

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

технічної механіки та сільськогосподарських машин

(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

Удосконалення технологічної операції основного обробітку

грунту з обґрунтуванням параметрів спеціального плуга

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МГ

спеціальності

208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

Коруна О.Ю.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Сташків М.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)





## Реферат

Мета і завдання дослідження – підвищення ефективності технологічної операції основного обробітку ґрунту шляхом удосконалення конструкції плуга та обґрунтування його параметрів.

Мета досягається шляхом розробки конструкції плуга зі змінною шириною захвату та оптимізації його основних робочих параметрів, що дозволяє знизити енерговитрати та підвищити якість обробітку ґрунту.

Мета реалізовується при вирішенні наступних завдань: проаналізовано сучасні технології виконання основного обробітку ґрунту; досліджено фізико-механічні властивості ґрунту як середовища обробітку; обґрунтовано доцільність використання плуга зі змінною шириною захвату; визначено агротехнічні та експлуатаційні вимоги до відвальних плугів; проведено аналіз конструкцій сучасних плугів; розроблено конструкцію восьмикорпусного начіпного плуга; виконано розрахунок механізму регулювання ширини захвату; проведено розрахунок механізму регулювання глибини обробітку; визначено параметри ножів та дискового ножа плуга; виконано енергетичне обґрунтування параметрів агрегату.

Об'єктом дослідження – технологічний процес основного обробітку ґрунту.

Предмет дослідження – конструктивні та технологічні параметри плуга зі змінною шириною захвату.

Практичне значення – розроблена конструкція плуга дозволяє адаптувати ширину захвату до умов роботи, забезпечити стабільну глибину обробітку, підвищити продуктивність агрегату, зменшити тяговий опір та енерговитрати, а також покращити якість основного обробітку ґрунту.

Робота складається з вступу, чотирьох розділів, переліку використаних джерел та додатків.

Ключові слова. Обробіток ґрунту, плуг, ширина захвату, глибина оранки, робочий орган, дисковий ніж, тяговий опір, технологічний процес.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИКОНАННЯ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР .....	6
1.1 Сучасний рівень розвитку механізованого обробітку ґрунту.....	6
1.2 Фізико-механічні характеристики ґрунту як середовища обробітку .....	9
1.3 Обґрунтування ефективності використання та розробки плуга зі змінною шириною захвату .....	12
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ .....	15
2.1 Агротехнічні та експлуатаційні вимоги до відвальних плугів .....	15
2.2 Аналіз конструкцій сучасних тракторних плугів .....	17
2.3 Обґрунтування конструкції та опис функціональної схеми восьмикорпусного начіпного плуга .....	23
3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА .....	27
3.1 Обґрунтування вибору та розрахунок параметрів механізму регулювання ширини захвату плуга.....	27
3.2 Розрахунок механізму регулювання глибини обробітку ґ.....	31
3.3 Обґрунтування та визначення параметрів ножів плуга .....	34
3.4 Обґрунтування вибору та визначення параметрів дискового ножа .....	37
3.5 Енергетичне обґрунтування параметрів плуга .....	39
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	44
4.1 Небезпеки, що виникають при виконанні основного обробітку ґрунту .....	44
4.2 Заходи охорони праці при виконанні основного обробітку ґрунту .....	47
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	50
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	52

## ВСТУП

Розвиток сільського господарства України характеризується зростаючими вимогами до ефективності використання земельних ресурсів, підвищення врожайності культур та зниження енергетичних і матеріальних витрат на виконання технологічних операцій. Однією з ключових ланок у системі землеробства є основний обробіток ґрунту, який значною мірою визначає водно-повітряний режим, структуру ґрунту, рівень його ущільнення, а також умови для розвитку кореневої системи рослин.

Незважаючи на значний рівень механізації аграрного виробництва, існуючі технічні засоби для виконання основного обробітку ґрунту не завжди забезпечують оптимальне поєднання якості обробітку, продуктивності та енергетичної ефективності. Традиційні конструкції плугів часто характеризуються підвищеним тяговим опором, недостатньою адаптивністю до різноманітних ґрунтово-кліматичних умов та обмеженими можливостями регулювання робочих параметрів. Це зумовлює необхідність їх удосконалення, зокрема шляхом обґрунтування конструктивних і технологічних параметрів спеціалізованих робочих органів.

Особливої актуальності набуває питання удосконалення технологічної операції основного обробітку ґрунту шляхом розробки та впровадження спеціальних плугів, які забезпечують зниження енерговитрат, підвищення якості розпушування, збереження вологи та мінімізацію негативного впливу на ґрунтову структуру. Використання таких знарядь дозволяє оптимізувати агротехнічні показники обробітку, знизити ступінь переущільнення орного шару та покращити екологічний стан полів.

# 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИКОНАННЯ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР

## 1.1 Сучасний рівень розвитку механізованого обробітку ґрунту

Обробіток ґрунту – це цілеспрямований механічний вплив на нього за допомогою робочих органів сільськогосподарських машин і знарядь. Його основне призначення полягає в покращенні структури ґрунтового шару, регулюванні його щільності, накопиченні та збереженні вологи, а також зменшенні засміченості посівів бур'янами.

За глибиною та призначенням виділяють основний, передпосівний і спеціалізований обробіток ґрунту.

Основний обробіток передбачає глибоке розпушення ґрунту з обертанням або без обертання скиби. Поряд із традиційними технологіями активно впроваджується мінімальний обробіток, який характеризується скороченням кількості операцій, зменшенням глибини впливу та поєднанням кількох технологічних процесів в одному проході агрегату. Такий підхід дозволяє знизити витрати енергії, зменшити ущільнення та руйнування структури ґрунту, а також підвищити ефективність виконання польових робіт.

Окрім цього, застосовується нульовий обробіток ґрунту, який полягає у висіванні насіння без попереднього механічного обробітку або лише у вузько оброблені смуги. Це сприяє збереженню природної структури ґрунту та зменшенню ерозійних процесів.

Важливим шляхом підвищення врожайності технічних культур і стабільності їх виробництва є впровадження ресурсозберігаючих технологій. Вони базуються на врахуванні біологічних особливостей культур, властивостей ґрунту та використанні сучасної високопродуктивної техніки, зокрема потужних тракторів і швидкісних сільськогосподарських машин.

Якість обробітку ґрунту істотно впливає на продуктивність технічних культур. Сучасна промисловість виготовляє широкий спектр плугів загального

призначення, які агрегатуються з тракторами тягового класу 1,4–5,0 та застосовуються для обробітку ґрунтів під різні види культур.

Вибір конкретних машин і знарядь здійснюють з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов господарства та прийнятої технології вирощування. У разі використання інтенсивних технологій ефективним є застосування додаткових пристроїв до плугів, які підвищують якість обробітку.

Оранка є однією з найбільш енергозатратних операцій, тому особливого значення набуває правильне формування машинно-тракторного агрегату. Рационально скомплектований агрегат повинен забезпечувати високу якість роботи при мінімальних витратах ресурсів і максимальній продуктивності.

Підбір агрегатів здійснюють на основі характеристик ґрунту, глибини обробітку, довжини гону та даних технологічних карт вирощування культур.

Застосування звичайної оранки без додаткових пристосувань може спричинити небажані наслідки, зокрема інтенсивне висихання ґрунту, руйнування його структури та погіршення біологічної активності. Дослідження показують, що вже через кілька годин після оранки, особливо в теплу сонячну погоду, відбувається значне підвищення твердості поверхневого шару ґрунту.

Після оранки в ґрунті часто залишаються порожнини, що сприяє втратам вологи та погіршує умови проростання насіння. З метою підвищення якості обробітку доцільно проводити одночасно з оранкою подрібнення грудок, ущільнення та вирівнювання поверхні за допомогою спеціальних пристроїв.

Передпосівний обробіток спрямований на підготовку ґрунту до сівби: розпушення, вирівнювання поверхні, знищення бур'янів і загортання добрив на глибину до 14–16 см.

Спеціалізований обробіток включає виконання таких операцій, як плантажна (рис. 1.1) або ярусна оранка (рис. 1.2), формування грядок, нарізання щілин та інші технологічні заходи, що обумовлені особливостями вирощуваних культур.



Рисунок 1.1 – Приклад виконання плантажної оранки

Іншим прикладом є ярусна оранка, яка є дієвим заходом проти забур'яненості площ під посадку кукурудзи, рис. 1.2



Рисунок 1.2 – Підготовки поля до посіву кукурудзи виконанням ярусної оранки

Сукупність технологічних прийомів утворює систему обробітку ґрунту. Основними її різновидами є полицева, безполицева та мінімальна системи.

Полицевий обробіток передбачає підрізування і перевертання скиби з загортанням рослинних решток, добрив і насіння бур'янів. Це найпоширеніший спосіб обробітку, рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – Звичайний полицевий обробіток ґрунту

Безполицевий обробіток полягає у глибокому розпушенні ґрунту без його перевертання зі збереженням рослинних решток на поверхні, що забезпечує захист від вітрової ерозії та сприяє збереженню вологи.



Рисунок 1.4 – Приклад безполицевого обробітку ґрунту

## **1.2 Фізико-механічні характеристики ґрунту як середовища обробітку**

Ґрунт являє собою складну багатокомпонентну систему, що функціонує як трифазне дисперсне середовище. Його структура формується поєднанням твердих частинок, рідкої фази (ґрунтового розчину) та газоподібного середовища (повітря). Окрім мінеральної основи, у ґрунті містяться органічні залишки, коренева маса рослин, а також численні мікро- та макроорганізми, які відіграють важливу роль у процесах ґрунтоутворення і формуванні родючості.

Мікроорганізми забезпечують розклад органічних решток і сприяють накопиченню гумусу, що істотно покращує агрофізичні та технологічні властивості ґрунту. Співвідношення між твердою, рідкою та газоподібною фазами визначає його механічну поведінку під час обробітку.

Однією з ключових характеристик є щільність ґрунту, яка визначається як відношення маси сухого зразка до його об'єму. Для орного шару цей показник зазвичай знаходиться в межах 0,9–1,6 г/см<sup>3</sup>, тоді як підорні горизонти мають більшу щільність – до 1,6–1,8 г/см<sup>3</sup>. Регулювання щільності можливе за рахунок механічного обробітку, що дозволяє адаптувати ґрунт до вимог конкретних культур.

Тверда фаза ґрунту представлена частками різного розміру, які утворилися внаслідок вивітрювання гірських порід. Залежно від гранулометричного складу ґрунти поділяють на важкі (з підвищеним вмістом мулистих фракцій) та легкі (з переважанням піску). Важкі ґрунти характеризуються високим питомим опором, низькою водопроникністю та повільним прогріванням. Водночас легкі ґрунти легко піддаються обробітку, швидко пропускають вологу, але гірше її утримують.

Найбільш сприятливими для обробітку і вирощування культур вважаються суглинкові та супіщані ґрунти, у яких вміст мулистих часток становить приблизно 10–40%.

За розмірами часток виділяють так званий «скелет» ґрунту (частинки понад 1 мм) і дрібнозем (менше 1 мм). Вміст великих часток визначає ступінь кам'янистості ґрунту:

до 0,5% – ґрунти практично без каміння;

0,5–5% – слабокам'янисті;

5–10% – середньокам'янисті;

понад 10% – сильнокам'янисті.

Дрібнозем, у свою чергу, складається з фізичного піску (частки більше 10 мкм) і фізичної глини (менше 10 мкм), що визначає механічний склад ґрунту.

За структурним станом ґрунти поділяються на структурні та

безструктурні. Структурні ґрунти формують агрегати різних розмірів:

- брилуваті (>10 мм);
- грудкуваті (3–10 мм);
- зернисті (0,25–3 мм);
- пилуваті (<0,25 мм).

Найбільш агрономічно цінною є зернисто-грудкувата структура з розміром агрегатів 0,25–10 мм, яка забезпечує оптимальне поєднання водопроникності, аерації та міцності. Безструктурні ґрунти, навпаки, мають або надмірно ущільнену пилувату масу, або великі тверді брили, що погіршує водний та повітряний режими. Внаслідок цього збільшується тяговий опір під час механічного обробітку.

Важливим фактором є вологість ґрунту, яка визначає його фізичний стан і придатність до обробітку. Розрізняють кілька форм ґрунтової води:

- зв'язану (адсорбовану);
- капілярну;
- гравітаційну (вільну);
- пароподібну.

Кількісно вологість оцінюється абсолютними та відносними показниками, що характеризують співвідношення маси води та сухої речовини.

Однією з важливих технологічних характеристик є твердість ґрунту, тобто його здатність протидіяти проникненню сторонніх тіл під дією навантаження. Не менш суттєвим показником є сплість ґрунту – стан, при якому його обробіток потребує найменших енерговитрат. Такий стан досягається за відносної вологості приблизно 40–70% і абсолютної – 15–30%.

До властивостей, що визначають поведінку ґрунту під час механічного впливу, також належать:

- пластичність – здатність зберігати надану форму після зняття навантаження;
- липкість – схильність прилипати до робочих поверхонь машин;
- пружність – здатність до відновлення початкової форми;

абразивність – інтенсивність зношування робочих органів (найвища у піщаних ґрунтах).

Таблиця 1.1 – Класифікація ґрунтів по механічному складу

Типи ґрунтів	Вміст %	
	Фізичного піску	Фізичної глини
Глина	менше 50%	більше 50
Суглинок	50...80	50...20
Супіщаний	80...90	20...10
Пісок	більше 90	менше 10

Окремо слід відзначити такі інтегральні характеристики, як пористість і об’ємна маса. Пористість визначається часткою пор у загальному об’ємі ґрунту та може змінюватися від 40–50% у піщаних до 80–90% у торф’яних ґрунтах. Для суглинків і глин цей показник становить у середньому 50–60%.

Саме сукупність наведених фізико-механічних властивостей визначає опір ґрунту обробітку, енергоємність технологічних операцій та ефективність використання сільськогосподарських машин. Тому їх урахування є принципово важливим при проектуванні й удосконаленні робочих органів, зокрема плугів зі змінною шириною захвату, які мають адаптуватися до змінних умов роботи та забезпечувати оптимальні показники якості обробітку.

### **1.3 Обґрунтування ефективності використання та розробки плуга зі змінною шириною захвату**

У провідних аграрних країнах світу, зокрема у США та державах Західної Європи, спостерігається стійка тенденція до трансформації підходів у технологіях обробітку ґрунту. Сучасний розвиток землеробства спрямований на поступовий відхід від традиційної глибокої оранки та впровадження ґрунтозахисних технологій, особливо в регіонах, що піддаються водній та вітровій ерозії. У таких умовах дедалі ширше застосовується чизельний обробіток, який дозволяє зменшити ущільнення ґрунту порівняно з

відвальними і плоскорізальними способами.

Важливою тенденцією є також інтеграція декількох технологічних операцій в один прохід агрегату, що сприяє зменшенню кількості проходів техніки полем. Для важких за механічним складом ґрунтів усе частіше застосовують поверхневий або комбінований обробіток замість традиційного глибокого.

Застосування ґрунтозахисних технологій дозволяє суттєво скоротити витрати ресурсів. Завдяки зменшенню кількості проходів машин знижується ущільнення ґрунту, зберігається його природна структура, а також досягається економія палива, часу та фінансових ресурсів. Історичний аналіз показує стрімке зростання площ, оброблюваних за такими технологіями: від кількох десятків мільйонів гектарів у другій половині ХХ століття до домінуючої частки оброблюваних земель у сучасному сільському господарстві.

На сьогодні одним із головних обмежувальних факторів підвищення врожайності є саме якість і спосіб обробітку ґрунту, насамперед його вплив на формування агрофізичної структури. Раціональний обробіток повинен забезпечувати оптимальний структурний стан орного шару та плавний перехід до підорного горизонту. Хоча традиційні прийоми, що передбачають загортання рослинних решток у ґрунт, залишаються актуальними, зростає значення технологій, які формують мульчуючий шар на поверхні поля. Такий шар сприяє зменшенню випаровування вологи, покращенню водного режиму та захисту ґрунту від ерозійних процесів.

У контексті підвищення ефективності польових робіт та адаптації до різних ґрунтово-кліматичних умов особливої актуальності набуває використання плугів із регульованою (змінною) шириною захвату. Такі машини дозволяють оптимізувати роботу агрегату залежно від типу ґрунту, його вологості, щільності та рівня засміченості. Крім того, вони сприяють більш раціональному використанню енергетичних можливостей трактора та покращенню якості обробітку.

При виборі технології основного (зяблевого) обробітку необхідно

враховувати комплекс факторів: погодні умови літньо-осіннього періоду, рівень забур'яненості поля, вологість ґрунту, технічне забезпечення господарства та його економічні можливості. За таких умов доцільним є диференційований підхід до обробітку кожного конкретного поля із застосуванням різних схем – зокрема проміжного або напівпарового обробітку.

Плуг типу ПНЯ-4-40, який широко використовується для зяблевого обробітку ґрунту та має добрі експлуатаційні характеристики, рис. 1.5.



Рисунок 1.5 – Конструкція ярусного плуга ПНЯ-4-40

Розробка плуга зі змінною шириною захвату забезпечує низку вагомих переваг. Завдяки можливості регулювання ширини захвату забезпечується робота трактора в оптимальному (номінальному) режимі незалежно від умов обробітку, що сприяє економії енергоресурсів.

Збільшення змінного виробітку досягається за рахунок скорочення допоміжного часу, зокрема витрат на переобладнання агрегату (монтаж і демонтаж корпусів).

Адаптація ширини захвату до конкретних умов дозволяє забезпечити більш рівномірний обробіток, оптимальну глибину та якісне подрібнення ґрунту.

Один агрегат може ефективно працювати в різних умовах без необхідності зміни комплектації.

## 2 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

### 2.1 Агротехнічні та експлуатаційні вимоги до відвальних плугів

Головною метою механічного обробітку ґрунту є створення оптимальних умов для росту й розвитку сільськогосподарських культур, що забезпечує отримання стабільно високих урожаїв. Досягнення цього результату передбачає виконання комплексу технологічних операцій, спрямованих на покращення структури ґрунту, регулювання його щільності, накопичення і збереження вологи, знищення бур'янів та шкідників, а також загортання пожнивних решток і добрив.

Залежно від глибини впливу та призначення технології обробітку поділяють на основний, передпосівний (поверхневий) і спеціалізований. У цьому процесі важливе місце займають лемішно-полицеві плуги, які виконують базову операцію – оранку.

Слід зазначити, що більшість ґрунтообробних машин, включаючи плуги, не взаємодіють безпосередньо з рослинами, однак створюють середовище, в якому формується врожай. Недотримання встановлених агротехнічних параметрів призводить до погіршення умов росту культур і, як наслідок, до зниження врожайності та якості продукції.

До конструкції та роботи відвальних плугів висувається комплекс чітких агротехнічних і експлуатаційних вимог. Насамперед вони повинні забезпечувати стабільну задану глибину оранки, яка зазвичай знаходиться в межах 25–35 см. Допустиме відхилення від встановленого значення не повинно перевищувати  $\pm 2$  см.

Робочі корпуси плуга мають повністю підрізати орний шар, якісно перевертати скибу та укласти її на дно борозни. При цьому рослинні рештки і внесені добрива мають рівномірно загортатися в ґрунт на глибину приблизно 12–15 см, що сприяє їх ефективному розкладанню та використанню рослинами.

Важливою умовою є однакова ширина захвату всіх корпусів, що гарантує рівномірність обробітку. Відхилення за цим показником допускається не більше 10%. Передплужники, у свою чергу, повинні зрізати верхню частину скиби приблизно на 2/3 її ширини та вкладати її на дно борозни, забезпечуючи глибину обробітку в межах 8–12 см.

Якість поверхні поля після оранки є одним із ключових показників ефективності роботи плуга. Скиби повинні розташовуватися рівномірно, утворюючи прямолінійні рядки і щільно прилягаючи одна до одної. Поверхня має бути вирівняною, без значних гребенів і борозен, причому висота нерівностей не повинна перевищувати 5 см.

Особливу увагу слід приділяти ступеню кришення ґрунту. Оранка повинна забезпечувати утворення дрібногрудкуватої структури без великих брил, оскільки останні сприяють інтенсивному випаровуванню вологи та ускладнюють розвиток кореневої системи. Після проходу плуга дно борозни має залишатися чистим, без залишків рослинності.

Для підвищення якості обробітку плуги повинні бути обладнані пристроями для агрегування з додатковими знаряддями, такими як борони або катки. Це дозволяє поєднати кілька операцій в одному проході та зменшити кількість проходів техніки по полю.

У випадку застосування безполицевих корпусів важливо забезпечити збереження значної частини стерні на поверхні (приблизно 75–85%), що сприяє захисту ґрунту від ерозії та зменшенню втрат вологи. При цьому не допускається надмірне розпилення ґрунтового шару.

Після завершення оранки на полі не повинно залишатися необроблених ділянок (огріхів), що забезпечує рівномірність наступних технологічних операцій. Важливо також дотримуватися оптимальних строків виконання робіт – оранку слід проводити у стані фізичної стиглості ґрунту, коли забезпечується мінімальний тяговий опір і найкраща якість обробітку.

Перед початком робіт поле повинно бути належним чином підготовлене: виконане лущення стерні, розмічені загінки, виділені поворотні смуги. Така

підготовка сприяє підвищенню продуктивності агрегатів, зменшенню непродуктивних витрат часу та покращенню якості обробітку.

Отже, дотримання агротехнічних і експлуатаційних вимог до лемішно-полицевих плугів є необхідною умовою ефективного обробітку ґрунту, раціонального використання технічних ресурсів та досягнення високих показників урожайності.

## **2.2 Аналіз конструкцій сучасних тракторних плугів**

У сучасному сільськогосподарському виробництві найбільш поширеними є начіпні та напівначіпні плуги, які відрізняються конструктивними особливостями та експлуатаційними характеристиками. Начіпні плуги характеризуються компактністю і кращою маневреністю, тоді як напівначіпні агрегати мають менший питомий опір, але потребують більшого радіуса повороту. У транспортному положенні частина маси напівначіпного плуга передається на заднє опорне колесо, що зменшує навантаження на навісну систему трактора.

Прикладом напівначіпних багатокорпусних плугів є модель ПТК-9-35, призначена для оранки ґрунтів із питомим опором до 0,9 МПа на глибину до 30 см. Конструкція цього плуга передбачає можливість роботи як із дев'ятьма, так і з вісьмома корпусами. Агрегується він із потужними тракторами тягового класу 5. За ширини захвату близько 3,15 м продуктивність агрегату при швидкості руху 10 км/год сягає приблизно 2,8 га/год.

Базове виконання таких плугів комплектується корпусами з полицями культурного типу, однак конструкція дозволяє встановлювати корпуси для підвищених швидкостей роботи (9–12 км/год) або збільшеної ширини захвату (до 40 см). Регулювання глибини обробітку здійснюється за допомогою механізмів опорних коліс – зокрема, пневматичного заднього та переднього

регулювального вузла.

Іншим прикладом є напівначіпний п'ятикорпусний плуг типу ПЛ-5-40, який застосовують для обробітку ґрунтів із питомим опором до 0,13 МПа. Він агрегується з тракторами класів 3–4 і складається з рами, робочих корпусів, дискового ножа, опорних коліс, гідросистеми, механізмів регулювання та допоміжних пристроїв.

Важливою особливістю цієї конструкції є наявність механізму зміни ширини захвату, що дозволяє адаптувати агрегат до різних умов роботи. Регулювання положення корпусів здійснюється за допомогою спеціальних стяжок, які забезпечують стабільне розташування плуга відносно борозни та руху трактора.

Окрім класичних відвальних плугів, широко використовуються чизельні та комбіновані знаряддя. Наприклад, плуг-глибокорозпушувач типу ПЧ-2,5 застосовується для безвідвального обробітку ґрунту з поглибленням орного шару. Такий агрегат ефективний на схилах і в умовах ризику ерозії, оскільки дозволяє зберігати структуру ґрунту.

Робочими органами чизельних плугів є розпушувальні лапи долотоподібної або стрільчастої форми. Вони використовуються для обробітку ґрунтів різного механічного складу з питомим опором до 0,12 МПа та вологістю до 30%. Подібні агрегати, як правило, працюють у човниковому режимі та агрегуються з тракторами середньої.

Для безвідвального глибокого обробітку також застосовують плуги-розпушувачі, наприклад ПРПВ-8-50, які оснащені системою розпушувальних корпусів, дискових ножів та опорних коліс із регулюванням глибини. Такі машини дозволяють ефективно обробляти ґрунти без обороту пласта, що позитивно впливає на збереження вологи та структури, рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Базова конструкція плуга-розпушувача ПРПВ-8-50

Зарубіжний досвід свідчить про значне різноманіття конструкцій плугів і високий рівень їх технічного розвитку. Наприклад, німецька компанія «KRONE» випускає оборотні плуги передньої навіски, які виготовляються з високоміцної сталі та забезпечують безступінчасте регулювання робочих параметрів. Конструкція передбачає можливість налаштування кута атаки, узгодження з колією трактора та автоматичний поворот за допомогою гідравлічного механізму.

Перевагою передньонавісних плугів є покращене навантаження передньої осі трактора, що дозволяє зменшити буксування та підвищити ефективність використання тягового зусилля без застосування додаткових баластів.

Оборотні плуги, що широко застосовуються в Європі, оснащуються електрогідравлічними системами керування, механізмами регулювання ширини першої борозни та пристроями захисту від перевантажень (зрізні болти або пружинні запобіжники). Це значно підвищує їх надійність і універсальність.

Сучасні інженерні рішення також передбачають зниження енергоємності оранки. Одним із способів є застосування спеціальних покриттів або матеріалів

робочих поверхонь (наприклад, полімерів чи пластмас), що зменшують коефіцієнт тертя між ґрунтом і робочими органами. Дослідження показують, що це дозволяє знизити тяговий опір, особливо на важких або перезволожених ґрунтах.

Важливим напрямом розвитку є створення плугів зі змінною шириною захвату. Такі машини, зокрема виробництва американської компанії DMI, мають модульну конструкцію та дозволяють змінювати кількість корпусів залежно від потужності трактора. Регулювання ширини захвату здійснюється дистанційно з кабіни за допомогою гідравлічної системи.

Ширина захвату таких плугів може змінюватися в широких межах (наприклад, від 2,2 до 4,4 м), що забезпечує високу гнучкість використання. Для контролю налаштувань передбачені спеціальні індикатори, які дозволяють оператору точно встановлювати необхідні параметри.

Проведений аналіз показує, що більшість сучасних плугів оснащені лемішно-полицевими корпусами, однак спостерігається тенденція до ускладнення конструкцій і впровадження інноваційних технічних рішень. Основні напрями розвитку включають:

- збільшення кількості корпусів і ширини захвату;
- впровадження механізмів змінної ширини захвату;
- застосування гідравлічних і гідропневматичних систем;
- використання змінних і універсальних робочих органів;
- підвищення енергоефективності та адаптивності до умов роботи.

Отже, плуги зі змінною шириною захвату широко застосовуються в сучасному землеробстві завдяки можливості адаптації до різних ґрунтових умов і потужності енергетичного засобу. Найбільш розповсюдженими є оборотні плуги типу Variomat (Kverneland), VariOpal/VariDiamant (LEMKEN), Vari-Master (KUNN), які забезпечують безступінчасте регулювання ширини захвату кожного корпусу.

Перейдемо до предметного огляду конструкцій сучасних плугів, конструкції яких дозволяють змінювати ширину захвату.



Рисунок 2.2 – Оборотний навісний плуг Kverneland Variomat у роботі [17]

На рисунку показано типовий оборотний плуг зі змінною шириною захвату, агрегований із трактором Claas.



Рисунок 2.3 – Напівнавісний оборотний плуг Kverneland 6300 S VARIOMAT зі змінною шириною захвату (6–8 корпусів) [18]

Такі конструкції застосовуються у великих агропідприємствах і забезпечують ширину захвату понад 3–6 м.



Рисунок 2.4 – Плуг KUNH Vari-Master зі змінною шириною [19]

Конструкція характеризується гідравлічним механізмом зміни ширини (14–22 дюйми на корпус), інтегрованою системою захисту робочих органів, високою адаптивністю до умов експлуатації.



Рисунок 2.5 – Плуг Lemken VariOpal з регульованою шириною захвату [21]

Ці плуги мають такі особливості ступеневе або безступінчасте регулювання ширини (30–50 см);

автоматичне узгодження положення допоміжних органів (передпłużників);  
високу жорсткість конструкції рами.



Рисунок 2.6 – Робота плуга Variomat у польових умовах [20]

Отже, сучасні тракторні плуги є складними технічними системами, розвиток яких спрямований на підвищення продуктивності, зниження витрат ресурсів і покращення якості обробітку ґрунту. Особливу перспективність мають конструкції зі змінною шириною захвату, що забезпечують гнучкість і ефективність застосування в різних агротехнічних умовах

### **2.3 Обґрунтування конструкції та опис функціональної схеми восьмикорпусного начіпного плуга**

Начіпні плуги широко застосовуються в сучасному землеробстві завдяки ряду важливих експлуатаційних переваг у порівнянні з напівначіпними та причіпними аналогами. Вони характеризуються меншою металоємністю конструкції, підвищеною маневреністю, скороченими витратами часу на розвороти, а також зменшеною шириною поворотних смуг. Крім того, такі агрегати забезпечують вищу продуктивність у перерахунку на одиницю ширини захвату.

Запропонований восьмикорпусний начіпний плуг включає основні

конструктивні елементи: вісім робочих корпусів, опорне колесо з гвинтовим механізмом регулювання глибини, несучу раму, навісний пристрій для агрегування з трактором, а також механізм зміни ширини захвату, реалізований через систему повороту корпусів.

До складу робочих органів входять розпушувальні корпуси та додаткові дискові ножі з рифленою поверхнею, які встановлюються перед кожним корпусом і виконують функцію попереднього розрізання ґрунтового шару у вертикальній площині. Це сприяє покращенню процесу відокремлення скиби та зменшенню тягового опору.

Стояки корпусів обладнані захисними елементами – зрізними болтами, які спрацьовують у разі перевантаження (наприклад, при наїзді на перешкоду), запобігаючи серйозним пошкодженням конструкції.

Несуча рама плуга виконана у вигляді жорсткої трикутної просторової системи зі сталим периметром. Вона складається з поздовжнього (головного) та поперечного брусів, які забезпечують необхідну міцність і стійкість конструкції при роботі в змінних умовах навантаження.

Кожен корпус плуга з'єднаний із рамою за допомогою шарнірних вузлів та спеціальних кронштейнів. На стояках корпусів встановлені важелі, які об'єднані між собою в єдиний паралелограмний механізм за допомогою штовхаючої тяги. Ця система зв'язана з гідроциліндром, що забезпечує синхронний поворот усіх корпусів для регулювання ширини захвату.

Для переведення плуга в транспортне положення використовується окремий гідроциліндр, який обертає раму відносно шарніра. У результаті цього забезпечується зменшення габаритної ширини агрегату, що важливо при пересуванні дорогами загального користування. При цьому опорне колесо розміщується в межах габаритів трактора.

Під час роботи плуга гідроциліндр, відповідальний за положення рами, перебуває у плаваючому режимі. Це дозволяє агрегату самостійно орієнтуватися відносно борозни під дією сил реакції ґрунту, що забезпечує стабільність ходу та рівномірність глибини обробітку.

Регулювання ширини захвату здійснюється шляхом одночасного повороту корпусів навколо їхніх стояків. Операція виконується за допомогою гідравлічної системи, переважно у транспортному положенні агрегату. Разом із корпусами синхронно змінює своє положення і опорне колесо, що обертається навколо вертикальної осі на відповідний кут.

Контроль встановленого значення ширини захвату здійснюється за допомогою індикатора (показчика), механічно пов'язаного з рухом паралелограмного механізму. Індикатор переміщується вздовж шкали, що дозволяє оператору точно задавати параметри роботи агрегату.

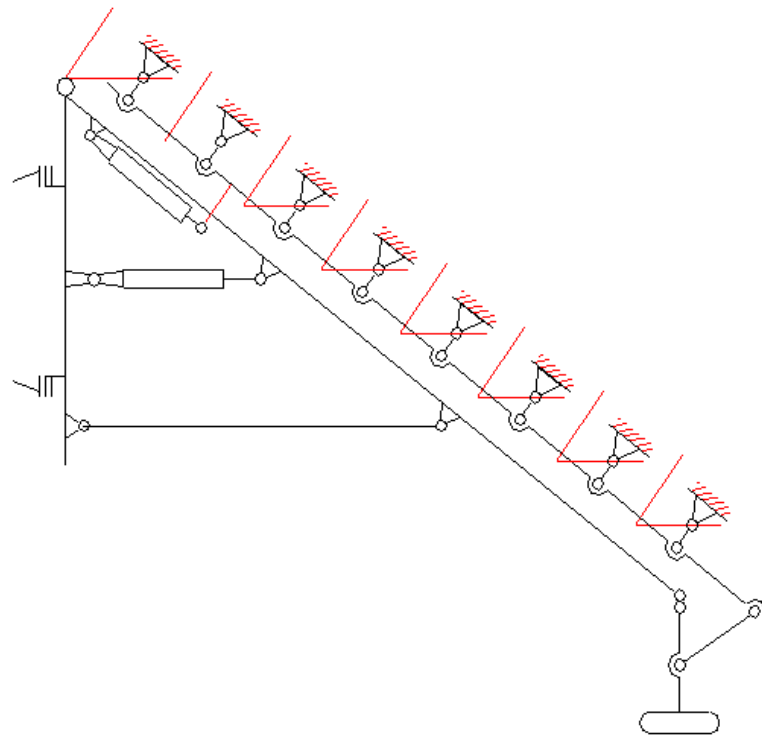
У робочому режимі верхня тяга навісної системи має певний провис, унаслідок чого плуг частково спирається на опорне колесо і функціонує за принципом напівначіпного знаряддя. Це забезпечує краще копіювання мікрорельєфу поверхні поля та підвищує стійкість витримування заданої глибини обробітку.

Принцип роботи плуга полягає у послідовному виконанні операцій різання, піднімання і деформації ґрунтового шару. Спочатку дисковий ніж розсікає ґрунт у вертикальній площині, після чого корпус підрізає скибу, піднімає її, а потім деформує за рахунок згину та розтягу в поздовжньому і поперечному напрямках. Основна частина енергії витрачається на подолання зусиль розтягу, що забезпечує інтенсивне розпушення.

При обробітку стерньових попередників така конструкція дозволяє залишати значну частку рослинних решток (до 80–85%) на поверхні поля, що сприяє зниженню ерозійних процесів і покращенню водозберігаючих властивостей ґрунту.

Конструктивно ширина захвату плуга може досягати близько 4 м (на прикладі аналогічних моделей), що забезпечує високу продуктивність агрегату.

Кінематична схема розроблюваного плуга включає такі основні елементи:



1 – механізм регулювання ширини захвату; 2 – робочі корпуси; 3 – несуча рама;  
4 – поздовжній брус; 5 – поперечний брус; 6 – опорне колесо; 7, 8 –  
гідроциліндри; 9 – шарнірне з'єднання

Рисунок 2.7 – Кінематична схема розроблюваного начіпного  
восьмикорпусного плуга

Таким чином, запропонована конструкція восьмикорпусного начіпного плуга зі змінною шириною захвату забезпечує поєднання високої продуктивності, адаптивності до різних умов роботи та ефективного використання енергетичних ресурсів трактора, що робить її перспективною для впровадження у сучасні технології обробітку ґрунту.

### 3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Обґрунтування вибору та розрахунок параметрів механізму регулювання ширини захвату плуга

Механізм регулювання ширини захвату плуга являє собою гідромеханічну систему, виконану у вигляді шарнірного важільного просторового механізму, який приводиться в дію силовим гідроциліндром (рис. 2.7).

Конструкція механізму забезпечує зміну ширини захвату одного корпусу в діапазоні від 400 до 500 мм, що дозволяє адаптувати роботу агрегату до різних ґрунтових умов і режимів експлуатації.

Розрахунок силових навантажень у ланках механізму, які виникають під час зміни положення корпусів, а також визначення необхідного зусилля на штоку гідроциліндра виконується із застосуванням графоаналітичного методу. Для цього формується узагальнена кінематична схема приводу (рис. 3.1).

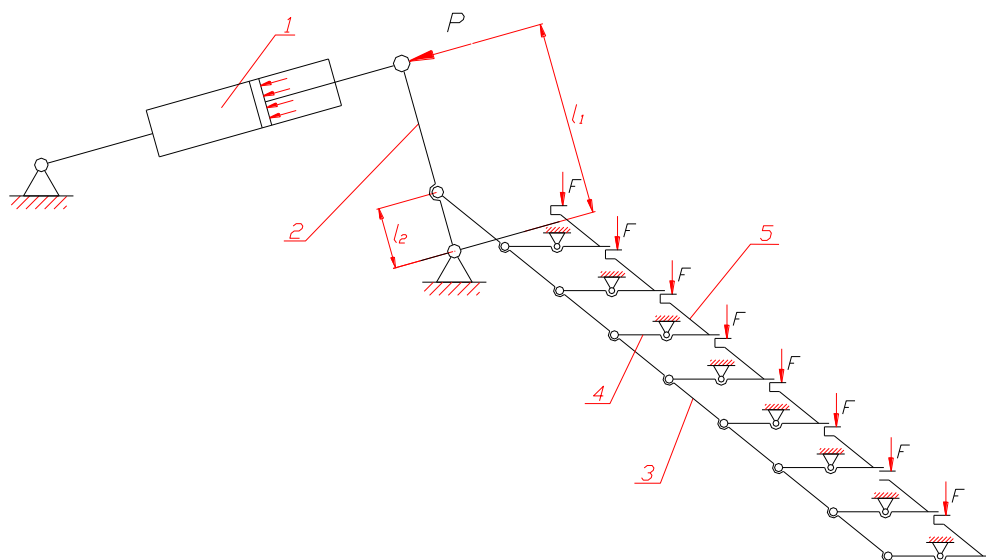


Рисунок 3.1 – Схема механізму повороту корпусів плуга

На основі побудованої розрахункової схеми визначається зусилля, яке необхідно прикласти до штока гідроциліндра. За полюс швидкостей приймається точка А.

Складаємо рівняння суми моментів від діючих сил

$$P_{ш} \cdot l_1 = F_{np} \cdot l_u, \quad (3.1)$$

звідки

$$P_{ш} = F_{np} \cdot \frac{l_u}{l_1}, \quad (3.2)$$

де  $F_{np}$  – приведенне зусилля діюче на вісім корпусів плуга;

$$F_{np} = 8F,$$

тут  $F$  – зусилля на корпусі плуга, протидіюче його повороту.

З урахуванням додаткових втрат, зумовлених тертям у шарнірах і кінематичних парах механізму, приймається збільшене значення протидіючого зусилля

$$F = 800 \text{ Н}.$$

Сумарне навантаження для восьми корпусів визначається як

$$F_{np} = 8 \cdot 800 = 6400 \text{ Н}.$$

На основі рівняння моментів визначається необхідне зусилля на штоку гідроциліндра

$$P_{шт} = 6400 \cdot \frac{0,62}{0,54} = 7348 \text{ Н}.$$

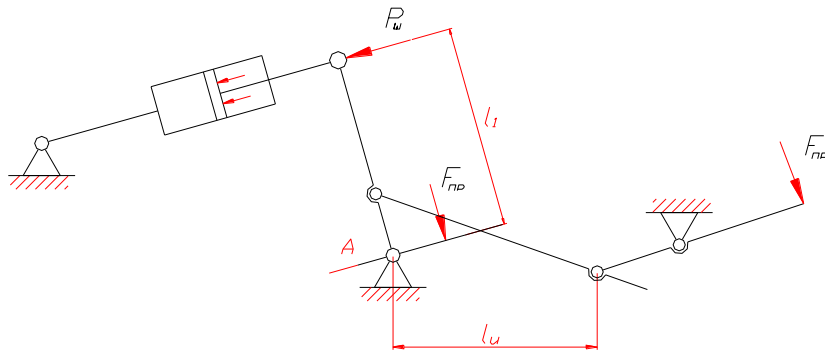


Рисунок 3.2 – Узагальнена схема приводу повороту корпусів плуга

З урахуванням коефіцієнта запасу міцності та можливих перевантажень підбирається гідроциліндр двосторонньої дії типу Ц-55×200, для якого максимальне зусилля на штоку становить

$$P_{\max}=23000 \text{ Н.}$$

Це значення забезпечує надійну роботу механізму в реальних умовах експлуатації.

Аналогічно виконується розрахунок для гідроприводу, який забезпечує поворот рами плуга (рис. 3.3).

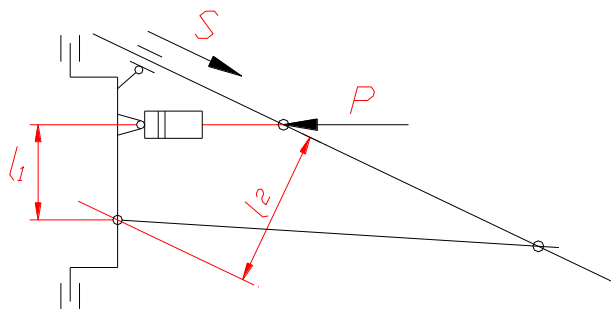


Рисунок 3.3 – Схема повороту рами плуга

Для цього також складається рівняння моментів:

$$P_{um} \cdot l_1 = S' \cdot l_2, \quad (3.3)$$

звідки

$$P_{um} = S' \cdot \frac{l_2}{l_1}, \quad (3.4)$$

$S'$  – зусилля, необхідне для повороту рами плуга.

З урахуванням втрат на тертя в шарнірних з'єднаннях і механізмах, приймається

$$S = 6000 \text{ Н.}$$

Відповідно, необхідне зусилля на штоку гідроциліндра визначається з умов рівноваги

$$P_{um} = 6000 \cdot \frac{1,3}{0,75} = 10400 \text{ Н.}$$

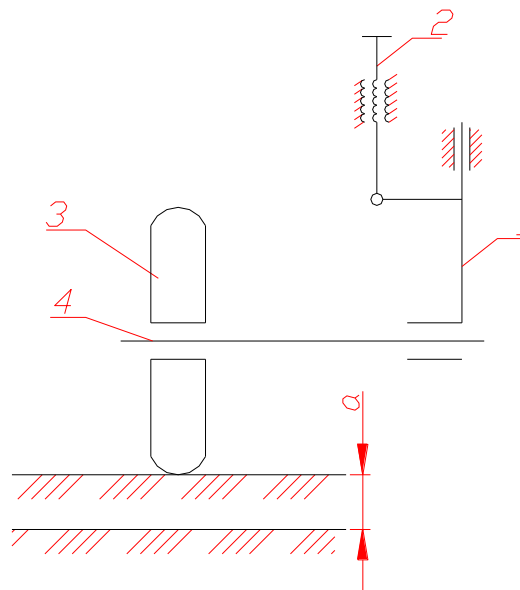
Для реалізації цієї функції також доцільно застосувати гідроциліндр типу Ц-55×200, який забезпечує достатнє зусилля (до 23000 Н) для гарантованого повороту рами.

У результаті виконаних розрахунків встановлено, що обраний тип гідроциліндрів повністю задовольняє умови роботи механізмів як регулювання ширини захвату, так і повороту рами.

Запропонований механізм дозволяє змінювати ширину захвату кожного корпусу в межах 0,40–0,50 м без зупинки агрегату або при мінімальних технологічних паузах. Це підвищує універсальність плуга та забезпечує ефективну роботу як на легких, так і на важких ґрунтах.

### 3.2 Розрахунок механізму регулювання глибини обробітку ґрунту

Механізм регулювання глибини оранки (рис. 3.4) призначений для забезпечення стабільного положення плуга відносно поверхні поля і підтримання заданої глибини обробітку. Конструктивно він включає стояк 1 і гвинтовий механізм 2, який фіксується у вибраному положенні за допомогою спеціального стопорного елемента. Уся система закріплюється на рамі плуга через кронштейн разом із опорним колесом.



1 – стояк; 2 – гвинт; 3 – опорне колесо; 4 – вісь

Рисунок 3.4 – Схема механізму регулювання глибини оранки

Виходячи з конструктивних особливостей проєктованого плуга та величини діючих навантажень, діаметр опорного колеса приймається рівним

$$D=500 \text{ мм.}$$

Довжина різьбової частини гвинта визначається з умови забезпечення можливості встановлення агрегату в горизонтальне положення при максимальній глибині обробітку. Для цього приймається  $l_1=250 \text{ мм}$

З урахуванням ваги плуга і конструктивних обмежень задаються основні параметри гвинта:

$$d=36 \text{ мм}, l=400 \text{ мм}.$$

Тип різьби – прямокутна, з числом заходів –  $z=1$ , крок різьби –  $S=3$  мм.

Визначаємо кут нахилу гвинтової лінії за формулою

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{S}{\pi \cdot d_2}, \quad (3.5)$$

де  $d_2$  – середній діаметр гвинта

$$d_2 = 34,5 \text{ мм}.$$

З цього

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{3}{3,14 \cdot 34,5} = 0,2769,$$

тоді  $\beta = 15^\circ$ .

Визначаємо коефіцієнт корисної дії гвинтової передачі

$$\eta = \frac{\operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}(\beta + \rho)}, \quad (3.6)$$

де  $\rho$  – кут тертя,  $\rho=6^\circ$ .

Тоді

$$\eta = \frac{0,2769}{0,3838} = 0,72.$$

Визначаємо розрахункову площину перерізу за формулою

$$F = 0.785d_1^2. \quad (3.7)$$

де  $d_1$  – внутрішній діаметр гвинта,  $d_1 = 33 \text{ мм}$ .

Тоді

$$F = 0.785 \cdot 33^2 = 855 \text{ мм}^2$$

Визначаємо приведені напруження гвинта за формулою

$$\sigma_{np} = \frac{Q}{F} \cdot \sqrt{1 + 1,6 \cdot \left( \frac{S}{d \cdot \eta} \right)^2} \leq [\sigma], \quad (3.8)$$

де  $Q$  – осьове навантаження гвинта з врахуванням коефіцієнта динамічності 1,5, приймаємо  $Q=9000\text{Н}$ ;

$[\sigma]$  – допустиме напруження змінання для матеріалу гвинт (сталь 45),  $[\sigma]=100$  МПа.

З цього

$$\sigma_{np} = \frac{9000}{855} \cdot \sqrt{1 + 1,6 \cdot \left( \frac{3}{36 \cdot 0.72} \right)^2} = 10,6 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{np} \leq [\sigma].$$

Отже, можна зробити висновок, що умова міцності на змінання виконуються. Отримані значення напружень не перевищують допустимих для обраного матеріалу, що підтверджує працездатність і надійність гвинтового механізму. Таким чином, умова міцності виконується, а обрані геометричні параметри забезпечують ефективне функціонування механізму регулювання глибини оранки в робочих умовах.

### 3.3 Обґрунтування та визначення параметрів ножів плуга

Загальний вигляд корпусу показано на рис. 2.1, проведемо розрахунок його окремих елементів.

Вибір і розрахунок геометричних параметрів верхнього ножа.

Верхній ніж є складовим елементом корпусу плуга та розташовується у зоні переходу стояка до полиці, тобто в місці його геометричного згину. Враховуючи, що стояк має кут нахилу приблизно  $45^\circ$ , нижня частина ножа також формується з аналогічним кутом для забезпечення узгодженості конструкції та рівномірного розподілу навантажень (рис. 3.5).

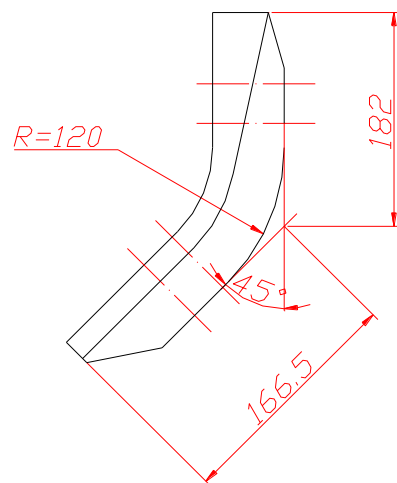


Рисунок 3.5 – Ніж верхній

Конструктивні параметри ножа визначаються як умовами роботи, так і вимогами до міцності та технологічності виготовлення. Виходячи з цього, довжину верхньої частини ножа прийнято рівною 182 мм, тоді як нижня частина має меншу довжину – 166,5 мм. Для забезпечення плавного переходу між ділянками ножа радіус кривизни в зоні згину обрано на рівні 120 мм.

Ширина ножа змінюється по висоті: у нижній частині вона становить 134 мм, а у верхній – 105 мм. Відповідно, ширина робочої поверхні зменшується від

83 мм до 70 мм, що обумовлено необхідністю зниження опору руху та покращення умов різання ґрунту.

Кут загострення ріжучої кромки становить  $24^\circ$ , що забезпечує оптимальне співвідношення між міцністю леза та його різальною здатністю. Товщина ножа прийнята 25,6 мм, що гарантує достатню жорсткість і зносостійкість у процесі роботи.

Для надійного кріплення ножа до стояка передбачено чотири монтажні отвори, виконані з потаєм під головки болтів. Таке конструктивне рішення дозволяє уникнути виступаючих елементів на поверхні та, відповідно, зменшити додатковий опір при контакті з ґрунтом.

Отже, обрані геометричні та конструктивні параметри верхнього ножа забезпечують ефективне різання ґрунту, знижують енергоємність процесу та підвищують довговічність робочого органа.

Вибір і розрахунок параметрів нижнього ножа.

Нижній ніж призначений для підрізання ґрунтового шару у вертикальній площині під кутом, який, як правило, становить близько  $45^\circ$ . Він працює в умовах поступального руху агрегату, забезпечуючи формування чіткої межі скиби та полегшуючи роботу основного корпусу плуга (рис. 3.6).

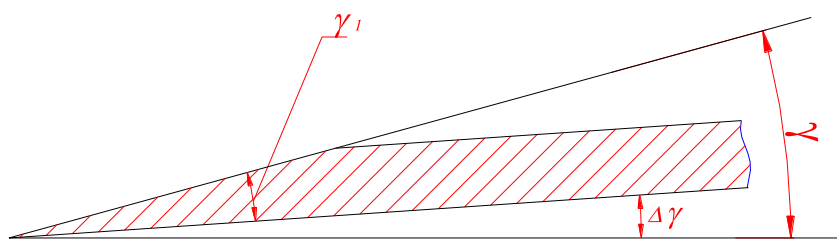


Рисунок 3.6 – Геометрія ножа нижнього

Важливим елементом геометрії ножа є задній кут, який запобігає інтенсивному тертю його тильної частини об поверхню ґрунту. Зазвичай цей кут знаходиться в межах  $5^{\circ}$ – $10^{\circ}$ , і для даної конструкції приймається в зазначеному діапазоні з урахуванням умов роботи та типу ґрунту.

Кут установки ножа визначає інтенсивність руйнування ґрунтового шару та впливає на енергоємність процесу обробітку. Повний (загальний) кут встановлення формується як сума конструктивних кутів і знаходиться в межах, рекомендованих для ефективного розпушення та мінімального тягового опору.

Загальний кут установки ножа дорівнює

$$\gamma = \Delta\gamma + \gamma_1, \quad (3.9)$$

тоді

$$\gamma = 6^{\circ} + 24^{\circ} = 30^{\circ}.$$

Загальний кут установки ножа знаходиться в межах  $25^{\circ} \leq \gamma \leq 30^{\circ}$ .

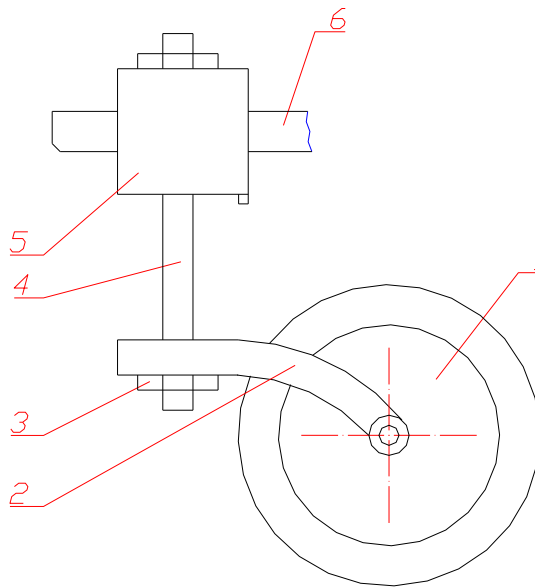
За формою робочої частини ніж прийнятий прямолінійним, із загальною довжиною близько 138 мм. Ширина робочої зони становить 83 мм, що забезпечує достатню площу контакту із ґрунтом і ефективно його розрізання.

Товщина нижнього ножа становить 26,6 мм, що дещо більше, ніж у верхнього, оскільки цей елемент зазнає значніших навантажень у процесі роботи. Як і у випадку з верхнім ножем, у неробочій частині передбачено кріпильні отвори (два отвори з потаєм) для монтажу до стояка корпусу.

Раціонально підібрані геометричні параметри нижнього ножа забезпечують якісне підрізання скиби, зменшення деформаційних зусиль та покращення умов роботи всього корпусу плуга.

### 3.4 Обґрунтування вибору та визначення параметрів дискового ножа

Для оснащення розроблюваного плуга доцільно використати дисковий ніж, виготовлений відповідно до вимог стандарту ГОСТ 1051-75 (рис. 3.7), який регламентує конструкцію та характеристики цього робочого органа.



1 – диск, 2 – вилка, 3 – корончата гайка, 4 – вісь,  
5 – накладка, 6 – рама плуга  
Рисунок 3.7 – Дисковий ніж

Основним елементом ножа є сталевий диск, діаметр якого прийнято рівним 435 мм. Такий розмір забезпечує ефективне розрізання ґрунтового шару та стабільність роботи в умовах різного механічного складу ґрунтів. Диск встановлюється на осі та обертається на підшипниках кочення, що зменшує втрати енергії на тертя і підвищує довговічність вузла.

З метою покращення процесу різання та зниження тягового опору леза ножа заточуються з двох боків під кутом  $45^\circ$ . Така конфігурація забезпечує більш плавне входження диска в ґрунт і зменшує ймовірність його забивання або налипання ґрунтових частинок.

Важливим параметром є положення ножа відносно корпусу плуга. Регулювання виносу диска в бік необробленого поля здійснюється за допомогою спеціального ексцентрикового механізму, що дозволяє точно налаштувати положення ножа залежно від умов роботи.

Розміщення площини обертання диска повинно забезпечувати якісне відокремлення скиби без її осипання при підйомі. Тому диск встановлюють на певній відстані від польового обрізу, яка визначається експериментально або за рекомендаціями конструкційних норм.

По відношенню до робочих органів корпусу ніж встановлюється таким чином, щоб його центр знаходився над носком лемеша. Це дозволяє забезпечити послідовність операцій: спочатку відбувається вертикальне розрізання пласта дисковим ножом, після чого леміш виконує горизонтальне підрізання, що сприяє зменшенню опору ґрунту та підвищенню якості оранки.

У разі зіткнення з перешкодами (каменями, корінням тощо) конструкція ножа передбачає можливість його відхилення в бік незораної частини поля, що запобігає виникненню аварійних навантажень і поломок.

Щодо матеріального виконання, диск ножа виготовляється зі сталі марки 65Г, яка характеризується високою зносостійкістю та міцністю. Для підвищення експлуатаційних властивостей робоча частина піддається термічній обробці (гартування з подальшим відпуском). Загартовану зону приймають шириною не менше 70 мм від ріжучої кромки, а твердість повинна становити не менше 45 HRC.

Таким чином, обрані конструктивні та геометричні параметри дискового ножа забезпечують ефективне розрізання ґрунту, зменшення тягового опору плуга та підвищення надійності роботи агрегату в різних польових умовах.

### 3.5 Енергетичне обґрунтування параметрів плуга

Розрахунок тягового опору двоярусного плуга.

Для визначення сумарного тягового опору плуга використовується узагальнене рівняння В.П. Горячкіна, яке враховує основні складові сил опору при роботі ґрунтообробного агрегату

$$P = P_1 + P_2 + P_3, \quad (3.10)$$

де  $P_1$  – постійний опір плуга переміщенню його в борозні

$$P_1 = 9,8 \cdot f \cdot M, \quad (3.11)$$

де  $f$  – коефіцієнт опору плуга в борозні,  $f=0,5$ ;

$M$  – маса плуга;  $M=2500$  кг.

Тоді

$$P_1 = 9,8 \cdot 0,5 \cdot 2500 = 12250,0 \text{ Н},$$

де  $P_2$  – частина опору, яка обумовлена деформацією пласта.

$$P_2 = k \cdot a \cdot b \cdot n; \quad (3.12)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що характеризує опір скиби деформації,  $k=20000-50000$  Н/м<sup>2</sup>, приймемо  $k=23000$  Н/м<sup>2</sup> з врахуванням поправки на перевищення швидкості відносно 5 км/год;

$a$  – глибина обробітку, м:  $a=0,4$  м (максимальна).

$b$  – ширина захвату одного корпусу, м,  $b=0,35-0,5$ м;

$n$  – кількість корпусів:  $n=8$

– при максимальній ширині захвату

$$P_2 = 23000 \cdot 0,4 \cdot 0,5 \cdot 8 = 36800 \text{ H},$$

– при мінімальній ширині захвату

$$P_2 = 23000 \cdot 0,4 \cdot 0,35 \cdot 8 = 25760 \text{ H},$$

$P_3$  – опір, який виникає при викиданні пласта в сторону,

$$P_3 = \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot V^2 \cdot n; \quad (3.13)$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт, що враховує формулу робочої поверхні корпуса і технологічні властивості ґрунту,  $\varepsilon=1,5$

$V$  – швидкість руху агрегату:  $V=2,5$  м/с (9 км/год);

$$P_3 = 1,5 \cdot 0,4 \cdot 0,5 \cdot 9^2 \cdot 8 = 194,4 \text{ H},$$

$$P_3 = 1,5 \cdot 0,4 \cdot 0,35 \cdot 9^2 \cdot 8 = 136,1 \text{ H}$$

Отже, тягове зусилля плуга рівне для граничних значень ширини захвату

$$P_{пл} = 12250 + 36800 + 194,4 = 49240 \text{ H},$$

Якщо розглядати класичні трактори, то робота з плугом-розпушувачем ПРПВ-8-50 при максимальній його ширині захвату можлива з трактором К-701 на 2-й передачі, де робоча швидкість 10,3 км/год, а номінальне гакове зусилля 51 кН.

При мінімальній ширині захвату

$$P_{пл} = 12250 + 25760 + 136,1 = 38150 \text{ H}.$$

Тут вже можна використовувати трактори типу К-700 на 2-й передачі, де робоча швидкість 10,0 км/год, а гачкове зусилля складає 40,4 кН.

Це свідчить про те, що регульована ширина захвату плуга може забезпечити його адаптивність до наявного енергозасобу чи зміни умов роботи.

Взагалі для роботи з цим плугом підходять трактори тягового класу 5 тс (190-250 к.с.).

Імпортні моделі John Deere (серія 7R). Моделі типу 7R 230 (230 к.с.). Вони оснащені інтелектуальними системами точного землеробства. Case IH (серія Puma), Наприклад, модель Puma 240 CVX (240 к.с.), що відзначається високою паливною ефективністю та вантажопідйомністю. Fendt (серія 900 Vario). Потужні та надійні трактори, такі як Fendt 924 Vario (240 к.с.) з безступінчастою трансмісією. New Holland (серія T7), модель T7.270 (номінальна потужність складає близько 240 к.с.), універсальна для важких польових робіт.

Визначення коефіцієнта корисної дії плуга.

Енергетичну ефективність роботи плуга оцінюють за допомогою коефіцієнта корисної дії

$$\eta_{пл} = 1 - \frac{f \cdot 9,8 \cdot M}{P_{пл}}, \quad (3.14)$$

де  $f$  – коефіцієнт опору плуга в борозні:  $f=0,5$

$M$  – маса плуга,  $M=2500$  кг.

$P_{пл}$  – питомий опір плуга.

К.к.д. при використанні максимальної ширини захвату плуга

$$\eta_{пл} = 1 - \frac{0,5 \cdot 9,8 \cdot 2500}{49240} = 0,75.$$

К.к.д. при використанні мінімальної ширини захвату плуга

$$\eta_{пл} = 1 - \frac{0,5 \cdot 9,8 \cdot 2500}{38150} = 0,68.$$

Цей коефіцієнт характеризує частку корисно витраченої енергії на руйнування ґрунту. Знайдені значення коефіцієнтів корисної дії мають належні значення, особливо при максимальній ширині захвату.

Визначення потужності, необхідної для переміщення плуга

Потужність, яка витрачається трактором на переміщення плуга, визначається за формулою

$$N_m = \frac{P_{пл} \cdot V}{3,6 \cdot 1000}; \quad (3.15)$$

де  $P_{пл}$  – тяговий опір плуга;

$V$  – робоча швидкість переміщення.

Рахуємо значення потужності

$$N_m = \frac{49240 \cdot 9}{3,6 \cdot 1000} = 123,1 \text{ кВт},$$

що відповідає потужності енергозасобу не менше у 167,4 к.с.

Аналогічно рахуємо для мінімальної ширини захвату плуга

$$N_m = \frac{38150 \cdot 9}{3,6 \cdot 1000} = 95,4 \text{ кВт},$$

що відповідає потужності енергозасобу не менше у 129,7 к.с.

За параметрами потужності підходять трактори 3-го тягового класу (150-220 к.с.).

Трактори типу Т-150 і Т-150К (150-180 к.с.) мають достатній запас потужності для роботи з даним плугом при зазначених умовах.

Перевіримо коефіцієнта використання потужності трактора.

Ефективність використання потужності двигуна характеризується коефіцієнтом. Як приклад візьмемо трактор Т-150 з двигуном ЯМЗ-236ДЗ (130 кВт), тоді

$$\eta = \frac{N_m}{N_e}, \quad (3.16)$$

де  $N_e$  – номінальна потужність двигуна,  $N_e = 130 \text{ кВт}$ , тоді

- для режиму максимальної ширини захвату

$$\eta = \frac{123,1}{130} = 0,95;$$

– для режиму мінімальної ширини захвату

$$\eta = \frac{95,4}{130} = 0,73.$$

Розрахунок показує, що обраний агрегат (плуг у поєднанні з трактором класу Т-150) забезпечує необхідні тягові та енергетичні параметри для ефективного виконання технологічного процесу. Значення коефіцієнта використання потужності свідчить про раціональне завантаження двигуна та відповідність параметрів агрегату умовам експлуатації. Крім того, можливість зміни ширини захвату дозволяє один і той самий агрегат використовувати при різних опорах ґрунту поля.

## **4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ**

### **4.1 Небезпеки, що виникають при виконанні основного обробітку ґрунту**

Основний обробіток ґрунту належить до найбільш складних і потенційно небезпечних технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві, оскільки виконується із застосуванням потужної енергетичної техніки, складних ґрунтообробних агрегатів і за умов постійного впливу природних факторів. У процесі виконання цих робіт на працівників діє сукупність небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що можуть призводити до травмування, професійних захворювань або аварійних ситуацій. Відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці» та чинних нормативно-правових актів, зокрема НПАОП 01.0-1.02-18 «Правила охорони праці в сільськогосподарському виробництві», роботодавець зобов'язаний забезпечити ідентифікацію таких небезпек і впровадити ефективні заходи щодо їх мінімізації.

Під час виконання основного обробітку ґрунту першочергову небезпеку становлять механічні фактори, пов'язані з роботою тракторів і причіпних або навісних машин. Робочі органи плугів, дискових борін або мульчувальних агрегатів перебувають у безперервному русі та мають значну кінетичну енергію, що створює ризик травмування при контакті з ними. Особливо небезпечним є вал відбору потужності, який у разі відсутності або пошкодження захисного кожуха може спричинити захоплення одягу працівника з подальшими тяжкими наслідками. Значну загрозу становить також можливість наїзду транспортного засобу на людину або перекидання трактора, що найчастіше відбувається при роботі на схилах, нерівностях рельєфу чи при виконанні різких маневрів. У цих випадках вагому роль відіграє технічний стан машини, правильність агрегування та рівень підготовки оператора.

Одночасно з механічними небезпеками на працівника впливають фізичні

фактори, серед яких найбільш суттєвими є шум, вібрація та запиленість повітря робочої зони. Рівень шуму під час роботи тракторів часто перевищує допустимі санітарні норми, встановлені ДСН 3.3.6.037-99, і за тривалої дії спричиняє зниження слуху та загальну втому організму. Вібрація, яка передається через сидіння та органи керування, може викликати функціональні порушення опорно-рухового апарату та нервової системи, що регламентується вимогами ДСН 3.3.6.039-99. Значна кількість пилу, що утворюється при обробі сухого ґрунту, погіршує умови праці, впливає на органи дихання та може містити залишки агрохімікатів, які підсилюють шкідливий ефект. Вплив несприятливих метеорологічних умов, таких як висока температура повітря, вітер або опади, додатково ускладнює трудовий процес і знижує працездатність працівника.

Не менш важливими є хімічні фактори, пов'язані з впливом вихлопних газів двигунів внутрішнього згорання та можливих залишків пестицидів у ґрунті. Забруднення повітря оксидами азоту, чадним газом та іншими токсичними речовинами негативно впливає на органи дихання, серцево-судинну систему й загальний стан організму. Тривале перебування в таких умовах без належного захисту може призвести до професійних захворювань, що обумовлює необхідність застосування засобів індивідуального захисту та контролю за технічним станом двигунів.

Особливого значення набувають психофізіологічні фактори, серед яких слід виділити монотонність роботи, підвищену відповідальність за керування технічно складними агрегатами та значні статичні навантаження. Оператор змушений тривалий час перебувати у сидячому положенні, концентрувати увагу на технологічному процесі та одночасно контролювати роботу машини, що створює передумови для швидкої втоми та зниження реакції. У свою чергу, це підвищує ризик виникнення аварійних ситуацій, особливо при роботі у складних польових умовах.

Небезпечні ситуації найчастіше виникають у результаті порушення технологічної дисципліни або недотримання вимог безпеки. Зокрема, це виконання регулювальних чи ремонтних робіт без зупинки двигуна, очищення

робочих органів під час їх руху, несправне агрегування машин або перебування сторонніх осіб у зоні дії техніки. Значну небезпеку становить також початок руху без попередньої перевірки технічного стану агрегату та ігнорування сигналів несправності. Відповідно до вимог нормативних документів, будь-які роботи з технічного обслуговування повинні виконуватися лише після повної зупинки машини, вимкнення двигуна та забезпечення неможливості самовільного запуску.

Для зниження рівня небезпек необхідно забезпечити комплексний підхід, що поєднує організаційні, технічні та санітарно-гігієнічні заходи. До роботи допускаються лише працівники, які пройшли відповідне навчання, інструктаж і медичний огляд. Техніка повинна відповідати вимогам державних стандартів, бути оснащеною захисними пристроями, справною гальмівною системою та засобами попередження аварій. Обов'язковим є використання засобів індивідуального захисту, зокрема протишумових навушників, респіраторів, захисного одягу та взуття. Важливою умовою є також дотримання режимів праці та відпочинку, що дозволяє зменшити перевтому і підвищити безпеку праці.

Отже, виконання основного обробітку ґрунту супроводжується комплексом взаємопов'язаних небезпечних і шкідливих факторів, які вимагають обов'язкового врахування при організації технологічного процесу. Лише суворе дотримання вимог чинного законодавства України з охорони праці, систематичний контроль технічного стану машин і належна підготовка персоналу забезпечують зниження виробничих ризиків і створення безпечних умов праці.

## 4.2 Заходи охорони праці при виконанні основного обробітку ґрунту

Заходи охорони праці при виконанні основного обробітку ґрунту повинні формуватися як комплекс взаємопов'язаних організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних та профілактичних рішень, спрямованих на усунення або максимальне зниження впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Відповідно до Закону України «Про охорону праці» та «Правил охорони праці в сільськогосподарському виробництві» (НПАОП 01.0-1.02-18), безпечне виконання робіт забезпечується ще на стадії організації технологічного процесу, підготовки персоналу та приведення технічних засобів у належний стан.

Насамперед важливе значення мають організаційні заходи, які передбачають допуск до виконання робіт лише осіб, що пройшли відповідне навчання, перевірку знань з питань охорони праці, первинний і повторний інструктажі, а також медичні огляди. Працівники повинні бути забезпечені чіткими інструкціями щодо безпечного виконання робіт і ознайомлені з потенційними небезпеками, що можуть виникати під час обробітку ґрунту. Керівник робіт зобов'язаний організувати контроль за дотриманням вимог безпеки, не допускати до роботи осіб у стані втоми, алкогольного чи наркотичного сп'яніння, а також забезпечити раціональний режим праці та відпочинку для зменшення психофізіологічного навантаження на операторів машин.

Важливим елементом є технічне забезпечення безпеки, яке передбачає використання справної, сертифікованої сільськогосподарської техніки, що відповідає вимогам державних стандартів. Перед початком робіт усі машини та агрегати повинні проходити ретельний технічний огляд із перевіркою гальмівної системи, рульового керування, гідравлічних систем, освітлювальних приладів і сигналізації. Особливу увагу слід приділяти наявності та справності захисних кожухів на рухомих частинах машин, зокрема на валі відбору потужності, оскільки їх відсутність є однією з найпоширеніших причин важких

травм. Робочі органи ґрунтообробних машин повинні бути надійно закріплені, а агрегування трактора із знаряддями має виконуватися відповідно до інструкції заводу-виробника з використанням справних зчіпних пристроїв.

Суттєве значення мають заходи безпеки під час безпосереднього виконання технологічного процесу. Рух агрегатів повинен здійснюватися з урахуванням рельєфу місцевості, стану ґрунту та погодних умов. При роботі на схилах необхідно дотримуватися допустимих кутів нахилу, визначених технічною документацією, а також уникати різких поворотів і маневрів, що можуть призвести до перекидання техніки. Забороняється перебування сторонніх осіб у зоні роботи машин, а також виконання будь-яких регульовальних чи ремонтних робіт під час руху або при ввімкненому двигуні. Усі роботи з очищення, обслуговування чи усунення несправностей повинні проводитися лише після повної зупинки агрегату, вимкнення двигуна і приведення його у безпечний стан.

Серед технічних заходів важливе місце займає застосування сучасних тракторів, обладнаних кабінами безпеки, які забезпечують захист оператора у випадку перекидання. Кабіни повинні бути герметизованими та оснащеними системами вентиляції і фільтрації повітря, що дозволяє зменшити вплив пилу і шкідливих газів. Для зниження рівня шуму та вібрації необхідно використовувати амортизовані сидіння, антивібраційні елементи та засоби звукоізоляції, що відповідає вимогам санітарних норм ДСН 3.3.6.037-99 і ДСН 3.3.6.039-99.

З метою зменшення негативного впливу фізичних і хімічних факторів працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту. До них належать спеціальний одяг, що не має вільних елементів, які можуть потрапити в рухомі частини механізмів, захисне взуття, протишумові навушники або вкладиші, респіратори для захисту органів дихання від пилу, а також рукавички. Використання таких засобів є обов'язковим відповідно до вимог державних нормативів і значно знижує ризик професійних захворювань.

Окрему увагу необхідно приділяти заходам пожежної безпеки, оскільки

під час роботи на полі, особливо в суху погоду, існує підвищена ймовірність займання рослинних решток від нагрітих частин двигуна або іскріз вихлопної системи. Машини повинні бути укомплектовані справними вогнегасниками, регулярно очищуватися від бруду та сухої рослинності, а куріння в безпосередній близькості до техніки суворо забороняється. У разі виникнення пожежі оператор зобов'язаний негайно зупинити агрегат і застосувати первинні засоби пожежогасіння.

Санітарно-гігієнічні заходи передбачають організацію належних умов праці, зокрема забезпечення працівників питною водою, можливістю відпочинку в тіні або спеціально облаштованих місцях, а також дотримання режимів праці та відпочинку, особливо в періоди високих температур. Це дозволяє зменшити вплив шкідливих факторів навколишнього середовища і запобігти перегріванню організму.

Таким чином, заходи охорони праці при виконанні основного обробітку ґрунту повинні мати комплексний характер і охоплювати всі етапи виробничого процесу – від підготовки персоналу та техніки до контролю за умовами праці під час виконання робіт. Дотримання вимог чинного законодавства України, систематичний технічний контроль і застосування сучасних засобів безпеки дозволяють істотно знизити рівень виробничого травматизму та створити безпечні умови праці в сільськогосподарському виробництві.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У результаті аналізу встановлено, що основний обробіток ґрунту виконується на глибину 25–35 см при допустимому відхиленні не більше  $\pm 2$  см, що є базовою агротехнічною вимогою для забезпечення рівномірного розвитку кореневої системи культур.

2. Визначено, що оптимальні фізико-механічні характеристики ґрунту для обробітку відповідають щільності орного шару 0,9–1,6 г/см<sup>3</sup> та вологості 15–30%, що забезпечує найменший опір обробітку і зниження енерговитрат.

3. Обґрунтовано застосування плуга зі змінною шириною захвату, у якому ширина одного корпусу змінюється в межах 0,40–0,50 м, що дозволяє ефективно адаптувати агрегат до різних ґрунтових умов та підвищити продуктивність роботи.

4. Розроблено восьмикорпусний начіпний плуг із загальною шириною захвату близько 3,2–4,0 м, який забезпечує підвищення змінної продуктивності та скорочення кількості проходів агрегату по полю.

5. Виконані розрахунки показали, що для механізму зміни ширини захвату доцільно використовувати гідроциліндр типу Ц-55×200 із максимальним зусиллям на штоку 23000 Н, що гарантує надійну роботу механізму в умовах експлуатації.

6. Визначено, що зусилля, необхідне для повороту рами плуга, становить близько 6000 Н, що враховує додаткові втрати на тертя та забезпечує стабільність роботи агрегату.

7. Розрахунок механізму регулювання глибини показав доцільність використання опорного колеса діаметром 500 мм та гвинтового механізму з діаметром гвинта 36 мм і довжиною різьби 250 мм, що забезпечує надійне регулювання глибини обробітку.

8. Встановлено, що робочі параметри ножів плуга забезпечуються за таких значень: кут загострення леза 24°, довжина верхнього ножа 182 мм,

нижнього — 138 мм, що дозволяє знизити тяговий опір і покращити якість різання ґрунту.

9. Для дискового ножа обґрунтовано використання діаметра диска 435 мм та твердості робочої частини не менше 45 HRC, що забезпечує ефективне розрізання скиби та підвищену зносостійкість.

10. Встановлено, що застосування удосконаленого плуга дозволяє зменшити енерговитрати на виконання операції оранки та підвищити якість обробітку за рахунок рівномірного кришення ґрунту, покращення структури орного шару та зниження ущільнення.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Andreikiv O.E., Babii A.V., Dolinska I.Ya., and Matviiv Yu.Ya. Determination of the Residual Life of the Spraying Boom of a Field Sprinkler in the Maneuvering Loading Mode. *Materials Science*. Vol. 56. No. 1, July, 2020. P. 112–118.
2. Andreikiv, O.Y., Dolinska, I.Y., Babii, A.V. et al. Residual life of the folded bimetal plate taking into account degradation of materials at high temperature and under long-term loading. *Mater Sci* 60, 2025. 650–656. <https://doi.org/10.1007/s11003-025-00932-9>.
3. Andreykiv O., Babii A., Dolinska I.,Yadzhak N., Babii M. Residual lifetime prediction of field sprayer booms under the action of manoeuvre loading and corrosive environment. *Procedia Structural Integrity*. Volume 36, 2022, P. 36-42. (ISSN 24523216, DOI 10.1016/j.prostr.2021.12.080).
4. Andrii Babii, Taras Dovbush, Nadiia Khomuk, Anatolii Dovbush, Anna Tson, Vasyl Oleksyuk, 2022. Mathematical model of a loaded supporting frame of a solid fertilizers distributor. *Procedia Structural Integrity* No 36. 203-210.
5. Babii A. Important aspects of the experimental research methodology. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, 2020. Vol 97. No 1. P. 77–87.
6. Babii A. Study of the efficiency of working mixture application in chemical crop protection. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, 2020. Vol 98. No 2. P. 99–109.
7. Babii A., Babii M. Impact of oscillation amplitude of boom sprayers load-bearing frame sections. *Scientific Journal of TNTU. Tern. : TNTU*, 2019. Vol. 95, No 3, P. 97–104.
8. Babii A., Blashchak B. Justification of the parameters of the soil preparation module of the potato planting machine. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 12(43), ч.ІІ. С. 165-174.
9. Babii A., Blashchak B. Study of the performance efficiency parameters of a potato planting machine. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 118, no 2, 2025. Pp.

117–127. [https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2025.02.117](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2025.02.117).

10. Babii A., Blashchak B., Valiashek V., Broshchak I., Malevych N. Substantiation of the parameters of a dosing mechanism for granular fertilizer application during potato planting. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 120, no 4, 2025. Pp. 10–20. [https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2025.04.010](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2025.04.010).

11. Babii A., Holovetskyi I. Engineering method of studying the kinematic parameters of the working body of the potato harvesting machine. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*. 2024. Vol. 10(41)\_I. P. 200-212. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.200-212](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.200-212).

12. Babii A., Holovetskyi I., Boiko V. (2024) Analysis of the behavior of potato bearing layer particles on the oscillating plane of the potato plant ploughshare. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 116, no 4, pp. 78–89. [https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2024.04.078](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.04.078).

13. Babii A., Levytskyi B. (2024) Research of stress-strain state of tank of small-size self-propelled sprayer. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 115, no 3, pp. 91–99. [https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2024.03.091](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.03.091).

14. Babii A., Levytskyi B., Dovbush T., Babii M., Khomuk N., Dovbush A., Valiashek V. Mathematical model of sprayer tank loading. *Procedia Structural Integrity*, 2024. No 59, 609-616. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.086>.

15. Babii A., Vovk I. Mathematical model of contact interaction between a rotating working body and plant stems for their shredding. *Engineering, Energy, Transport AIC. Scientific journals of Vinnitsa national agrarian university*. Vol. 103, № 3. 2025. P. 99-106. DOI: 10.37128/2520-6168-2025-3-11 .

16. Babii A.; Aulin V.; Babii M.; Levytskyi B. (2022) Investigation of the working capacity of the operating body suspension functional-transporting machine. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 105, no 1, pp. 5–12. [https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2022.01.005](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2022.01.005).

17. Kverneland 150 B Variomat Mounted Reversible Plough : веб-сайт. URL : <https://forgie.com/product/kverneland-150-b-variomat-mounted-reversible-plough/>

18. Kverneland 6300 S VARIOMAT : веб-сайт. URL : <https://cn.kvernelandgroup.com/ploughs/reversible-ploughs/kverneland-6300-s-variomat>
19. Kverneland 6300 S VARIOMAT : веб-сайт. URL : <https://www.rbauction.com/pdp/2016-kuhn-vari-master-123-5-h75-90-5-bottom-reversible-plow/14304898>
20. Kverneland upgrades Variomat range : веб-сайт. URL : <https://world-agritech.com/2025/10/13/kverneland-upgrades-variomat-plough/>
21. Lemken Europa17 4+1 furrow : веб-сайт. URL : <https://www.bidspotter.co.uk/en-gb/auction-catalogues/brown-and-co/catalogue-id-ibbr10049/lot-04ac069a-674f-4e61-9e23-ac3700ed247b>
22. Lemken: веб-сайт. URL : [lemken.com](http://lemken.com)
23. Oleg Lyashuk, Andrii Diachun, Ihor Tkachenko, Mykola Stashkiv, Andrii Babii, Maria Pankiv, Zhanna Babiak, Alexander Marunych, Oleg Lakh, Artur Starikh. Investigation of the bulk material movement kinematics in conical screw conveyor. INMATEH - Agricultural Engineering. Vol. 74, 2024. No. 3. pp. 732-744.
24. Study of the performance efficiency parameters of a potato planting machine / Andrii Babii, Bohdan Blashchak // Scientific Journal of TNTU. Tern.: TNTU, 2025. Vol 118. No 2. P. 117–127.
25. Syrotyuk A.M., Babii A.V., Barna R.A., Leshchak R.L., Marushchak P.O. Corrosion-Fatigue Crack-Growth Resistance of Steel of the Frame of a Sprayer Boom. Materials Science, 2021, 56(4), P. 466–471.
26. Бабій А., Бабій М. Дослідження міцності елементів конструкції функціонально-транспортуючих мобільних засобів. *Науковий журнал «Інженерія природокористуванн*, 2019. №3 (13) С. 87–91.
27. Бабій А., Вовк І., Гладьо Ю. Багатофункціональний ротаційний робочий орган. Інновації в агропромисловому комплексі, машинобудуванні та транспорті: збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Рівне, 9-10 квітня 2025 року. Рівне: НУВГП, 2025. С.6-8.

28. Бабій А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Конструкція, розрахунок і виробництво сільськогосподарських машин» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» зі спеціалізацією «Машини сільськогосподарського виробництва» для здобуття освітнього ступеня «бакалавр» / А.В. Бабій. Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. 100 с.

29. Бабій А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Сільськогосподарські машини: конструкції та розрахунок» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Бакалавр». Машини для заготівлі кормів. Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2022. 76 с.

30. Бабій А.В., Бабій М.В. Організація і технологія механізованих робіт: навчальний посібник до курсового проектування для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Бакалавр». Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2023. 144 с.

31. Бабій А.В., Вовк І.В. Дослідження енергетичних показників при подрібненні рослин бильними робочими органами. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Вип. 14 (45), 2026. С.77-86. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.14\(45\).77-86](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.14(45).77-86)

32. Бабій А.В., Вовк І.В., Гладь Ю.Б., Валяшек В.Б. Ротаційний робочий орган. Патент на корисну модель 160845, Україна. МПК (2025.01) А01В 33/00. u 2025 00186; заявл. 16.01.2025; опубл. 5.10.2025, Бюл.№ 42.

33. Бабій А.В., Вовк І.В., Бабій В.А. Обґрунтування параметрів вала багатофункціонального ротаційного робочого органу. Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 17-19 квітня 2024 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2024. С. 9-10.

34. Бабій А.В., Довбуш Т.А., Бабій М.В., Ткаченко О.І., Сташків М.Я. Динаміка машин. Навчальний посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування» та 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Магістр». Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2023. 246 с.

35. Блащак Б.О., Бабій А.В., Вовк І.В. Визначення параметрів взаємодії ґрунтової стружки з направляючим кожухом фрезерного модуля. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIV міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11-12 грудня 2025) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2025. С.52-54.

36. Вовк І., Бабій В., Бубняк Р. Переваги використання багатофункціонального ротаційного робочого органу. Матеріали VIII Міжнародної студентської науково - технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 24-25 квітня 2025 р.), 2025. С.28-29.

37. Вовк І.В., Бабій А.В. Обґрунтування доцільності у проектуванні багатофункціонального ротаційного робочого органу. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. С.96-97.

38. Гевко Р.Б. Системи доочищення коренеплодів при їх механізованому збиранні : монографія / Р. Б. Гевко, І. Г. Ткаченко, Р. М. Рогатинський, С. В. Синій та ін. Тернопіль : Осадца Ю. В., 2020. 216 с.

39. Довбуш Т.А., Хомик Н.І., Бабій А.В., Цьонь Г.Б., Довбуш А.Д. Опір матеріалів: навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.

40. Керб Л. П. Основи охорони праці: Навч. пос. К.: КНЕУ, 2003. 215с.

41. Олексюк В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи

для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія». / В.П. Олексюк, А.В. Бабій, М.Я. Сташків, Н.І. Хомик, Т.А. Довбуш, Г.Б. Цьонь, В.В. Мартинюк. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. 93 с.

42. Опір матеріалів. Під заг. ред. акад. АН УРСР Г. С. Писаренко. К.:Вища школа, 1974. 304 с.

43. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. К.: Вища шк., 1993. 556 с.

44. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку : навч. посіб. / за ред. Д. Г. Войтюка; авт. кол.: / Д.Г. Войтюк, С.С.Яцун, М.Я. Довжик. Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. 543 с.

45. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» / За ред. М.І. Черновола. Кн. 1: Машини для рільництва / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропівний; За ред. М.І. Черновола. К.: Урожай, 2001. 384 с.

46. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» / За ред. М.І. Черновола. Кн. 3: Машини та обладнання для переробки зерна та насіння / П.В. Сисолін, М.М. Петренко, М.О. Свірень; За ред. М.І. Черновола. К.: Фенікс, 2007. 432 с.

47. Хомик Н. І., Мартинюк В. В., Бабій А. В., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А., Довбуш А. Д. Агрозахист: навчальний посібник за заг. ред. к. т. н., доц. Хомик Н. І. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. 520 с.

48. Хомик Н.І., Олексюк В.П., Сташків М.Я., Бабій А.В., Довбуш Т.А. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності Агроінженерія / Н. І. Хомик, В. П. Олексюк, М. Я. Сташків, А. В. Бабій, Т. А. Довбуш. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. 180 с.