 – 05, Hamburg, Germany. Pp. 150-154. URL: <https://eu-conf.com/events/modernity-and-scientific-youth-trends/>
68. Качур, В. В. Удосконалення чизельного ґрунторозпушувача з обґрунтуванням параметрів котків : кваліфікаційна магістерська робота : спец. 133 «Галузеве машинобудування» / наук. кер. Д. І. Петренко ; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – 61 с. URI <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/14627>
69. Довгиш, І. О. Механізація вирощування соняшнику із вдосконаленням агрегату для безполицевого обробітку ґрунту : кваліфікаційна бакалаврська робота : спец. 208 «Агроінженерія» / наук. кер. С. М. Лещенко ; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – 48 с. URI <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/14646>
70. Павлишак, В. О. Механізація вирощування пшениці з дослідженням робочого органа плуга-розпушувача : магістерська дипломна робота : спец. 208 «Агроінженерія» / наук. кер. В. В. Амосов ; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – 75 с. URI <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/13881>
71. Курепін В.М. Система забезпечення безпеки праці та мінімізації випадків травматизму на малих аграрних підприємствах // Актуальні проблеми та перспективи розвитку охорони праці, безпеки життєдіяльності та цивільного захисту : матеріали V Всеукр. наук.-практ. конф., 4-5 травня 2023 року, м. Одеса. Одеса : ОДАБА, 2023. С. 141-145. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/13461>.
72. Лотарева Д. В. Ключеві принципи управління охороною праці у зарубіжних країнах на прикладі США. Участь молоді у розбудові агропромислового комплексу України : збірник тез наук.-теорет. 36-ї студентської конф. (м.

Миколаїв, 20-22 березня 2024 р.). Миколаїв : МНАУ, 2024. С. 23-26.

<https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/17836>

ДОДАТКИ

CERTIFICATE OF PARTICIPATION

The XXVI International Science Conference
«Modernity and scientific youth trends»

This is to certify the participation in the conference and the publication of the article in the corresponding proceedings

Порхун Іван Миколайович

12 Hours of Participation (0,4 ECTS credits)
JULY 03 - 05, 2023
HAMBURG, GERMANY

