

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

«Допущено до захисту»

зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«___» _____2025 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

Модернізація плуга ПЛН-5-35

з удосконаленням дискового ножа

Виконав здобувач вищої освіти IV курсу,
групи ГМ-22мб-1

ОПП «Галузеве машинобудування»

спеціальності 133 «Галузеве машинобудуван

_____ Пишногуб Олексій Дмитрович

«___» _____2025 р.

Керівник проекту

доц., канд. техн. наук

_____ Віктор ДЕЙКУН

«___» _____2025 р.

Рецензент

_____доц. Скриннік І.О.

Кропивницький

ЗМІСТ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Розділ	Найменування структурних одиниць і розділів	Арк.
	Анотація	4
1	Вступ	5
2	Стан питання про машину, яка підлягає модернізації	6
3	Конструкторська частина.	23
	3.1. Технологічні розрахунки.	23
	3.2. Кінематичний і силовий аналіз начіпки плуга.	27
	3.3. Силовий аналіз.	37
	3.4. Розрахунок деталей на міцність	38
4	Висновки	42
	Список використаної літератури	43
	Додатки	45

АНОТАЦІЯ

Метою кваліфікаційної роботи є вдосконалення конструкції плуга ПЛН-5-35, зокрема, його дискового ножа. Дискові ножі є одним із ключових елементів плуга, що суттєво впливають на якість обробітку ґрунту.

Запропонована у кваліфікаційній роботі модернізація полягає в заміні стандартного серійного ножа з гладким краєм на диск із вирізним периметром, у якого ріжуча частина має дугоподібну форму. Таке рішення дозволить: зменшити опір під час входження ножа в ґрунт; краще розрізати рослинні рештки завдяки гострішому куту атаки лез; знизити ймовірність забивання робочих органів; зменшити час, необхідний на обслуговування агрегату в польових умовах.

ANNOTATION

The purpose of the qualification work is to improve the design of the PLN-5-35 plow, in particular, its disk knife. Disk knives are one of the key elements of the plow, which significantly affect the quality of soil cultivation.

The modernization proposed in the qualification work consists in replacing the standard serial knife with a smooth edge with a disk with a cut perimeter, in which the cutting part has an arcuate shape. Such a solution will allow: to reduce resistance when the knife enters the soil; to better cut plant residues due to the sharper angle of attack of the blades; to reduce the likelihood of clogging of the working parts; to reduce the time required to service the unit in field conditions.

1. ВСТУП

Досягнення високих і стабільних врожаїв є одним із пріоритетних напрямів у розвитку сільськогосподарського виробництва. Світова практика доводить, що зростання обсягів продовольства здебільшого забезпечується за рахунок інтенсифікації землеробства та підвищення родючості ґрунтів.

Обробіток ґрунту виступає важливою складовою агротехнологічного процесу, оскільки створює оптимальні умови для росту та розвитку сільськогосподарських культур. Основними функціями обробітку є регулювання теплового, повітряного, водного та поживного режимів ґрунту, боротьба з бур'янами, шкідниками та збудниками хвороб, а також внесення добрив і післяжнивних решток, попередження ерозійних процесів і забезпечення належних умов для загортання насіння й догляду за посівами. Зокрема, оранка є ключовою операцією, яка значною мірою впливає на структуру ґрунту й підвищення його родючості.

Механічна обробка залишається основним способом якісного виконання технологічних операцій, що безпосередньо впливає на рівень урожайності. Застосування новітніх технологій і сучасної техніки сприяє раціональному використанню ґрунтових ресурсів і підтримує сталий розвиток аграрного сектору.

Використання високопродуктивної універсальної ґрунтообробної техніки в системах обробітку ґрунту дозволяє значно підвищити урожайність сільськогосподарських культур, знизити витрати на обробіток і догляд за посівами, а також сприяє екологічній збалансованості аграрних технологій.

У цьому контексті завдання кваліфікаційної роботи, що полягає в удосконаленні конструкції дискового ножа плуга ПЛН-5-35, набуває особливої актуальності.

2. СТАН ПИТАННЯ ПРО МАШИНУ, ЯКА ПІДЛЯГАЄ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Плуги загального призначення є одним із найпоширеніших типів ґрунтообробної техніки, які використовуються в сільському господарстві для основного обробітку ґрунту – оранки. Вони призначені для розпушування та перевертання орного шару ґрунту з метою покращення його структури, знищення бур'янів, загортання рослинних решток і добрив, а також створення сприятливих умов для росту сільськогосподарських культур.

До плугів загального призначення висуваються такі основні вимоги: висока якість обробітку ґрунту, надійність в роботі, простота технічного обслуговування, сумісність з тракторами різних класів та здатність працювати в різних ґрунтово-кліматичних умовах.

Плуги загального призначення поділяються за різними критеріями:

- за способом агрегування з трактором: навісні, напівнавісні та причіпні;
- за типом корпусу: з лемішно-полицевими, лемішно-долотовими або ротаційними робочими органами;
- за кількістю корпусів: однокорпусні, багатокорпусні (2, 3, 4, 5, 6 і більше);
- за типом ґрунтів, для яких призначені: для звичайних, важких, сухих, кам'янистих, вологих ґрунтів.

Агротехнічні вимоги до виконання оранки

Оранка є основним і найпоширенішим видом основного обробітку ґрунту, який виконується з метою створення оптимальних умов для розвитку сільськогосподарських культур. Від правильного виконання цієї операції залежить не лише структура і родючість ґрунту, а й загальна ефективність виробництва.

До основних **агротехнічних вимог** при виконанні оранки належать:

1. Глибина оранки. Глибина обробітку повинна відповідати агрономічним рекомендаціям для конкретної культури та типу ґрунту. Зазвичай вона становить 20-30 см. Глибина повинна бути стабільною по всій площі поля для рівномірного проростання культур.

2. Якість перевертання скиби. Скиба повинна бути повністю перевернута для загортання поживних решток, бур'янів, насіння та збудників хвороб. Це забезпечує чистоту поля й сприяє покращенню структури ґрунту.

3. Рівність поверхні. Після проходу плуга поверхня поля повинна бути максимально рівною, без гребенів та борозен. Це полегшує подальші технологічні операції: культивацію, сівбу, обприскування.

4. Подрібнення грудок. Великі грудки ґрунту повинні бути подрібнені до оптимального розміру. Це сприяє кращому контакту насіння з ґрунтом і поліпшує водно-повітряний режим.

5. Загортання рослинних решток. Рештки післяжнивної маси повинні бути повністю загорнуті у ґрунт на глибину не менше 10-15 см. Це зменшує ризик ураження рослин шкідниками та хворобами.

6. Утворення щільного ложа під насіння. У нижній частині орного шару повинно формуватись ущільнене ложе, яке забезпечує рівномірне розміщення насіння та оптимальні умови для його проростання.

7. Відсутність огривів. Плуг повинен обробити всю площу без пропусків і перекриттів, які можуть призвести до нерівномірного розподілу вологи, добрив і насіння.

8. Збереження структури ґрунту. Оранка повинна проводитися в оптимальні строки — не надто вологий і не пересушений ґрунт. Це дозволяє зберегти його структуру, уникнути утворення плужної підшви і запобігти ерозії.

9. Дотримання правильного напрямку оранки. Напрямок оранки має бути обраний з урахуванням рельєфу місцевості, щоб запобігти ерозійним процесам та забезпечити раціональне використання площі.

Виконання наведених агротехнічних вимог сприяє покращенню фізико-хімічних властивостей ґрунту, збереженню його родючості та формуванню сприятливого середовища для розвитку культурних рослин. Це, у свою чергу, є запорукою отримання стабільно високих врожаїв.

Агротехнічні вимоги до плугів загального призначення

Плуги загального призначення широко застосовуються в сільському господарстві для основного обробітку ґрунту з метою підготовки його до сівби. Щоб забезпечити якісну та ефективну роботу, ці знаряддя повинні відповідати ряду агротехнічних вимог, спрямованих на збереження родючості ґрунту, рівномірність обробітку та оптимальні умови для росту рослин.

До основних **агротехнічних вимог до плугів загального призначення** належать:

1. Якісне перевертання скиби. Плуг повинен забезпечувати повне перевертання скиби із загортанням пожнивних решток, добрив і бур'янів. Це сприяє очищенню поля, знищенню шкідників і хвороботворних організмів.

2. Рівномірна глибина обробітку. Глибина оранки має бути сталою по всій ширині захвату плуга, відповідати агрономічним вимогам (20-30 см) і не мати відхилень, що негативно впливають на схожість і ріст культур.

3. Збереження структури ґрунту. Плуг повинен забезпечувати мінімальне порушення структури ґрунту при збереженні оптимальної щільності орного шару, що сприяє кращому водо- та повітрообміну.

4. Рівність поверхні поля. Після проходу плуга не повинно залишатися борозен, гребенів або переущільнених зон. Це полегшує проведення наступних агротехнічних операцій (наприклад, культивуації чи сівби).

5. Подрібнення грудок. Робочі органи плуга мають забезпечувати роздрібнення великих грудок ґрунту до фракцій, придатних для сівби. Особливо важливим це є на важких глинистих ґрунтах.

6. Стійкість і плавність ходу. Плуг повинен рівномірно заглиблюватися в ґрунт без вібрацій і коливань, зберігаючи прямолінійність борозни та заданий напрямок руху агрегату.

7. Енергетична ефективність. Конструкція плуга має бути спрямована на зменшення тягового опору, що дозволяє економити паливо, зменшувати зношення тракторів і підвищувати загальну продуктивність.

8. Адаптація до різних ґрунтових умов. Плуг повинен ефективно працювати на різних типах ґрунтів: легких, середніх, важких, а також на полях із післяжнивними рештками або рослинним покривом.

9. Сумісність із сучасною технікою. Важливо, щоб плуги були адаптовані до експлуатації в складі сучасних енергозасобів, мали відповідну навіщувальну або причіпну систему.

10. Безпечність конструкції. Робочі органи та елементи конструкції не повинні створювати небезпеки для оператора. Важливим є наявність захисту від перевантажень (наприклад, зрізних болтів або ресорних механізмів).

Ці вимоги є орієнтиром при проектуванні, виборі й модернізації плугів, а також визначають критерії їх ефективного використання у виробничих умовах. Врахування наведених положень сприяє підвищенню врожайності культур, зменшенню витрат на обробіток ґрунту і забезпеченню сталого розвитку агровиробництва.

Плуги загального призначення за останні роки зазнали певної модернізації, зокрема щодо використання зносостійких матеріалів, гідравлічних систем для регулювання параметрів оранки та вдосконалення форм робочих органів. Це дозволяє підвищити продуктивність агрегатів, зменшити енергетичні витрати та забезпечити високу якість обробітку ґрунту.

Огляд лемішних плугів загального призначення

Плуги загального призначення, у тому числі сільськогосподарські та лемішні, класифікуються за такими ознаками:

- тип тяги – поділяються на кінні та тракторні;
- спосіб з'єднання з трактором – розрізняють причіпні, начіпні та напівначіпні моделі;
- кількість корпусів – бувають однокорпусні та багатокорпусні;
- швидкість обробки ґрунту – поділяються на звичайні (до 1,4 м/с) та швидкісні (понад 2,2 м/с);
- технологія оранки – виділяють плуги для звально-розвальної та гладкої оранки. Останні мають корпуси з правим і лівим обертанням, що працюють по чергово, завдяки чому не утворюються звальні гребені та різні борозни.

Ці плуги призначені для обробки різних типів ґрунтів після збирання зернових, технічних культур та багаторічних трав на глибину 18–30 см. Універсальні корпуси забезпечують ефективну відвальну обробку на швидкостях, які відповідають характеристикам сучасних тракторів. Робочі органи оснащені змінними елементами (лемеші, відвали тощо), які уніфіковані для всіх моделей плугів загального призначення. Агрегатуються з тракторами класів від 0,6 до 5.

Промисловість випускає начіпні плуги з різною шириною захвату, адаптовані до сучасного модельного ряду тракторів.

Одним із провідних європейських виробників плугів є норвезька компанія **Kverneland**, яка експортує близько 90 % своєї продукції. Асортимент компанії включає 70 моделей плугів загального призначення, серед яких звичайні плуги представлені одинадцятьма типами з шириною захвату від 2 до 12 корпусів. Зазвичай плуги обладнані автоматичними запобіжними механізмами, що захищають конструкцію у разі зіткнення з перешкодами.

Компанія виготовляє полицево-лемішні плуги як у начіпному, так і в напівначіпному виконанні для звально-розвальної оранки. Більшість моделей оснащено гідравлічною системою **Variomat**, яка дає змогу безступінчасто регулювати ширину захвату безпосередньо з кабіни трактора. Це дозволяє ефективно працювати на ділянках з різною формою та рельєфом.

Зміна ширини захвату досягається шляхом регулювання кута між тяговим брусом, з'єднаним із гідроциліндром, і головним брусом. При цьому кожен корпус обертається на відповідний кут.

Начіпні моделі Kverneland мають від 2 до 5 корпусів, а напівначіпні – від 4 до 12 корпусів.

Плуг Kverneland AB/AD з кількістю корпусів від 2 до 8 (рис. 2.1) призначений для полицевого обробітку ґрунту в умовах, де немає ризику виникнення ерозійних процесів. Балка плуга має переріз 100×200 мм. Основна відмінність між моделями полягає в способі регулювання ширини захвату: у моделі AB вона змінюється механічно, тоді як у моделі AD – гідравлічно.



Рис. 2.1. Плуг 2-8-и корпусний (Kverneland AB/AD)

Американська компанія **John Deere** виробляє різні типи плугів:

- причіпні з кількістю корпусів від 5 до 12 (рис. 2.2),
- напівначіпні – від 4 до 8 корпусів,
- начіпні оборотні – від 3 до 6 корпусів.

У причіпних і напівначіпних моделях передбачено регулювання ширини захвату, яке може здійснюватися вручну за допомогою стяжного гвинта або гідравлічно. Верхня частина полиці корпусів оснащується сталевими або пластмасовими кутознімачами, які виконують функцію передплужників.



Рис. 2.2. Плуг 6-10-ти корпусний лемішний (John Deere 3710).

Плуги призначені для здійснення полицевого обробітку ґрунту. Вони виготовляються зі зчіпкою для роботи «по полю», а шестикорпусна модель також доступна у варіанті виконання для роботи «в борозні».

Шведська компанія **Överum Tive**, один із провідних виробників, випускає широкий асортимент плугів у начіпному та напівначіпному виконанні.

Начіпні моделі ВТ/СТ з кількістю корпусів від 2 до 5 оснащуються нерухомим брусом та трьома варіантами систем обходу каменів, що дозволяє ефективно працювати як на легких, так і на важких ґрунтах. Робоча ширина встановлюється вибором одного з чотирьох фіксованих значень – 25, 30, 35 або 40 см, при цьому конструкція має великий кліренс (75 см). Зміна ширини здійснюється шляхом переставлення одного з болтів. Регулювання передньої ширини борозни та лінії тяги проводиться за допомогою поворотного хомута.

Для легких ґрунтів із незначною кількістю каміння застосовується автоматична система обходу каменів, у якій тиск пружини можна налаштувати гвинтом. Для обробітку легких і середніх ґрунтів пропонується автоматичний обвідний механізм із туковими (демпфуючими) блоками, що забезпечує додаткову надійність при зіткненні з перешкодами.



Рис. 2.3. Плуг Överum 4-корпусний

Плуги польської компанії **Vomet** (рис. 2.4) відзначаються високою продуктивністю, надійністю та якісним виконанням, що забезпечує їх ефективну роботу в різних умовах польових робіт.



Рис. 2.4. Плуг Vomet (Польща).

Навісні плуги **Vomet** випускаються у 3-, 4- та 5-корпусному виконанні з шириною корпусів 250 мм, 300 мм або 350 мм. Конструкція кожного плужного корпусу включає циліндроїдальну полицю та леміш із подовженим долотоподібним носком, який відзначається підвищеною міцністю.

Над полицею встановлений кутознімач, що зрізає верхній шар ґрунту і переміщує його на дно борозни, сприяючи кращому загортанню рослинних решток.

Плуг обладнано гвинтовим механізмом для регулювання ширини захвату першого корпусу. Глибина оранки налаштовується за допомогою опорного колеса – сталевого або пневматичного, залежно від комплектації. Завдяки високим (700 мм) стійкам, плуг ефективно працює навіть при значній кількості рослинних залишків, запобігаючи їх накопиченню.

Перед останнім корпусом передбачено отвір для встановлення дискового ножа, який, однак, не входить до базової комплектації плуга.

Начіпний чотирикорпусний плуг **ПЛН-4-35** (рис. 2.5), що є вітчизняною розробкою, створено як заміну моделі ПН-35. Його призначено для основного обробки ґрунту під посів зернових і технічних культур. Плуг забезпечує оранку на глибину до 30 см на різних типах ґрунтів, що не містять каміння, плитняка або інших механічних перешкод. Агрегат ефективно працює на ґрунтах із питомим опором до 0,09 МПа.



Рис. 2.5. Плуг чотириохкорпусний начіпний ПЛН-4-35.

Лемішні плуги марки FINIST (рис. 2.6) призначені для відвальної обробки ґрунтів під зернові та технічні культури на глибину до 30 см. Вони ефективно працюють на ділянках, вільних від каміння, плитняка та інших твердих включень. Плуги цього типу забезпечують підрізання, розпушування, кришення та перевертання ґрунтового шару. Така обробка покращує аерацію ґрунту, сприяє кращому проникненню вологи та поживних речовин до кореневої зони рослин, а також забезпечує ефективне загортання бур'янів.

Технологічна схема роботи плуга передбачає, що під час входження агрегату в робочу смугу, передплужник виконує попереднє підрізання та перевертання верхнього шару ґрунту, укладаючи його на дно раніше утвореної борозни. Це забезпечує якісне загортання рослинних решток, бур'янів і поживних залишків, а також сприяє кращому подрібненню пласта.



Рис. 2.6. Плуг навісний FINIST ПЛН 8-35.

Високоєфективний п'ятикорпусний плуг ПСКУ-5 (рис. 2.7) призначений для проведення основної обробки ґрунту як у відвальному, так і в безвідвальному режимі на глибину до 30 см. Агрегат придатний для використання на полях з різними типами ґрунтів та рівнинним рельєфом з ухилом не більше 8°.

Плуги ПСКУ-5 характеризуються збільшеною шириною захвату, що досягається завдяки спеціальній конструкції робочих органів. Застосування гвинтових відвалів у конструкції дозволяє забезпечити якісне перевертання і кришення ґрунту при одночасному зниженні енергетичних витрат. Це робить плуг ефективним елементом енергозберігаючих технологій, оскільки зменшує необхідні тягові зусилля та спрощує подальшу обробку зораного поля.



Рис. 2.7. Плуг ПСКУ-5.

Конструкція таких плугів включає низку основних складових, кожна з яких виконує певну функцію в технологічному процесі обробітку ґрунту.

Рама — це несуча конструкція, до якої кріпляться всі інші елементи плуга. Вона забезпечує міцність, жорсткість і стійкість під час роботи в польових умовах. Рами можуть бути нерозбірними або складатися з окремих секцій, що дає змогу змінювати ширину захвату.

Корпус плуга є головним робочим органом і складається з кількох елементів:

- **лемеша**, який здійснює горизонтальний зріз ґрунту;
- **полиці**, що піднімає та перевертає пласт;
- **щитка або розсікача**, який подрібнює ґрунт;
- **стійки**, яка з'єднує корпус з рамою.

Для покращення якості оранки та зменшення опору при роботі, перед основним корпусом може встановлюватися **передплужник**. Він зрізає верхній шар ґрунту з рослинними рештками, що сприяє повнішому загортанню поживних залишків.

Дисковий ніж встановлюється перед лемешем і виконує функцію вертикального розрізання ґрунту. Це полегшує обробіток, особливо на важких або зарослих полях.

Копіювальне (опорне) колесо призначене для стабілізації глибини оранки та зниження навантаження на трактор. У багатокорпусних плугах таких коліс може бути кілька.

Навісний або причіпний пристрій забезпечує агрегування плуга з трактором. У навісних плугах застосовується три точкове з'єднання, яке дозволяє піднімати і транспортувати плуг на полі та дорогах.

Регулювальні механізми дозволяють змінювати ширину захвату, глибину оранки, положення корпусів, а також налаштовувати робочий кут.

Таким чином, кожна складова частина плуга загального призначення виконує важливу роль у процесі якісного обробітку ґрунту. Раціональна конструкція та правильне налаштування плуга забезпечують ефективність оранки, зниження енергетичних витрат та збереження родючості ґрунту.

Складові плугів загального призначення виконують визначену функцію, що сприяє якісному та ефективному обробітку ґрунту. Від правильного регулювання і використання цих елементів залежить результативність оранки на різних типах ґрунтів.

Об'єктом розробки обираємо плуг п'ятикорпусний навісний ПЛН-5-35 загального призначення, який застосовується для основного обробітку на глибину до 30 см під зернові та технічні культури різноманітних ґрунтів, не засмічених камінням, плитняком та іншими перешкодами, з питомим опором до 0,09 МПа. (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Плуг начіпний п'ятикорпусний ПЛН-5-35.

Одним із важливих складових є дисковий ніж, який обрано об'єктом дослідження в межах цієї кваліфікаційної роботи.

Дисковий ніж виконує вертикальний розріз ґрунту по межі відокремлення оброблюваного шару від нерухомого масиву, що покращує перевертання пласта, сприяє ефективному загортанню рослинних решток, стабілізує рух плуга та забезпечує рівномірну глибину оранки. Дисковий ніж, таким чином, відіграє важливу роль у підвищенні якості та енергоефективності обробітку.

На рис. 2.8 представлено типи існуючих ножів: дискові (а), череслові (б), плоскі з опорною лижею.

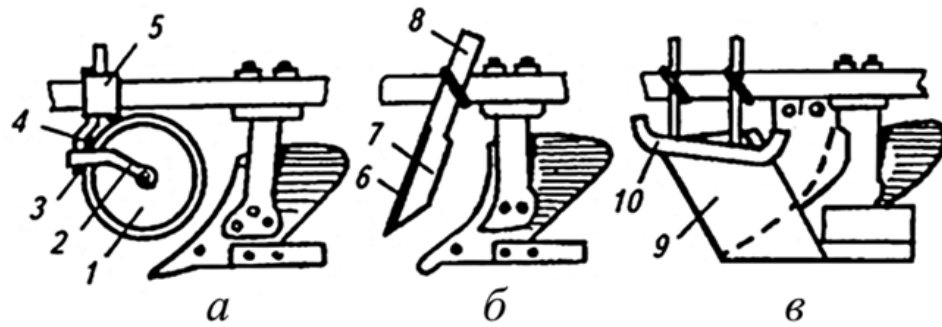


Рис. 2.9 Типи ножів. 1 – диск; 2 – вилка; 3 – корончата шайба; 4 – колінчата вісь; 5 – шарнір; 6 – лезо; 7 – черенковий ніж; 8 – стояк; 9 – полозковий ніж; 10 – опорна лижа.

Конструкція дискового ножа зображена на рисунку 2.10.

Обертання диска здійснюється за рахунок двох кулькових підшипників, розташованих у маточині. Кріплення диска до маточини відбувається за допомогою заклепок. Для компенсації осьового люфту, що виникає внаслідок зношування торців, між маточиною та вилкою встановлюють регульовальні кільця.

Вилка закріплюється на нижньому кінці стійки за допомогою корончатої гайки. Максимальний кут повороту виделки в обидва боки становить 20° .

Нижня частина стійки має вигин у вигляді коліна, що дозволяє коригувати відстань між площиною диска та польовим обрізом корпусу плуга або передплужника.

Положення ножа у горизонтальній площині регулюється обертанням стійки після послаблення гайок скоби та державки, якими вона кріпиться до рами плуга. Вертикальне положення регулюється підняттям або опусканням стійки після послаблення її гайок.

Робоча кромка диска має подвійне заточення під кутом $40...45^\circ$, а його товщина визначається діаметром. Глибина встановлення дискового ножа повинна бути меншою за глибину оранки.

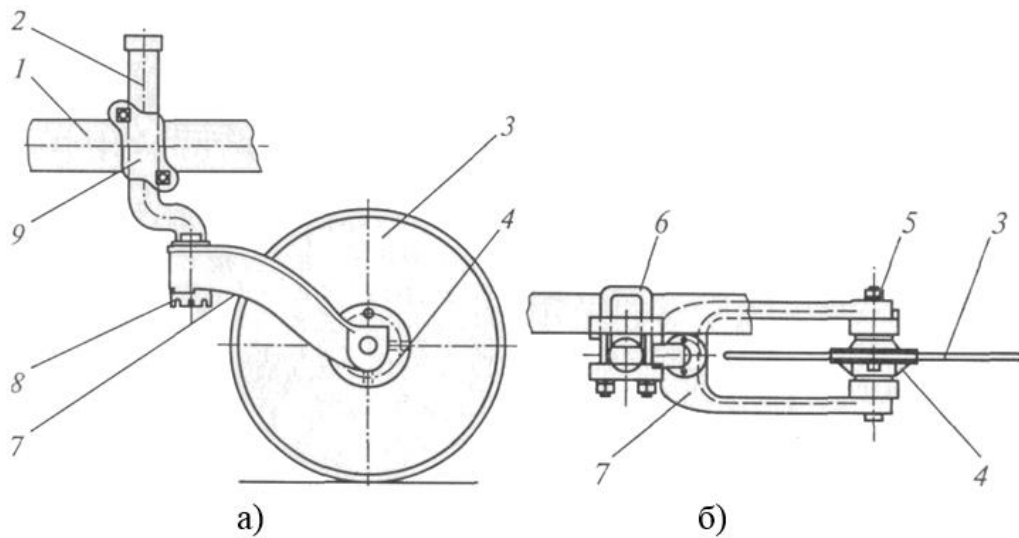


Рис. 2.10 Дисковий ніж: а) – вид з боку; б) – вид зверху; 1 – рама плуга; 2 – стійка; 3 – диск; 4 – ступиця; 5 – вісь; 6 – скоба; 7 – вилка; 8 – корончата гайка; 9 – державка

Під час роботи ніж автоматично встановлюється в площині, що відповідає напрямку руху агрегату. Кріплення диска до рами здійснюється за допомогою хомута та накладки (рис. 2.11). Конструкція забезпечує можливість регулювання положення ножа – він може переміщуватися вертикально (вгору), а також у поздовжньому напрямку (вперед і назад). Крім того, допускається налаштування положення площини обертання диска відносно польового обрізу корпусу плуга.

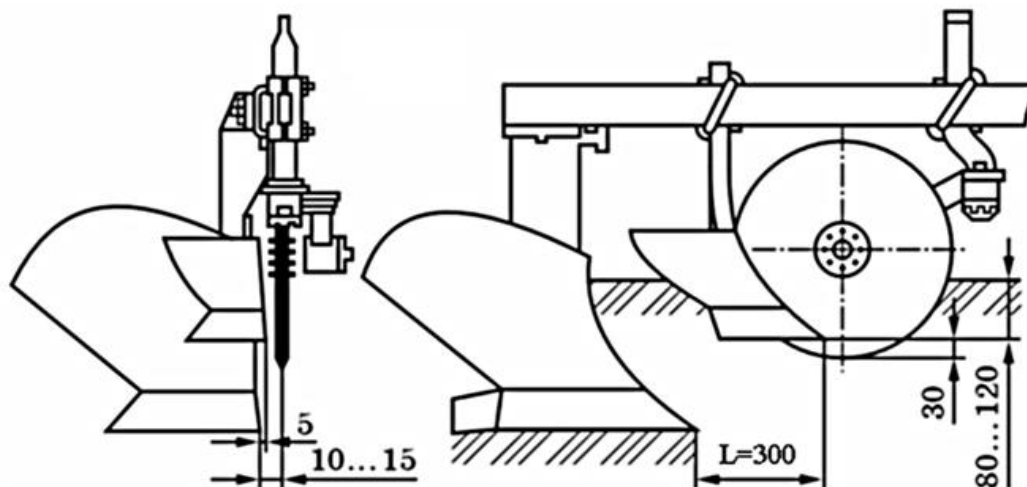


Рис. 2.11 Взаємне розташування робочих органів на рамі плуга.

Дискові ножі застосовуються на плугах загального призначення для якісної оранки ґрунтів, які не містять каміння або залишків деревного коріння.

З метою формування рівної стінки та чистого дна борозни, диск зазвичай монтується попереду останнього корпусу плуга.

Модернізація дискового ножа плуга

Ми запропонували модернізувати стандартний серійний дисковий ніж із гладким краєм, який використовується в базових моделях, шляхом його заміни на диск із вирізним контуром, де ріжучі кромки мають дугоподібну форму. Така конструкція забезпечує ефективніше подрібнення рослинних решток на поверхні поля завдяки лезам з гострішим кутом атаки. Застосування оновленого ножа дозволяє знизити опір при розрізанні ґрунтового шару, що, у свою чергу, зменшує ризик забивання робочих органів рештками та скорочує час, витрачений на обслуговування агрегату під час роботи.

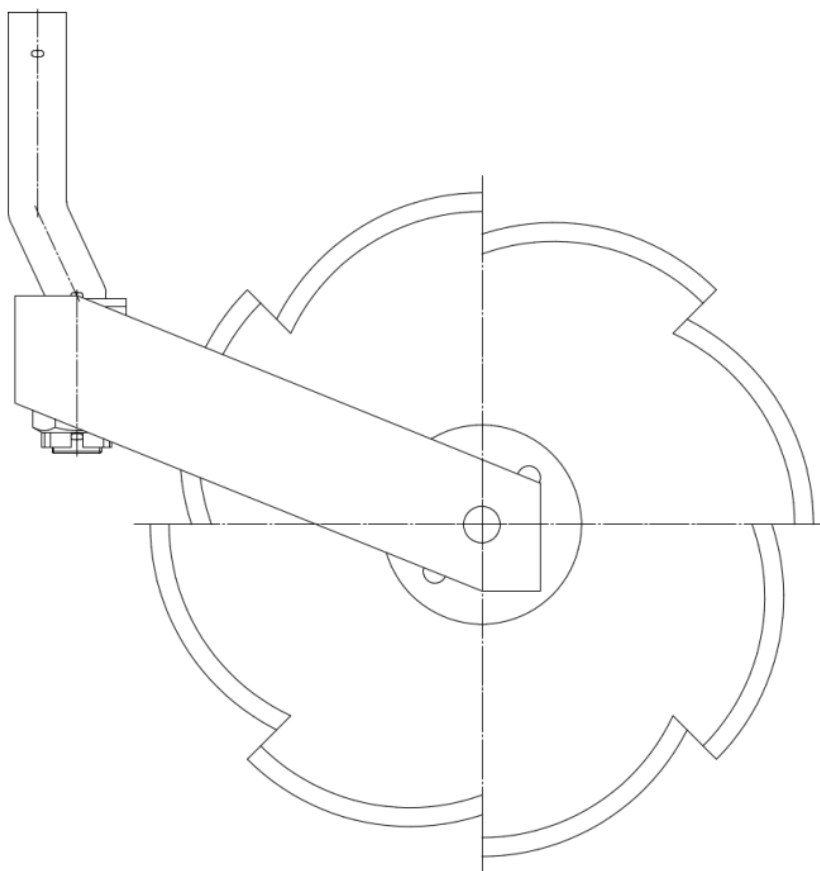


Рис. 2.12 Дисковий ніж модернізований.

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Технологічні розрахунки

Визначення ширини захвату є необхідним етапом для обґрунтування вибору плуга в агротехнологічному процесі, оскільки цей параметр визначає ширину смуги, яку потрібно орати, впливає на витрати пального, тривалість польових робіт і навантаження на трактор.

Для плуга загального призначення ПЛН-5-35 ширина захвату складе:

$$B = \frac{\eta P_T}{ak}, \quad (3.1)$$

тут: η – коефіцієнт, що відображає ефективність використання тягової сили трактора;

P_T – тягове зусилля, яке розвиває трактор;

a – глибина оранки;

k – питомий опір ґрунту робочим органам.

$$B = \frac{0,9 \cdot 2890}{24 \cdot 50} = 1,735 \text{ м.}$$

Округливши, приймемо $B=1,75$ м.

Масу плуга розраховуємо на основі питомої металоемності, яка припадає на кожен метр ширини захвату знаряддя.

$$G_{\text{п}} = q_{\text{п}} B, \quad (3.2)$$

тут: $q_{\text{п}}$ – питома металоемність, кг/м.

$$G_{\text{п}}=406 \cdot 1,75=710,5 \text{ кг.}$$

Ширина захвату лемеша корпусу плуга може бути збільшена за рахунок перекриття, яке позначається як Δb (рис. 3.1). Це перекриття – відстань, на яку кожен наступний корпус заходить на смугу, оброблену попереднім, – дозволяє забезпечити повноцінне підрізання шару ґрунту, а також ефективне знищення кореневої системи бур'янів і запобігання утворенню необроблених смуг, тобто огріхів. Такий підхід сприяє рівномірному перевертанню пласта ґрунту, що особливо важливо для досягнення якісної оранки.

У даному випадку, для плуга ПЛН-5-35 з п'ятьма корпусами, конструктивно приймаємо перекриття $\Delta b = 25$ см. Це оптимальне значення, яке відповідає технічним можливостям знаряддя та забезпечує ефективну взаємодію між корпусами плуга під час роботи.

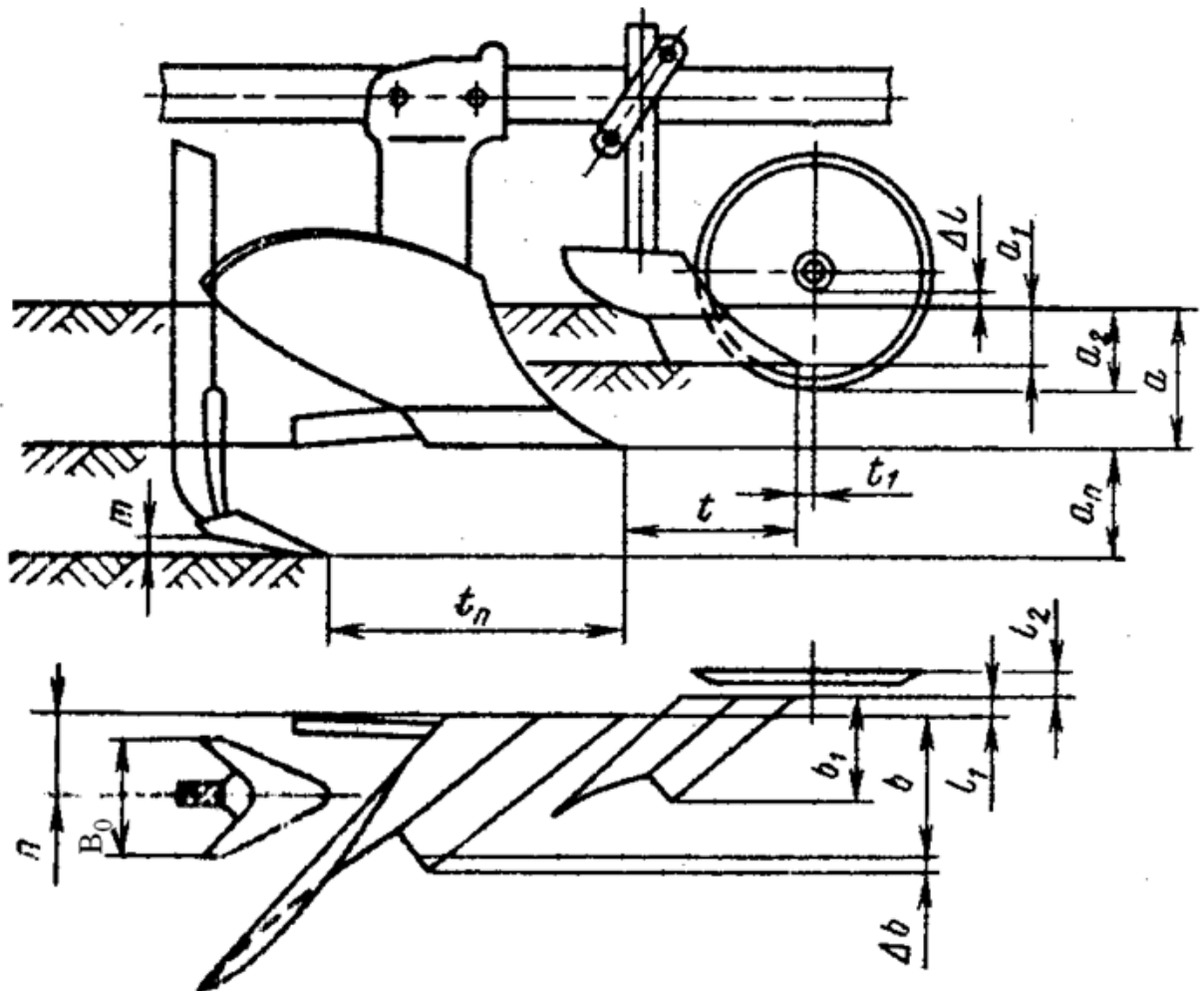


Рис. 3.1 Схема розстановки робочих органів

Ширина захвату передплужника визначає ширину смуги ґрунту, яку він підрізає перед основним корпусом плуга. Вона залежить від ширини захвату основного корпусу і зазвичай становить приблизно $2/3$ від його ширини.

Для ефективної роботи передплужника необхідно, щоб він:

- підрізає верхній шар ґрунту з рослинними рештками;
- перевертає цей шар на дно борозни, відкритої основним корпусом;
- не заважає роботі основного корпусу.

Якщо ширина захвату основного корпусу плуга становить 35 см (як у випадку з плугом ПЛН-5-35), то оптимальна ширина захвату передплужника становитиме:

$$b_1 = \frac{2b}{3}, \quad (3.2)$$

$$b_1 = \frac{2 \cdot 35}{3} = 23 \text{ см.}$$

Щоб забезпечити роздільний рух шарів ґрунту, які знімаються робочими поверхнями основного корпусу та передплужника, і уникнути забивання ґрунтом, передплужник слід встановлювати на рамі з таким розрахунком, щоб відстань між його носком та носком основного корпусу становила 250 мм.

Орієнтовне розташування корпусів на рамі плуга здійснюється з урахуванням конструктивних та технологічних вимог, що представлено на рис. 3.2.

Умовно приймемо, що сила опору R , яка виникає під час різання ґрунту корпусом плуга, діє в момент його руху. Цю силу прикладено до середини довжини леза лемеша, а напрям дії сили орієнтований до площини під кутом тертя, перпендикулярним до ріжучого краю ножа.

Вказана сила опору передається на стінку борозни в зоні розташування п'ятки польової дошки заднього корпусу плуга. Якщо через носок переднього лемеша провести пряму лінію дії сили R , то точка її перетину зі стінкою наступної борозни (позначимо її точкою A) визначає місце

розташування носка наступного корпусу на відстані $\sqrt{v^2 + \ell^2}$. Таким чином розраховується взаємне положення корпусів плуга уздовж рами, що забезпечує правильне перекриття й ефективну роботу знаряддя.

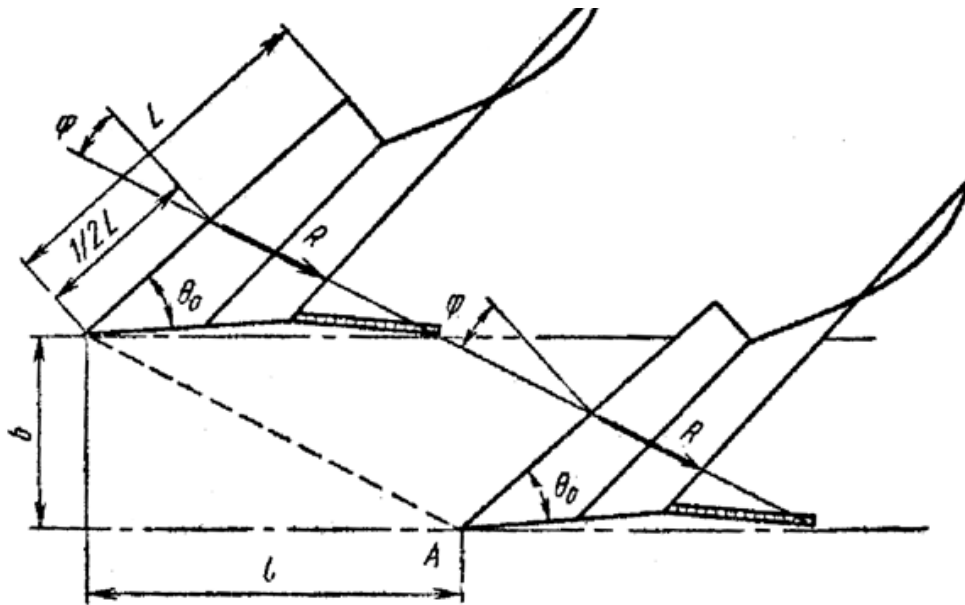


Рис. 3.2. Схема розстановки корпусів у повздовжньому напрямку

Правильна розстановка корпусів плуга в повздовжньому напрямку є необхідною умовою для забезпечення безперешкодної роботи кожного корпусу та запобігання забиванню ґрунтом або рослинними рештками.

Розміщення виконується таким чином, щоб кожен наступний корпус був зміщений назад щодо попереднього на певну відстань, яка гарантує достатній простір для виведення обробленого шару ґрунту. Це зміщення дозволяє уникнути накладання ґрунтових потоків, забезпечує якісне перевертання скиби та сприяє зниженню тягового опору агрегату.

$$\ell = vtg(\theta_0 + \varphi), \quad (3.3)$$

тут: θ_0 – кут установки лемеша плуга;

φ – кут взаємодії ґрунту з металом при терті.

$$\ell=35 \cdot \operatorname{tg}(38+25)=750 \text{ мм.}$$

Висоту розміщення рами плуга над опорною площиною корпусів визначають з урахуванням необхідності забезпечити вільне підняття, перевертання та проходження пласта ґрунту під рамою під час формування першої борозни.

Глибина борозни визначається як вертикальна відстань між поверхнею поля та дном борозни, утвореної під час оранки:

$$H=v+2a/3. \quad (3.4)$$

$$H=35+\frac{2 \cdot 24}{3}=51 \text{ см.}$$

Відповідно до вимог ДСТУ 2416-94, для плугів загального призначення при ширині захвату одного корпусу 35 см приймається висота рами над поверхнею поля (H) рівною 54 см, а дорожній просвіт — у межах **30–40 см**.

Під час розміщення опорного колеса плуга ПЛН-5-35 враховується необхідність забезпечення оптимального навантаження, що передається від плуга на енергетичний засіб, а також стабільності глибини оранки. З цією метою колесо встановлюється на відстані, що дорівнює приблизно одній третині від відстані між носками лемішів переднього та заднього корпусів.

3.2. Кінематичний і силовий аналіз начіпки плуга.

Вимоги до начіпки плуга на трактор включають технічні та експлуатаційні умови, які забезпечують безпечну, надійну та ефективну роботу агрегату. Основні з них:

1. Відповідність плуга класу тяги трактора. Плуг має бути сумісним з тяговим класом трактора. Занадто потужний або недостатньо потужний

трактор може знизити якість оранки, спричинити перевантаження або неефективне використання техніки.

2. Сумісність із триточковою навісною системою Начіпний плуг повинен відповідати стандарту навісної системи трактора (наприклад, категорія II або III за ISO), що стосується відстаней між точками кріплення та типів шарнірів.

3. Правильне встановлення та регулювання

– **горизонтальне вирівнювання** плуга по ширині трактора: плуг має бути паралельним до поверхні поля, щоб забезпечити рівномірну глибину оранки.

– **вертикальне вирівнювання (по висоті)**: важливо, щоб плуг не нахилився вперед або назад.

– **регулювання першого корпусу**: його ширина захвату має відповідати траєкторії руху трактора, зазвичай налаштовується тягами або гвинтовими механізмами.

4. Стійкість та балансування агрегату. Після навішування плуга трактор має залишатися стійким. За потреби використовуються передні баласти для забезпечення належного зчеплення передніх коліс із ґрунтом.

5. Вільний хід рухомих елементів. Усі вузли зчипки мають працювати без заклинювання; перевіряється стан пальців, втулок, гідравлічних з'єднань.

6. Надійність гідросистеми (якщо використовується). При використанні плугів із гідравлічними регулюваннями (ширини захвату, нахилу, Variomat тощо) необхідно перевірити справність гідравлічної системи трактора та її сумісність із плугом.

7. Безпека експлуатації. Після приєднання плуга слід перевірити надійність усіх з'єднань, відсутність люфтів та роботу запобіжних пристроїв. Усі рухомі частини мають бути закриті або захищені.

Дотримання зазначених вимог до начіпки плуга забезпечує ефективну, безпечну та надійну роботу агрегату, що, у свою чергу, сприяє підвищенню якості оранки та зростанню продуктивності сільськогосподарських робіт.

Виходячи з цього, вирішуються дві ключові задачі:

1. Визначення граничного кута ψ . Кут ψ визначає орієнтацію рівнодійної сили R_{zx} , яка утворюється під дією поздовжньої складової R_x та вертикальної складової R_z сили, прикладеної до корпусу плуга, відносно осі O_x . Для його визначення виконується кінематичний аналіз схеми начіпки плуга до трактора.
2. Емпіричне визначення положення ланок начіпки. Застосування емпіричного підходу дає змогу знайти оптимальне розташування елементів начіпної системи, тобто таке положення миттєвого центру обертання плуга, за якого дотримуються всі вимоги до начіпки і при цьому кут ψ має мінімальне значення.

За результатами дослідження встановлено, що допустимий діапазон зміни кута ψ становить $\pm 12^\circ$ (див. рис. 3.3, 3.4).

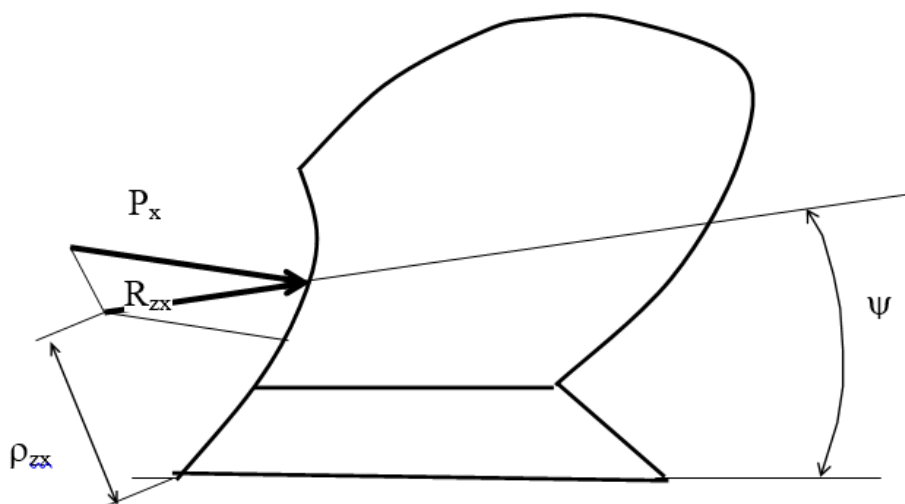


Рис. 3.3 Схема сил, діючих на корпус у вертикально-повздовжній площині при затуплених лемішах.

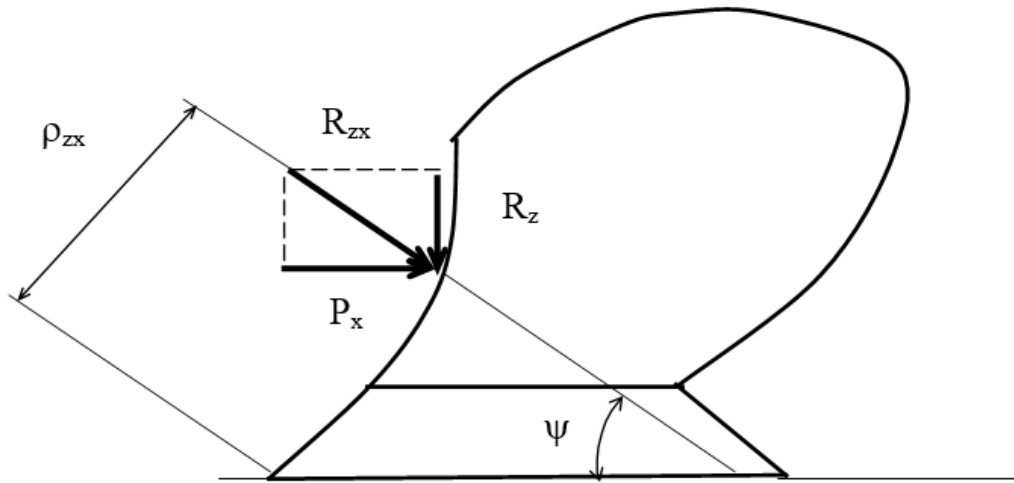


Рис. 3.4. Схема сил, діючих на корпус із гострими лемішами.

На плуг у робочому положенні у вертикально-поздовжній площині діють такі основні сили (рис. 3.5):

- вага плуга (G_n), яка прикладена до середнього корпусу плуга й спрямована вертикально вниз.
- рівнодійна сил R_{xz} , що є результатом дії поздовжньої сили опору руху та вертикальної складової ваги.
- сила тертя (F_x) між польовими дошками корпусів плуга та стінкою борозни, яка діє в горизонтальному напрямку та стримує бічне зміщення плуга.

Ці сили утворюють систему навантаження, що визначає стійкість плуга під час роботи, його положення в борозні та впливає на ефективність начіпки до трактора.

Рівнодійна сила R_1 , що виникає у плуга під час роботи, прикладена відносно миттєвого центру обертання π системи. Вона створює момент, який визначає здатність плуга до заглиблення в ґрунт.

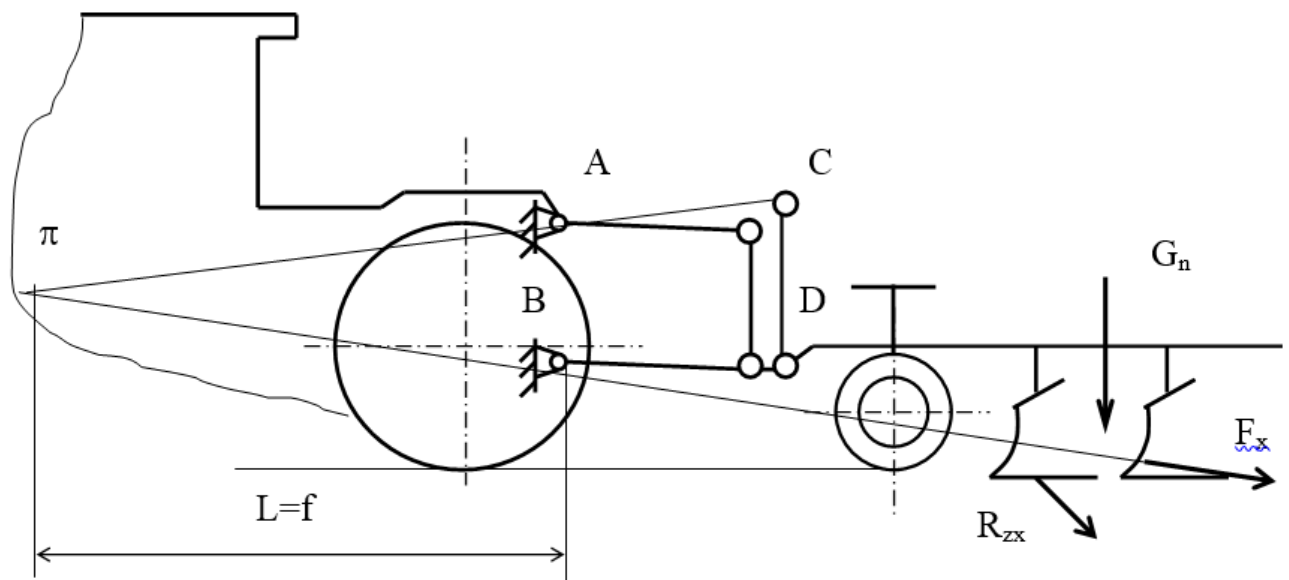


Рис. 3.5. Схема сил, діючих на плуг у поздовжньо-вертикальній площині під час роботи.

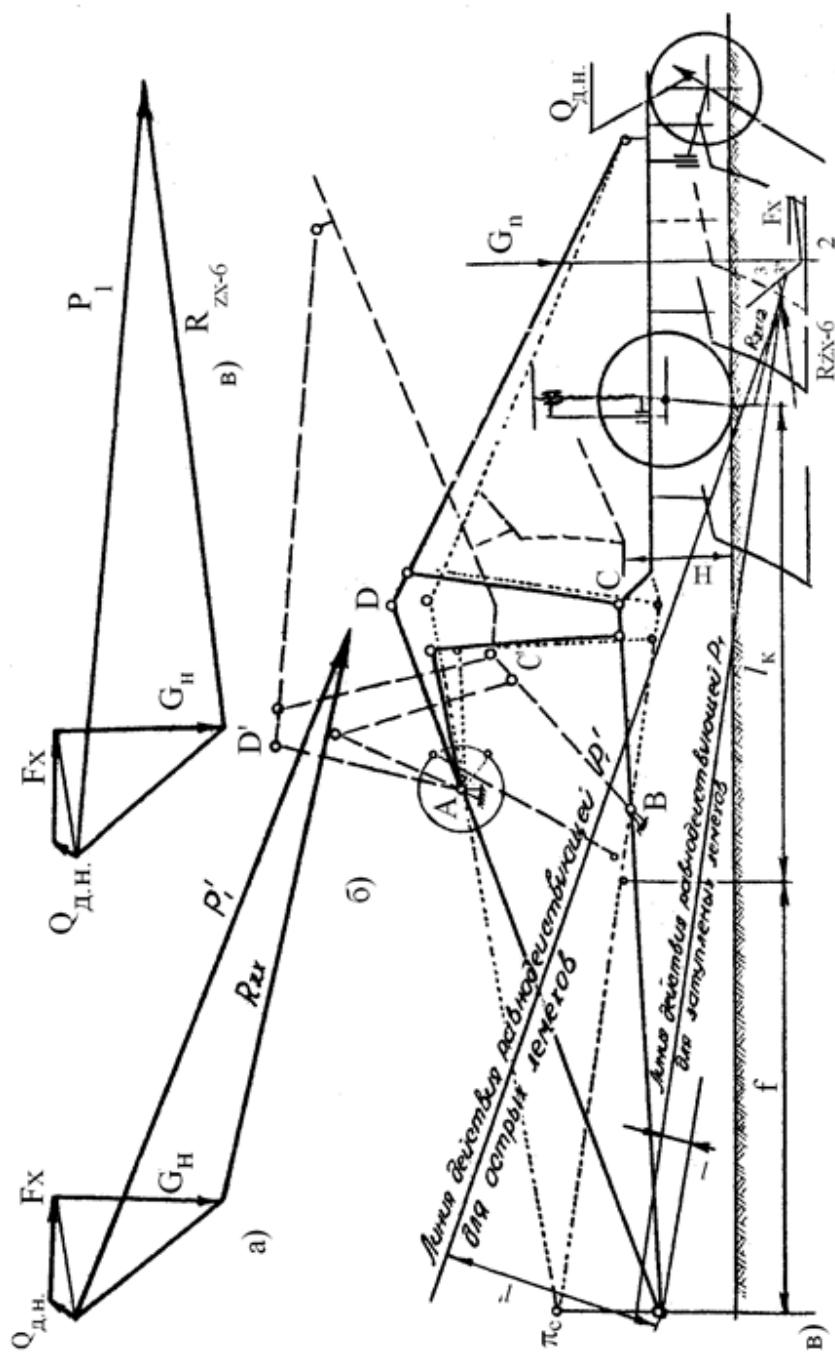
Цей момент може бути зрівноважений заглиблювальною реакцією, що виникає на опорному колесі плуга. Таким чином, правильно відрегульоване опорне колесо відіграє ключову роль у стабілізації робочої глибини оранки та забезпеченні стійкої роботи агрегату.

Миттєвий центр обертання π дозволяє визначити два ключові параметри:

1. Плече прикладання сили R_1 відносно точки π , що впливає на момент заглиблення.
2. Відстань f від осі задніх коліс трактора до точки π , що враховується під час аналізу стійкості та роботи агрегату.

Після аналізу кінематичної схеми начіплення плуга до трактора Т-150К (на основі креслень кінематичної побудови та плану сил за умов затуплених лемешів), було визначено граничне значення кута ψ , яке в нашому випадку становить $\psi = 0^\circ$. З цієї ж кінематичної схеми було визначено транспортний просвіт плуга, який дорівнює 540 мм.

Відповідно до агротехнічних вимог, мінімальний допустимий просвіт має бути не менше 350 мм, що дозволяє зробити конструктивне вдосконалення автоначіпки – зокрема, змінити розташування ділянки CD (рис. 3.6) відносно плуга у робочому положенні без погіршення його заглиблювальної здатності.



- положение ланок плуга-аналога
- транспортное положение плуга
- нове положення ланок начіпки

Рис. 3.б. . Кінематична схема начіпки плуга на трактор:

а – многокутник сил у випадку гострих лемішів;

б – те ж, але у випадку затуплених лемішів;

в – кінематична схема начіпки плуга на трактор.

Після встановлення граничного значення кута ψ з'являється можливість скоригувати положення автоначіпного механізму відповідно до отриманих параметрів.

Визначення нового положення автоначіпного механізму

З метою покращення умов взаємодії агрегату з ґрунтом визначаємо нове положення автоначіпки. Для цього обчислюємо кут розташування миттєвого центра обертання π таким чином, щоб кут ψ , який утворюється між вектором опору R_{zx} та віссю O_x , був значно меншим у порівнянні з аналогічним кутом у конструкції плуга-аналога.

Положення миттєвого центра обертання π визначається двома координатами – L і f (відповідно до рис. 3.3 та 3.4).

Сила опору, що діє на плуг, приводиться до середини корпусу, що дозволяє більш точно аналізувати навантаження та визначити раціональне положення автоначіпного вузла.

$$R_{zx} = \sqrt{R_x^2 + R_z^2} \quad (3.5)$$

тут $R_x = a\eta bkn$ – поздовжня складова сили опору плуга;

η – ККД плуга;

a і b – відповідно висота та ширина перерізу шару ґрунту, що обробляється;

k – опір ґрунту питомий;

n – кількість корпусів плуга.

Ми маємо впевнитися, що

$$R_x = (0,85 \dots 0,9) P_{тр}, \quad (3.6)$$

тут $P_{тр}$ – тяговий опір трактора за умови, коли передача в коробці зміни передач не нижча за другу, що забезпечує достатній рівень тягового зусилля та економічної ефективності роботи агрегату;

R_{zx} – складова сили, яка діє перпендикулярно до поверхні ґрунту та впливає на заглиблення робочих органів плуга. Цей складник визначає ступінь навантаження на опорні елементи плуга й відіграє ключову роль у стабілізації глибини обробітку ґрунту

$$R_{zx} = \pm 0,2R_x. \quad (3.7)$$

$$\ell = \frac{M_{\min}}{P_1}, \quad (3.8)$$

тут M_{\min} – мінімальне значення моменту сили, прикладеної до корпусу плуга, яке забезпечує його стабільне заглиблення в ґрунт до заданої глибини без пропусків, огріхів і відхилень.

$$M_{\min} = Bm, \quad (3.9)$$

B – це ширина захвату плуга;

m – величина заглиблювального моменту, що припадає на кожен сантиметр цієї ширини.

Стабільна робота плуга без надлишкового заглиблювального моменту досягається за умови, що момент заглиблення відповідає мінімально необхідному для якісного занурення робочих органів у ґрунт і підтримання заданої глибини обробітку.

$$m = 6 \dots 8 \text{ кгс/см.}$$

Ми матимемо:

$$M_{\min}=140 \cdot 7=980 \text{ кгс.}$$

Значення f обираємо при умові гарантії цілком задовільного копіювання поверхні поля плугом. Для трактора Т-150К f складе :

$$f=L \dots 2L$$

тут L – величина відстані між осями задніх передніх і коліс трактора Т-150К.

$$f=2,86.$$

Рівнодійна сили \bar{P}_1 визначатиметься як векторна сума сил:

$$\bar{P}_1 = \bar{R}_{zx} + \bar{G}_n + \bar{Q}_H + \bar{F}_x \quad (3.10)$$

G_n – це сила ваги плуга;

Q_H – сила опору ножа; дисковий ніж ми встановлюємо разом з опорним колесом, то її додаємо до сили $Q_{\text{оп.к.}}$ – напруження на опорному колесі і застосовуємо при перевірці рівноваги плуга за глибиною.

Q_H – це сила опору дискового ножа. Оскільки дисковий ніж встановлюється в парі з опорним колесом, його опір додається до зусилля, що діє на опорне колесо ($Q_{\text{оп.к.}}$), що дозволяє точно оцінити заглиблювальну здатність плуга та забезпечити правильне балансування під час роботи в полі.

Плече ρ_{zx} має складати половину глибини оранки у випадку додатного значення кута ψ , і третину глибини оранки — у разі, якщо кут ψ від'ємний.

$$R_x=0,7 \cdot 30 \cdot 35 \cdot 0,9 \cdot 4=2646 \approx 2650 \text{ кгс.}$$

$$R_x = 0.2 \cdot 2646 \approx 530 \text{ кгс.}$$

$$R_{zx} = \sqrt{2650^2 + 530^2} = 2702 \text{ кгс.}$$

Сила тертя, що виникає між польовими дошками та стінкою борозни, визначається наступним чином:

$$F_x = fR_y \quad (3.11)$$

R_y – це сила, яка діє на дошку польову;

f – коефіцієнт тертя між сталлю та ґрунтом.

$$F_x = 1/3 \cdot 2650 \cdot 0,5 = 442 \text{ кгс.}$$

Складаємо план сил, що діють на плуг у поздовжньо-вертикальній площині, згідно з кінематичною схемою агрегування. На цій основі визначаємо рівнодійну всіх діючих сил – P_1 , а також точку її прикладання.

Силу R_{zx} задаємо під кутом $\psi = -5^\circ$, що на 5° менше порівняно з аналогічним плугом за умови затуплення лемішів (див. рис. 3.6, б).

У нашому випадку величина рівнодійної становить:

$$P_1 = 3144 \text{ кгс.}$$

Водночас, величина відстані від миттєвого центра швидкостей π до границі дії сили P_1 .

$$l = \frac{M}{P_1}, \quad (3.12)$$

$$l = \frac{980}{3144} = 0,311.$$

Як наслідок, розроблена нова кінематична схема начіплення плуга на трактор забезпечує стійку та рівномірну роботу агрегату при кутах ψ до -5° . Подальше зменшення кута ψ без змін у конструкції начіпної системи трактора призведе до порушення стабільності роботи плуга та нерівномірної оранки.

Тоді заглиблювальний момент складе:

$$M=3370 \cdot 1,1=3700 \text{ кг}\cdot\text{м},$$

а реакція на опорному колесі буде:

$$Q_{\text{оп.к.}}=3700/3,6=102,7 \approx 103 \text{ кгс}.$$

3.3. Силовий аналіз.

Виконаємо розрахунок зусиль, діючих на дисковий ніж (рис. 3.7).

Для дискового ножа горизонтальна складова ϵ :

$$R_x = 2600 \text{ Н} \quad \text{при } K = 9,0 \frac{\text{Н}}{\text{см}^2}.$$

А вертикальна складова λ :

$$R_z = (1,1 \dots 1,3) \quad R_x = 1,15 \times 2600 = 3000 \text{ Н}.$$

У такому разі силу, що впливає на дисковий ніж, розраховуємо наступним чином:

$$Q_{\text{д.н}} = \sqrt{2600^2 + 3000^2} = 3970 \text{ Н} = 3,97 \text{ кН}.$$

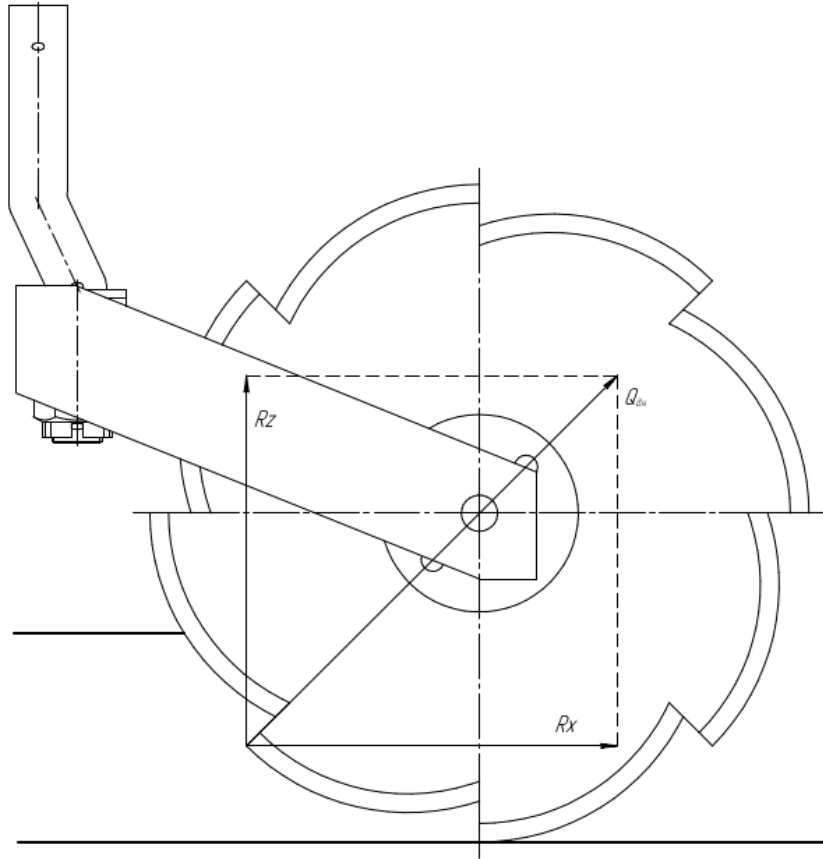


Рис. 3.7. Схема сил, діючих на дисковий ніж.

3.4. Розрахунок деталей на міцність.

Оскільки вісь не передає крутного моменту, а лише сприймає поперечні навантаження, при проектному та перевірочному розрахунках враховуємо тільки діючу поперечну силу.

Згідно з попередніми розрахунками, величина поперечного навантаження становить:

$$Q = 3,97 \text{ кН.}$$

Схема для розрахунку представлені на рис. 3.8:

Реакції опор будуть:

$$\sum M_A = 0 \qquad -R_B \times l + Q \times 0.5 \times l = 0$$

$$R_B = \frac{Q \times 0.5 \times l}{l} = 0.5 \times Q = 0.5 \times 3.97 = 1.985 \text{ кН.}$$

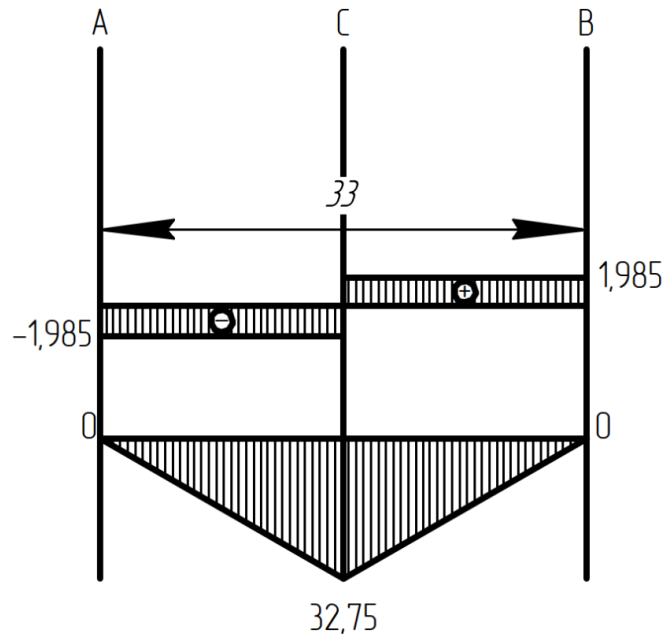


Рис. 3.8. Епюра згинального моменту осі

Таким же чином: $R_A = -R_B = -1.985 \text{ кН.}$

На відтинку AC: $Q_A = R_A = -1.985 \text{ кН; } M_A = 0;$

$$Q_C = R_A = -1.985 \text{ кН; } M_C = R_A \times 0.5 \times l = 1.985 \times 10^3 \times 0.5 \times 0.033 = 32.75 \text{ Н} \times \text{м.}$$

На відтинку BC: $Q_B = R_B = Q_C = Q_A = 1.985 \text{ кН; } M_B = 0;$

$$M_C = R_B \times 0.5 \times l = 1.985 \times 10^3 \times 0.5 \times 0.033 = 32.75 \text{ Н} \times \text{м.}$$

Проводимо визначення для циліндричної осі:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{зг}}{0.1 \times [\sigma_{зг}]}} = \sqrt[3]{\frac{32.75 \times 10^3}{0.1 \times 102.5}} = 14.7 \text{ мм},$$

$[\sigma_{зг}]$ – це знижене допустиме напруження при вигині, Н/мм²;

$$[\sigma_{зг}] = 102.5 \text{ Н/мм}^2.$$

$M_{зг}$ – момент згину.

Нами прийнято $M_{зг} = M_c = 32.75 \text{ Н} \times \text{м}.$

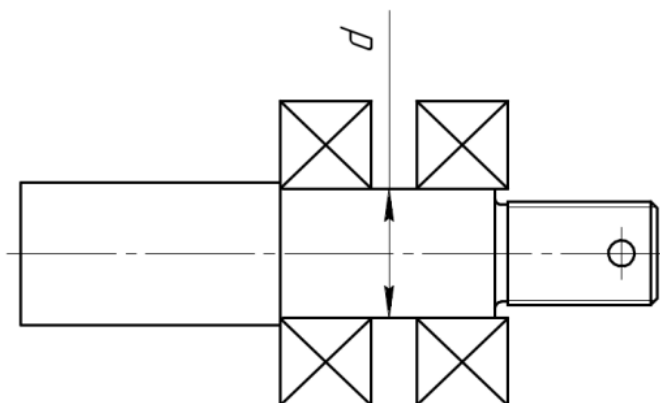


Рис. 3.9. Схема для визначення діаметру осі.

Оскільки по всій довжині ділянки осі під установку підшипників використовується однаковий діаметр, для забезпечення сумісності з підшипником приймаємо діаметр осі $d = 20 \text{ мм}.$

Обираємо та розраховуємо підшипники

Підшипник радіальний однорядний кульковий №204 з параметрами:

$$d = 20 \text{ мм};$$

$$D = 47 \text{ мм};$$

$$B = 14 \text{ мм};$$

$$r = 1.5 \text{ мм};$$

$$c = 1000 \text{ кгс.}, \quad C_0 = 630 \text{ кгс.}$$

Довговічність буде:

$$L_h = \frac{10^6}{60 \times n} \times \left(\frac{C}{P_3} \right)^\alpha,$$

n – це частота обертів дискового ножа; приймаємо $n = 150$ об/хв;

C – це вантажопідйомність динамічна;

P_3 – це навантаження приведені:

$$P_3 = x \times V \times Q \times K_B \times K_T,$$

x – це коефіцієнт, який враховує радіальне навантаження;

V – це коефіцієнт обертання зовнішнього кільця;

K_B – це коефіцієнт безпеки, $K_B = 1.3$;

K_T – це коефіцієнт температурний, $K_T = 1$.

$$P_3 = 1 \times 1.2 \times 3.97 \times 10^3 \times 1.3 \times 1 = 6193.2 \text{ Н.}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 \times 150} \times \left(\frac{10 \times 10^3}{6193.2} \right)^3 = 4.67 \times 10^4 \text{ год.}$$

Довговічність підшипників гарантує безперебійну роботу плуга протягом усього терміну його експлуатації в господарстві без необхідності заміни механізмів у вузлі дискового ножа.

4. ВИСНОВКИ

Метою кваліфікаційної роботи є вдосконалення конструкції плуга ПЛН-5-35, зокрема, його дискового ножа. Дискові ножі є одним із ключових елементів плуга, що суттєво впливають на якість обробітку ґрунту.

Ефективне застосування дискових ножів дає низку важливих переваг:

- покращення структури ґрунту. (дискові ножі забезпечують розрізання ґрунтового шару у вертикальній площині, що сприяє якісному перевертанню та перемішуванню ґрунту);

- загортання рослинних решток – завдяки кращому розрізанню та перевертанню шару ґрунту, дисковий ніж сприяє суцільному загортання рослинних залишків, що позитивно впливає на контроль бур'янів і підвищення родючості ґрунту;

- стабільність ходу агрегату – наявність дискового ножа допомагає підтримувати стабільний напрямок руху плуга, а також забезпечує рівномірну глибину обробітку, що зменшує енерговитрати;

- рівномірність обробітку – завдяки правильному налаштуванню дискових ножів, забезпечується однакова глибина обробітку по всій ширині захвату знаряддя, що є надзвичайно важливим для рівномірного проростання культурних рослин.

Запропонована нами конструктивна модернізація полягає в заміні стандартного серійного ножа з гладким краєм на диск із хвилястим периметром, у якого ріжуча частина має дугоподібну форму. Таке рішення дозволить: зменшити опір під час входження ножа в ґрунт; краще розрізати рослинні рештки завдяки гострішому куту атаки лез; знизити ймовірність забивання робочих органів; зменшити час, необхідний на обслуговування агрегату в польових умовах.

Польові випробування оновленої конструкції дадуть змогу визначити оптимальні технічні рішення для ефективного обробітку ґрунтів у степових регіонах України. Це сприятиме підвищенню продуктивності агрегатів, економії пального та зростанню врожайності сільськогосподарських культур.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агротехнічні вимоги та оцінка якості обробітку ґрунту: навч. посібник / М. С. Чернілевський, Ю. А. Білявський, Р. Б. Кропивницький, Л. І. Ворона. – вид. 2-ге, допов. – Житомир: вид-во «Житомирський національний агроекологічний університет», 2012. – 84 с.
2. Бакум М.В. Проектування сільськогосподарських машин. Частина 1. Книга 2. Машина для обробітку ґрунту. Харків : ПромАрт, 2019. 436 с.
3. Васильковський О.М., Лещенко С.М., Васильковська К.В., Петренко Д.І. Підручник дослідника. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. Х.: Мачулін. 2016. – 204 с.
4. Деталі машин : навчальний посібник / І.І. Мархель. К.: Алерта, 2016. – 368 с.
5. ДСТУ 2189-93. «Машина сільськогосподарські навісні та причіпні. Загальні вимоги безпеки».
6. ДСТУ 2416-94. Плуги загального призначення та луцильники лемішні. Загальні технічні умови. – 9 с.
7. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т.1; Ч.1: Машина та знаряддя для обробітку ґрунту. Харків: ОКО, 2001. – 444 с.
8. Інженерна та комп'ютерна графіка : навчальний посібник / ТДАТУ; В.М. Щербина, О.Є. Мацулевич, Є.А. Гавриленко та інші. Мелітополь : Люкс, 2020. Частина 1. 238с.
9. Машиновикористання у рослинництві. Методичні вказівки до виконання курсової роботи для студентів спец. 8.130102 – «Агрономія» / Укл. Лузан П.Г., Осипов І.М., Мороз С.М., Мартиненко С.В., Глобенко Г.О. – Кіровоград: КНТУ, 2004. – 56 с.
10. Оригінальні способи і засоби обробітку ґрунту та сівби сільськогосподарських культур: навч. посібник / С. І. Шмат, П. Г. Лузан, В. М. Сало. – Х.: ПП Озеров, 2018. – 234 с.

11. Основи конструювання машин: Підручник / Рудь Ю.С. – 2-е вид., переробл. - Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.
12. Охорона праці (Законодавство. Організація роботи): Навч. посіб. / За заг.ред. к.т.н., доц. І.П. Пістуна. – Львів: «Тріада плюс», 2010.
13. Охорона праці (практикум): Навч. посіб. /За заг. ред. к.т.н., доц. І.П.Пістуна. –Львів: «Тріада плюс», 2011.48.
14. Сисолін П.В. та ін. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машині та обладн. с.-г. вир-ва» / 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.: іл.
15. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін. – К.: Вища освіта, 2005. 464 с.

ДОДАТКИ