

Центральноукраїнський національний технічний університет
Агротехнічний факультет
Кафедра сільськогосподарського машинобудування

«Допущено до захисту»
зав. кафедрою СГМ
к.т.н., професор
_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ
«___» _____2026 р.

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

Модернізація плуга ПЛН-4-35
з удосконаленням дискового ножа

Виконав здобувач вищої освіти IV курсу,
групи ГМ-22-1
ОПП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
_____Лебідь Євген Сергійович
«___» _____2026 р.

Керівник проекту
доц., канд. техн. наук
_____Віктор ДЕЙКУН
«___» _____2026 р.

Рецензент
доц., канд. техн. наук
_____Станіслав КАТЕРИНИЧ

АНОТАЦІЯ

Мета кваліфікаційної роботи – спроба вдосконалити конструкцію плуга ПЛН-4-35, а саме, модернізувати дисковий ніж. Дискові ножі належать до ключових робочих органів плуга, які суттєво впливають на якість обробітку ґрунту.

У роботі запропоновано замінити стандартний серійний ніж із гладкою кромкою на диск із вирізним периметром і дугоподібною ріжучою частиною. Таке конструктивне рішення дає змогу зменшити опір під час заглиблення ножа в ґрунт, підвищити ефективність подрібнення рослинних решток завдяки гострішому куту атаки, знизити ризик забивання робочих органів, а також скоротити витрати часу на обслуговування агрегату в польових умовах.

ANNOTATION

The purpose of the qualification work is an attempt to improve the design of the PLN-4-35 plow, namely, to modernize the disk knife. Disk knives are among the key working elements of the plow, which significantly affect the quality of soil cultivation.

The work proposes to replace the standard serial knife with a smooth edge with a disk with a cut perimeter and an arcuate cutting part. Such a design solution allows you to reduce resistance when the knife is buried in the soil, increase the efficiency of crushing plant residues due to a sharper angle of attack, reduce the risk of clogging of the working elements, and also reduce the time spent on servicing the unit in field conditions.

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
				<u>Документація загальна</u>		
				<i>Знов розроблена</i>		
A4			ПЛН 00.000 ПЗ	Пояснювальна записка	1	
A1			ПЛН 00.000 КС	Плуг чотирьохкорпусний		
				начіпний ПЛН-4-35	1	
A1			ПЛН 00.000 СК	Плуг чотирьохкорпусний		
				начіпний ПЛН-4-35	1	
A1			ПЛН 00.000 СК	Плуг чотирьохкорпусний		
				начіпний ПЛН-4-35	1	
				<u>Документація по</u>		
				<u>складальних одиницях</u>		
				<i>Знов розроблена</i>		
A1			ПЛН 00.050 СК	Ніж дисковий	1	
				<u>Документація по деталях</u>		
				<i>Знов розроблена</i>		
A3			ПЛН 10.401	Диск	1	
A3			ПЛН 00.502	Кришка	1	
A3			ПЛН 00.504	Дошка польова	1	
A3			ПЛН 50.601	Вісь	1	
				ПЛН 00.000 ВР		
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата	Відомість роботи	
Розробив	Лебідь					
Перевірів	Дейкун					
Н. контр.	Артеменко					
Затвердив	Васильковський				ЦНТУ гр. ГМ-22-1	
					Літера	Аркуш
						3
						1

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.	15
	3.1. Технологічні розрахунки.	15
	3.2. Кінематичний і силовий аналіз начіпки плуга.	18
	3.3. Енергетичний розрахунок.	26
	3.4. Розрахунок деталей на міцність	34
4	Висновки	37
	Список використаної літератури	38
	Додатки	40

1. ВСТУП

Сучасний розвиток сільського господарства України потребує впровадження ефективних технологій обробітку ґрунту, які забезпечують підвищення врожайності, збереження родючості та зниження енергетичних витрат. Однією з ключових операцій у системі основного обробітку ґрунту є оранка, яка виконується за допомогою плугів різних конструкцій. Від якості виконання цієї операції значною мірою залежить стан ґрунтового середовища, водно-повітряний режим та розвиток сільськогосподарських культур.

Серед широкого спектра ґрунтообробних машин важливе місце займає плуг ПЛН-4-35, який широко використовується в аграрному секторі завдяки своїй надійності, простоті конструкції та пристосованості до різних ґрунтово-кліматичних умов. Проте, в умовах сучасного виробництва, що характеризується підвищеними вимогами до продуктивності, економічності та якості обробітку, існуюча конструкція плуга потребує вдосконалення.

Актуальність теми дипломної роботи обумовлена необхідністю підвищення ефективності роботи плуга ПЛН-4-35 шляхом модернізації його конструктивних елементів, зниження тягового опору, покращення якості оранки та зменшення енергетичних витрат. Удосконалення даної машини дозволить підвищити продуктивність праці, знизити витрати пального та покращити агротехнічні показники обробітку ґрунту.

Метою даної роботи є розробка технічних рішень щодо вдосконалення плуга ПЛН-4-35, які забезпечать підвищення ефективності його роботи. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати існуючі конструкції плугів та їх недоліки; дослідити робочі процеси оранки; запропонувати конструктивні зміни; виконати інженерні розрахунки.

					КР 00.000 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Пояснювальна записка	Літ.		Арк.вш	Арк.вшів		
Розроб.	Лебідь							5	36		
Перевір.	Дейкун										
Н. контр.	Артеменко										
Затв.	Васильковський										
						ЦНТУ гр. ГМ-22-1					

2. СТАН ПИТАННЯ ПРО МАШИНУ, ЯКА ПІДЛЯГАЄ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Плуги загального призначення належать до найбільш поширених видів ґрунтообробної техніки, що застосовуються в сільському господарстві для виконання основного обробітку ґрунту – оранки. Їх використання спрямоване на розпушування та обертання орного шару, що сприяє покращенню структури ґрунту, знищенню бур'янової рослинності, загортанню рослинних решток і добрив, а також формуванню оптимальних умов для росту та розвитку сільськогосподарських культур.

До плугів загального призначення висувається ряд важливих вимог, серед яких: забезпечення високої якості обробітку ґрунту, надійність і довговічність у процесі експлуатації, зручність технічного обслуговування, універсальність у агрегуванні з енергозасобами різних тягових класів, а також ефективна робота в різноманітних ґрунтово-кліматичних умовах.

Класифікація плугів загального призначення здійснюється за кількома основними ознаками:

- за способом агрегування з енергозасобом – навісні, напівнавісні та причіпні;
- за конструкцією робочих органів – з лемішно-полицевими, лемішно-долотовими або ротаційними корпусами;
- за кількістю корпусів – однокорпусні та багатокорпусні (від двох і більше);
- за умовами використання – для обробітку звичайних, важких, сухих, кам'янистих або перезвожених ґрунтів.

Агротехнічні вимоги до виконання оранки

Оранка є одним із найважливіших агротехнічних заходів основного обробітку ґрунту, від якості виконання якого значною мірою залежить врожайність сільськогосподарських культур. Вона повинна забезпечувати створення оптимальних умов для накопичення вологи, аерації ґрунту,

					КР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		6

розвитку кореневої системи рослин та знищення бур'янів.

До основних агротехнічних вимог виконання оранки належать:

- **дотримання заданої глибини обробітку.** Оранка повинна проводитися на рівномірну глибину, яка залежить від культури та умов вирощування (зазвичай 20-30 см). Відхилення по глибині не повинні перевищувати ± 2 см;
- **повне перевертання орного шару.** Пласт ґрунту має бути повністю обернений, що забезпечує ефективне загортання рослинних решток, добрив та насіння бур'янів;
- **якісне розпушування ґрунту.** Після оранки ґрунт повинен мати дрібногрудочкувату структуру без великих брил, що сприяє кращому водно-повітряному режиму;
- **знищення бур'янів.** Робочі органи плуга повинні підрізати та повністю загортати бур'яни, запобігаючи їх повторному проростанню;
- **прямолінійність борозен і рівність поверхні поля.** Оранка повинна виконуватися рівними гонами без огріхів, пропусків та перекриттів;
- **відсутність огріхів і необроблених ділянок.** Поверхня поля має бути повністю оброблена без пропусків.
- **якісне загортання рослинних решток і добрив.** Вони повинні рівномірно розміщуватись у ґрунті на заданій глибині;
- **дотримання оптимальних строків виконання робіт.** Оранку необхідно проводити у строки, що забезпечують найкращий фізичний стан ґрунту (оптимальна вологість);
- **мінімальні енергетичні витрати.** Робота повинна виконуватися з найменшими затратами пального та тягового зусилля при збереженні високої якості;
- **пристосованість до різних ґрунтових умов.** Конструкція плуга повинна забезпечувати його ефективну роботу на ґрунтах різного механічного складу – від легких до важких, а також на полях, вкритих післяжнивними рештками чи рослинністю;

					КР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		7

– **сумісність із сучасними енергетичними засобами.** Плуг має бути придатним для агрегування із сучасними енергозасобами, відповідати їх технічним характеристикам та оснащуватися належними навісними або причіпними пристроями;

– **безпе́чність конст­рук­тив­ного виконання.** Конструкція плуга повинна виключати ризик травмування оператора, а також передбачати наявність захисних елементів від перевантажень, таких як зрізні болти або пружинні (ресорні) механізми.

Дотримання зазначених вимог забезпечує підвищення ефективності використання сільськогосподарської техніки, збереження родючості ґрунту та створення сприятливих умов для отримання високих урожаїв.

Огляд лемішних плугів загального призначення

Лемішні плуги загального призначення є основним видом машин для виконання оранки в сучасному сільськогосподарському виробництві. Вони призначені для механічного обробітку ґрунту шляхом підрізання, піднімання, кришення та перевертання орного шару, що забезпечує створення сприятливих умов для вирощування сільськогосподарських культур.

Огляд плугів представляємо в дод. А.

Основними робочими органами лемішного плуга є:

- **леміш** – підрізає шар ґрунту в горизонтальній площині;
- **полиця (відвал)** – піднімає, кришить і перевертає пласт;
- **польова дошка** – забезпечує стійкість руху плуга;
- **стійка корпусу** – з’єднує робочі органи з рамою.

Під час роботи леміш підрізає орний шар, після чого полиця переміщує та обертає його, забезпечуючи загортання рослинних решток і бур’янів.

Класифікація лемішних плугів

Лемішні плуги загального призначення класифікують за такими ознаками:

					КР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

– **за способом агрегування:**

- навісні;
- напівнавісні;
- причіпні.

– **за кількістю корпусів:**

- однокорпусні;
- багатокорпусні (2–8 і більше).

– **за формою полиці:**

- культурні (універсальні);
- напівгвинтові;
- гвинтові.

– **за умовами застосування:**

- для звичайних ґрунтів;
- для важких і перезволожених;
- для кам'янистих ґрунтів.

До найбільш поширених лемішних плугів належать:

- ПЛН-3-35, ПЛН-4-35, ПЛН-5-35 — класичні навісні плуги;
- оборотні плуги (наприклад, Lemken, Kverneland), які дозволяють виконувати оранку без звальних гребенів;
- напівнавісні багатокорпусні плуги для потужних тракторів.

Переваги лемішних плугів

- висока якість перевертання пласта ґрунту;
- ефективне знищення бур'янів;
- якісне загортання рослинних решток і добрив;
- універсальність застосування;
- відносна простота конструкції.

Недоліки

- значний тяговий опір і витрати пального;
- можливе переущільнення ґрунту (плужна подошва);

					КР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9

- залежність якості роботи від вологості ґрунту;
- потреба в потужних тракторах при збільшенні кількості корпусів.

Лемішні плуги загального призначення залишаються базовими машинами для основного обробітку ґрунту завдяки своїй ефективності та універсальності. Водночас сучасні вимоги до енергоефективності та збереження структури ґрунту зумовлюють необхідність їх подальшого вдосконалення, що є актуальним напрямом інженерних розробок.

Таблиця 2.1

Порівняльна характеристика лемішних плугів загального призначення

Показник	Навісні плуги (ПЛН-3-35, ПЛН-4-35)	Напівнавісні плуги	Причіпні плуги	Оборотні плуги
Спосіб агрегування	Навішуються на енергозасіб	Частково спираються на енергозасіб і колесо	Повністю на власному шасі	Навісні або напівнавісні
Кількість корпусів	2-5	5-9	6-12 і більше	2-8
Потужність енергозасобу	Невелика/середня	Середня/велика	Велика	Середня/велика
Маневреність	Висока	Середня	Низька	Середня
Продуктивність	Середня	Висока	Дуже висока	Висока
Якість оранки	Добра	Добра	Добра	Дуже висока (без гребенів)
Наявність звальних гребенів	Є	Є	Є	Відсутні
Тяговий опір	Середній	Вищий	Високий	Вищий (через складність)
Витрати пального	Помірні	Підвищені	Високі	Підвищені
Складність конструкції	Проста	Складніша	Складна	Найскладніша
Обслуговування	Просте	Середнє	Складніше	Складніше
Сфера застосування	Невеликі та середні господарства	Середні та великі	Великі господарства	Інтенсивне землеробство

Проаналізувавши табл. 2.1, робимо наступний висновок:

1. навісні плуги (типу ПЛН-4-35) – найпростіші, дешеві та універсальні, оптимальні для більшості господарств в Україні.

2. напівнавісні та причіпні – ефективні на великих площах, але потребують потужної техніки.

3. оборотні плуги – забезпечують найкращу якість оранки, але є дорожчими та складнішими в експлуатації.

Навісні плуги мають найкращу маневреність і простоту конструкції, тоді як оборотні забезпечують найвищу якість оранки. Причіпні плуги характеризуються максимальною продуктивністю, проте потребують значних енергетичних витрат.

Промисловість виробляє плуги з різною шириною захвату, пристосовані до сучасних моделей тракторів.

Одним із ключових елементів конструкції плуга є ніж. Типи ножів для плугів представлено на рис. 2.1: а – дискові, б – череслові, в – плоскі з лижею опорною.

Дискові ножі використовують на плугах загального призначення для забезпечення високоякісної оранки ґрунтів, вільних від каміння та залишків кореневої деревної рослинності.

Для утворення рівної стінки та чистого дна борозни диск, як правило, встановлюють перед останнім корпусом плуга.

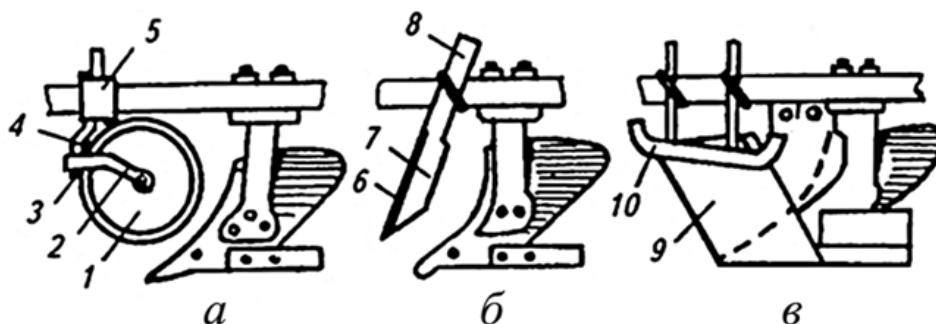


Рис. 2.1. Типи ножів. 1 – диск; 2 – вилка; 3 – корончата шайба; 4 – колінчата вісь; 5 – шарнір; 6 – лезо; 7 – черенковий ніж; 8 – стояк; 9 – полозковий ніж; 10 – опорна лижа.

Дисковий ніж, який у рамках даної кваліфікаційної роботи обрано об'єктом модернізації, представлено на (рис. 2.2).

Дисковий ніж забезпечує вертикальне розсічення ґрунту по лінії відділення оброблюваного масиву від нерухомого шару, що поліпшує процес перевертання пласта, підвищує ефективність загортання рослинних решток, сприяє стабілізації руху плуга та забезпечує рівномірність глибини оранки. Таким чином, дисковий ніж відіграє суттєву роль у підвищенні якості обробітку ґрунту та зниженні енергетичних витрат.

Обертання диска забезпечується двома кульковими підшипниками, встановленими в маточині. З'єднання диска з маточиною здійснюється за допомогою заклепкового кріплення. Для усунення осьового люфту, що виникає через зношування торцевих поверхонь, між маточиною та вилкою передбачено встановлення регулювальних кілець.

Вилка фіксується на нижньому кінці стійки за допомогою корончатої гайки. Конструкцією передбачено можливість її повороту в обидва боки на кут до 20°.

Нижня частина стійки виконана у вигляді колінчастого вигину, що забезпечує регулювання відстані між площиною диска та польовим обрізом корпусу плуга або передплужника.

Положення дискового ножа в площині горизонтальній змінюється шляхом обертання стійки після того, як послаблено гайки скоби та державки, через які вона закріплена на рамі плуга. Регулювання у вертикальній площині здійснюється переміщенням стійки вгору або вниз після послаблення її кріпильних гайок.

Робоча крайка диска виконана з двобічним заточенням під кутом 40–45°, причому товщина диска залежить від його діаметра. Глибину встановлення дискового ножа приймають меншою, ніж глибина оранки.

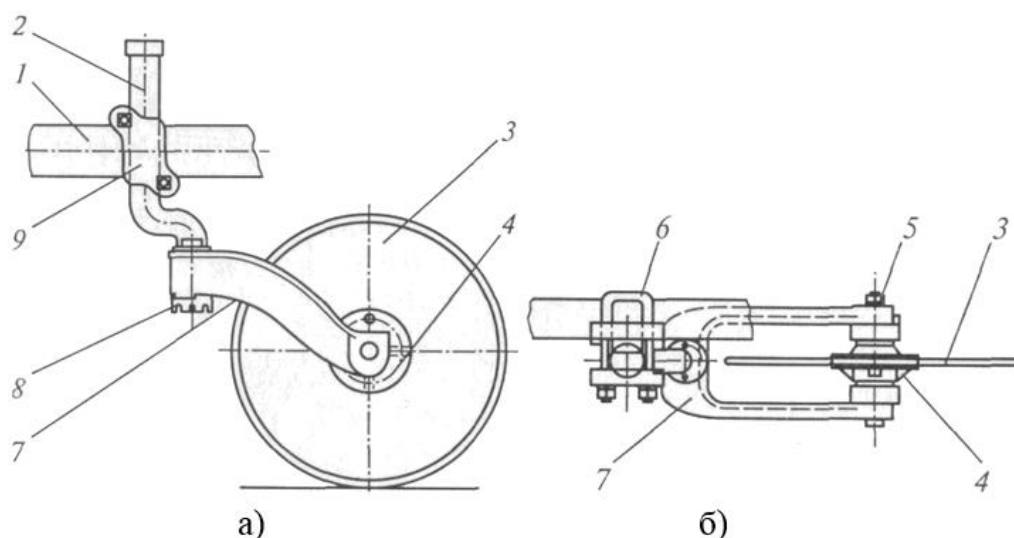


Рис. 2.2. Дисковий ніж: а) – вид з боку; б) – вид зверху; 1 – рама плуга; 2 – стійка; 3 – диск; 4 – ступиця; 5 – вісь; 6 – скоба; 7 – вилка; 8 – корончата гайка; 9 – державка

У процесі роботи ніж самовстановлюється у площині, що збігається з напрямком руху агрегату. Диск до рами кріпиться хомутом з накладкою (рис. 2.3). Конструкція передбачає можливість регулювати положення ножа: його можна переміщувати у вертикальній площині (вгору), і, звісно, у поздовжньому напрямку (вперед і назад). Окрім цього, конструкцією передбачено можливість налаштувати положення площини обертання диска відносно польового обрізу корпусу плуга.

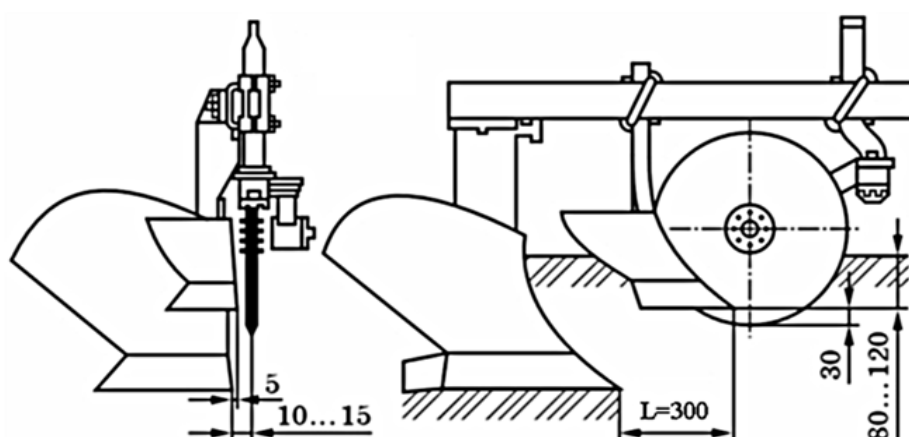


Рис. 2.3. Взаємне розташування робочих органів на рамі плуга.

Модернізація дискового ножа плуга

Запропоновано вдосконалення стандартного серійного дискового ножа з гладкою ріжучою кромкою, що застосовується у базових моделях плугів, а саме: заміна стандартного диска на диск, який має вирізні контури, у яких ріжучі елементи виконані у вигляді дугоподібних сегментів. Запропонована конструкція сприяє більш інтенсивному подрібненню рослинних решток на поверхні поля завдяки формуванню лез із підвищеним кутом атаки.

Використання модернізованого ножа забезпечує зменшення опору під час розрізання ґрунтового шару, що, зі свого боку, знижує ймовірність забивання робочих органів рослинними рештками та скорочує витрати часу на технічне обслуговування агрегату в процесі роботи.

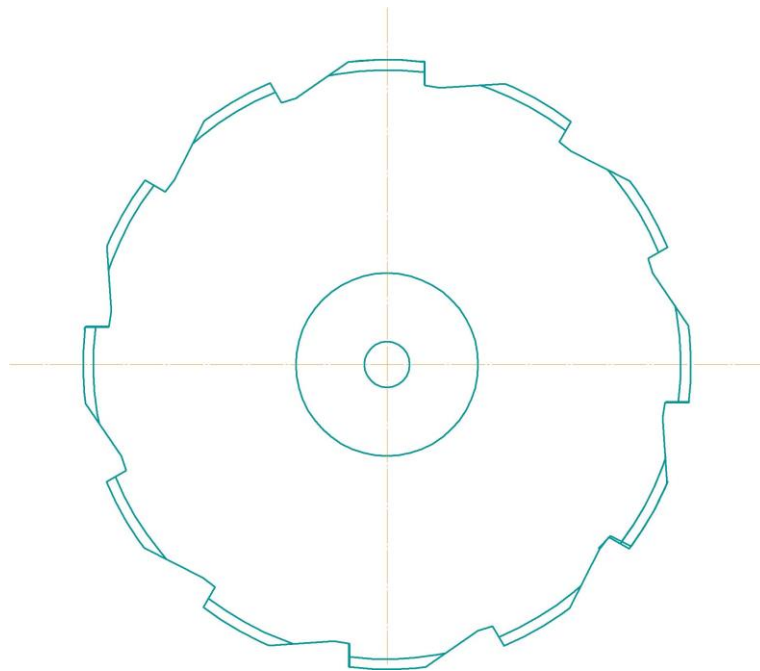


Рис. 2.4. Модернізований дисковий ніж

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Технологічні розрахунки

Визначаємо основні параметри плуга ПЛН-4-35.

Плуг має 4 корпуси шириною одного корпусу 35 см

$$B=n \times b \quad (3.1)$$

$$B=4 \times 0,35=1,4 \text{ м.}$$

Беремо $B=1,4$ м.

Маса плуга ПЛН-4-35 визначається з умови відношення питомої металоємкості на 1 м ширини захвата агрегату

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

$q_{\text{п}}$ – питома металоємкість.

$$G_{\text{п}}=464 \cdot 1,4=649,6 \text{ кг}$$

Збільшення ширини захвату лемеша корпусу плуга на певну величину перекриття Δb (рис. 3.1) сприяє більш повному підрізанню шару оброблюваного ґрунту та кореневої системи бур'янів, запобігає огріхам при виконанні операції. З конструктивних міркувань [4] для плуга ПЛН-4-35 з приймаємо $\Delta b=25$ см.

					КР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

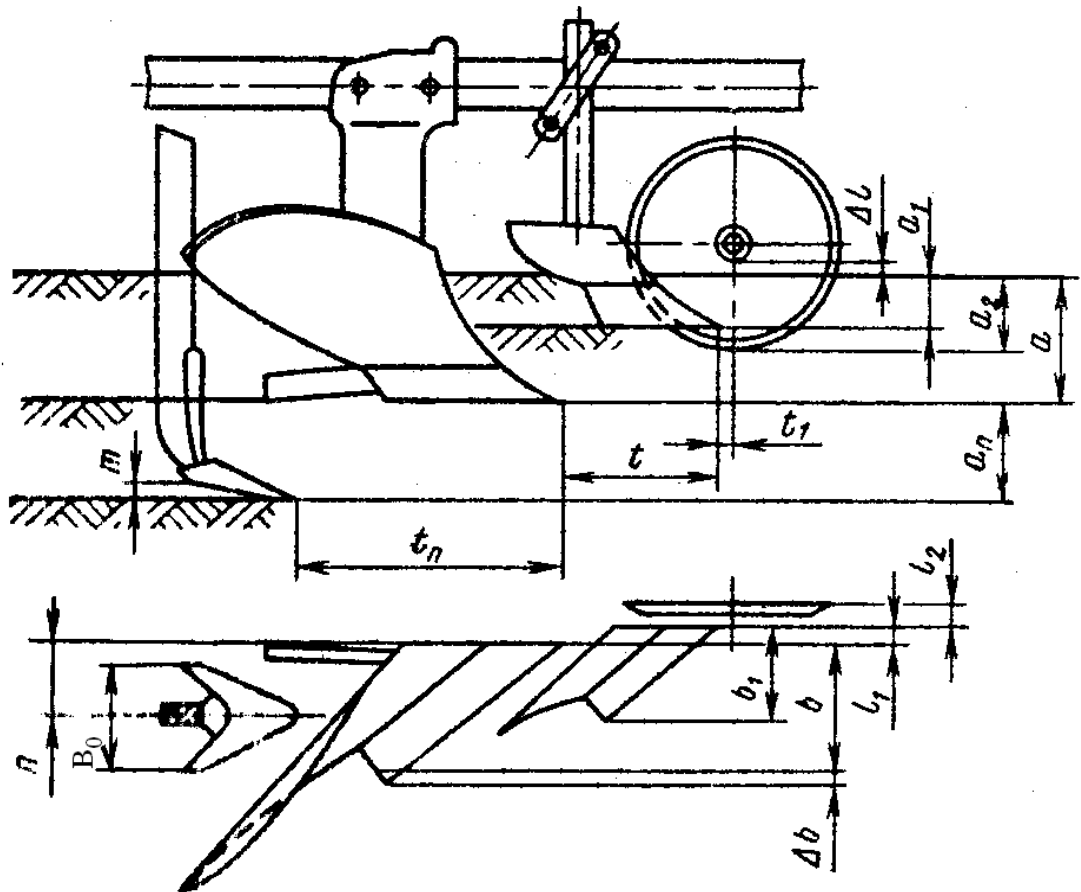


Рис. 3.1. Схема розташування робочих органів плуга ПЛН-4-35.

Ширина захвату передплужника складе:

$$b_1 = \frac{2b}{3} \quad (3.3)$$

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

за глибини $a_1=10 \text{ см}$.

Передплужник встановлюють на рамі таким чином, щоб відстань між його носком і носком основного корпусу становила $t = 250 \text{ мм}$. Це забезпечує роздільне переміщення ґрунтових пластів із робочих поверхонь корпусу та передплужника і запобігає їх забиванню.

Корпуси на рамі плуга розташовуємо орієнтовно виходячи з наступних міркувань (рис. 3.2).

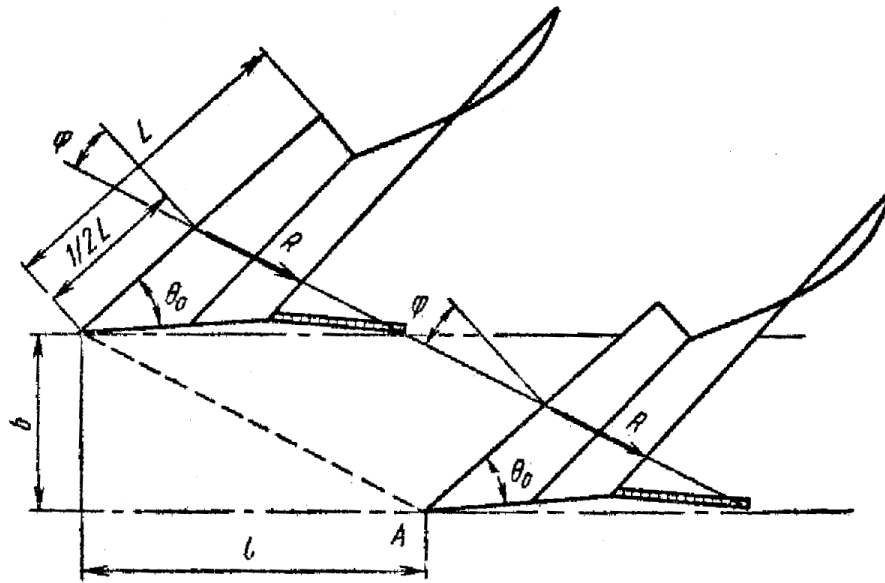


Рис. 3.2. Схема розташування корпусів при повздовжньому напрямкові.

У розрахунках умовно приймають, що сила опору R , яка виникає під час різання ґрунту при русі корпусу, прикладена в середині довжини леза лемішу ($L/2$) і напрямлена під деяким кутом тертя до площини, перпендикулярної лезу.

Ця сила передається на стінку борозни в зоні розташування п'ятки польової дошки заднього корпусу. Якщо провести лінію дії сили R через носок переднього леміша, то на цій лінії, у точці її перетину з наступною стінкою борозни (точка A), на певній відстані ($\sqrt{b^2 + l^2}$) розміщується носок наступного корпусу і так далі для інших корпусів плуга.

Розстановка корпусів при повздовжньому напрямку буде:

$$l = btg(\theta_0 + \varphi) \quad (3.4)$$

θ_0 – значення кута нахилу леміша до стінки борозди;

φ – значення кут тертя оброблюваного ґрунту об метал знаряддя.

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

Висота розташування рами плуга над опірною площиною корпусів плуга визначається нами з умови забезпечення вільного підйому, оберту та проходження ґрунтового пласта під рамою під час виконання першої борозни.

Глибина борозни приймається рівною $2a/3$ і визначається відповідними розрахунковими залежностями.

$$H=v+2a/3 \quad (3.5)$$

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

По ДСТУ 2416-94 «Плуги загального призначення та лущильники лемішні. Загальні технічні умови значення» H для плугів із шириною захвата корпусу 35 см беремо рівним 54 см. При цьому дорожній просвіт h складе 30...40 см (це буде відстань до площини опорної від носка леміша першого корпусу коліс енергозасобу).

Розміщення опорного колеса навісного плуга ПЛН-4-35 визначається з урахуванням забезпечення оптимального розподілу навантаження між плугом і енергозасобом, а також стабільності руху агрегату за глибиною обробітку.. Опорне колесо розміщують на відстані, що становить приблизно одну третину від проміжку між носками лемешів переднього та заднього корпусів.

3.2. Кінематичний та силовий аналіз начіплювання плуга.

Вимоги до начіпки плуга на енергозасіб

– конструкція начіпки має забезпечувати самостійне заглиблення корпусів у ґрунт при переході з транспортного положення в робоче, а також стабільність руху агрегату на заданій глибині оранки навіть за умов зношення лемешів;

– навантаження на опорне колесо не повинно бути надмірним, щоб уникнути інтенсивного зносу вузлів маточини та пошкодження обода;

					КР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

- робота плуга не має спричиняти суттєвого погіршення керованості енергосасобу внаслідок перерозподілу зчіпної ваги по площі контакту рушіїв із ґрунтом;

- схема розміщення приєднувальних елементів начіпки визначає здатність плуга до самозаглиблення, рівномірність ходу за глибиною, ефективність копіювання рельєфу поля та довговічність робочих органів;

- параметри начіпного пристрою повинні гарантувати надійне заглиблення плуга під час роботи на щільних ґрунтах, при цьому запас заглиблювальної здатності має бути мінімально необхідним.

Відповідно до поставлених вимог розв’язуються дві основні задачі:

На основі кінематичного аналізу схеми начіпного пристрою та плуга-аналога, агрегатованого з енергосасобом, визначається граничне значення кута ψ – кута між рівнодійною сил R_{zx} (утвореною поздовжньою R_x і вертикальною R_z складовими) та віссю Ox , прикладеною до корпусу плуга.

Друге завдання полягає в емпіричному визначенні можливих варіантів зміни положення ланок начіпки, тобто такого розташування миттєвого центра обертання плуга, яке забезпечує виконання встановлених вимог при мінімально можливих значеннях кута ψ . При цьому кут ψ варіюється в межах $\pm 12^\circ$ (рис. 3.3, 3.4).

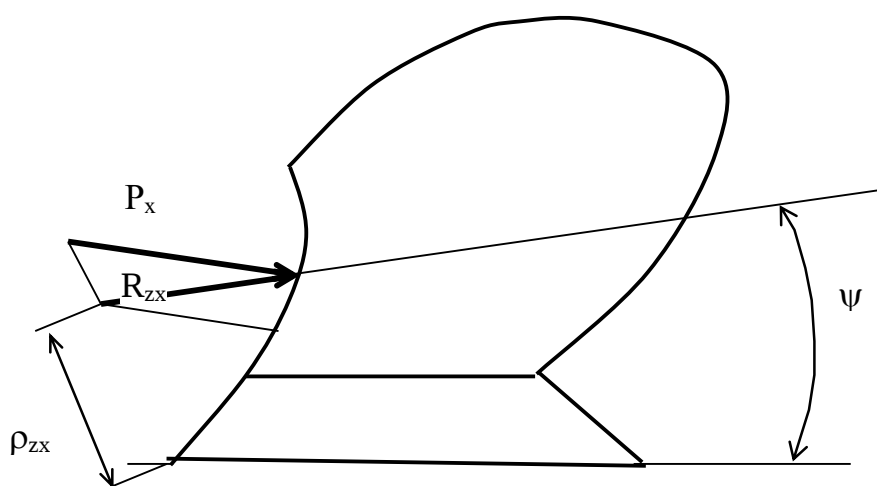


Рис. 3.3. Схема сил, діючих на корпус у вертикально-повздовжній площині при затуплених лемешах.

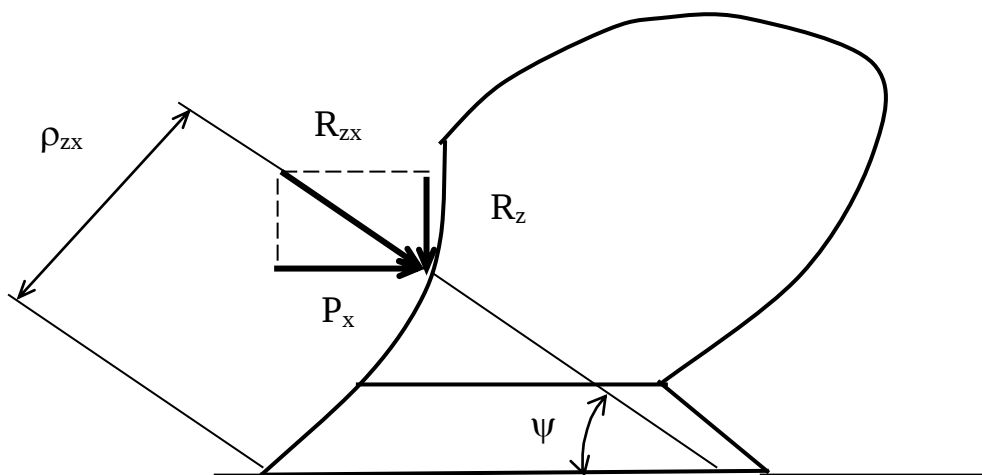


Рис. 3.4. Схема сил, діючих на корпус із гострими лемешами.

G_n – вага плуга, R_{zx} – прикладена до середнього корпусу плуга, F_x – сила тертя польових дошок об стінку борозни (рис. 3.5) – це сили, які діють на плуг у його робочому положенні у вертикально-повздовжній площині.

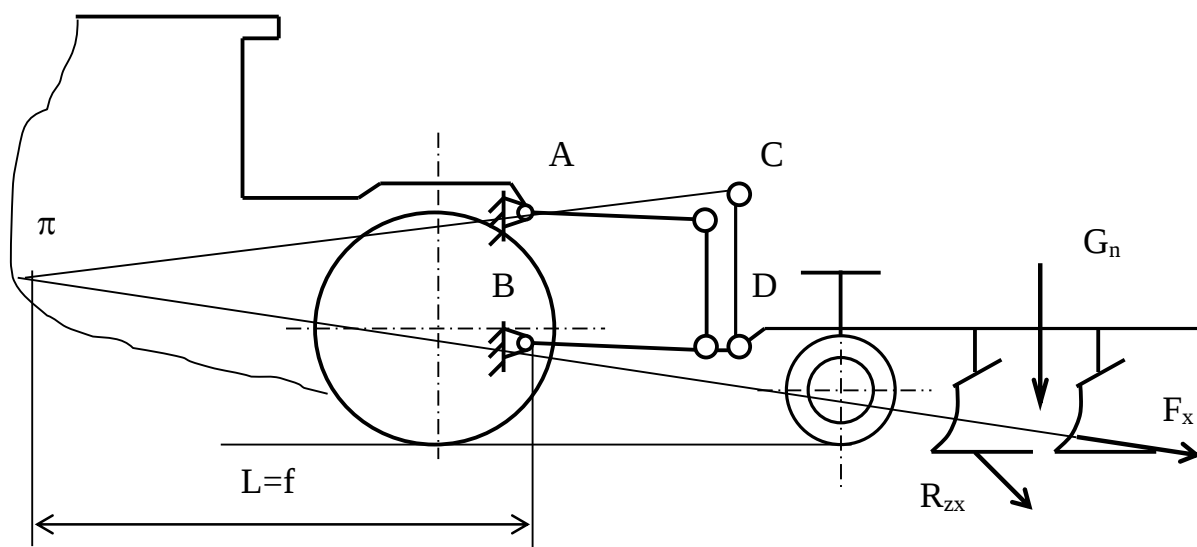


Рис. 3.5. Схема сил, діючих на плуг у поздовжньо-вертикальній площині під час роботи.

Рівнодіюча всіх цих сил P_1 створюється відносно миттєвого центра обертання π системи, момент, який обумовлює заглиблюючу здатність плуга, урівноважується заглиблюючою реакцією, яка виникає на опорному колесі.

Положення π – визначає два параметри: l – плече дії сили P_1 відносно π , і f – відстань від осі задніх коліс енергозасобу.

Рівнодійна всіх прикладених сил P відносно миттєвого центра обертання π системи створює момент, що визначає здатність плуга до заглиблення. Цей момент врівноважується реакцією заглиблення, виникаюче на опорному колесі плуга.

Розташування точки π характеризується двома основними параметрами: плечем дії сили P_1 відносно цього центра та відстанню f від осі задніх коліс енергозасобу.

Визначення граничного кута ψ .

Проаналізувавши кінематичну схему автоначіпки плуга-аналога на енергозасіб (згідно з кресленням кінематичної схеми та планом сил для затуплених лемешів), визначимо значення кута ψ граничне, яке в нашому випадку дорівнює 0.

Транспортний просвіт плуга на схемі вимірюється як відстань від найнижчої точки корпусу плуга до поверхні ґрунту і становить 540 мм. Згідно з агротехнічними вимогами, транспортний просвіт повинен бути не меншим за 350 мм [4], що дозволяє конструктивно змінювати положення автоначіпки, зокрема ланки CD (рис. 3.5), відносно плуга під час роботи. При цьому піднімання ланки CD відносно плуга не погіршує здатності плуга заглиблюватися в ґрунт.

Для менших значень кута ψ ($\psi > 0$) або при більш затуплених лемешах у порівнянні з плугом-аналогою, визначення граничного кута дозволяє оцінити можливість регулювання положення автоначіпки без втрати її функціональності.

Визначення оновленого положення автоначіпки.

Визначають кут нового положення миттєвого центра обертання π , при якому кут ψ , утворений вектором сили R_{zx} з віссю Ox , буде значно меншим порівняно з плугом-аналогом.

Положення миттєвого центра обертання π задається двома координатами L та f (рис. 3.5 та 3.6).

Сила опору плуга приводиться до точки, що відповідає середній частині корпусу, для спрощення розрахунку та забезпечення коректної оцінки моментів, що діють на робочий орган.

$$R_{zx} = \sqrt{R_x^2 + R_z^2} \quad (3.6)$$

$R_x = a\eta bkn$ – складова повздовжня;

η – коефіцієнт корисної дії плуга;

a і b – розміри перерізу шару оброблюваного ґрунту;

k – питомий опір оброблюваного ґрунту;

n – кількість корпусів плуга.

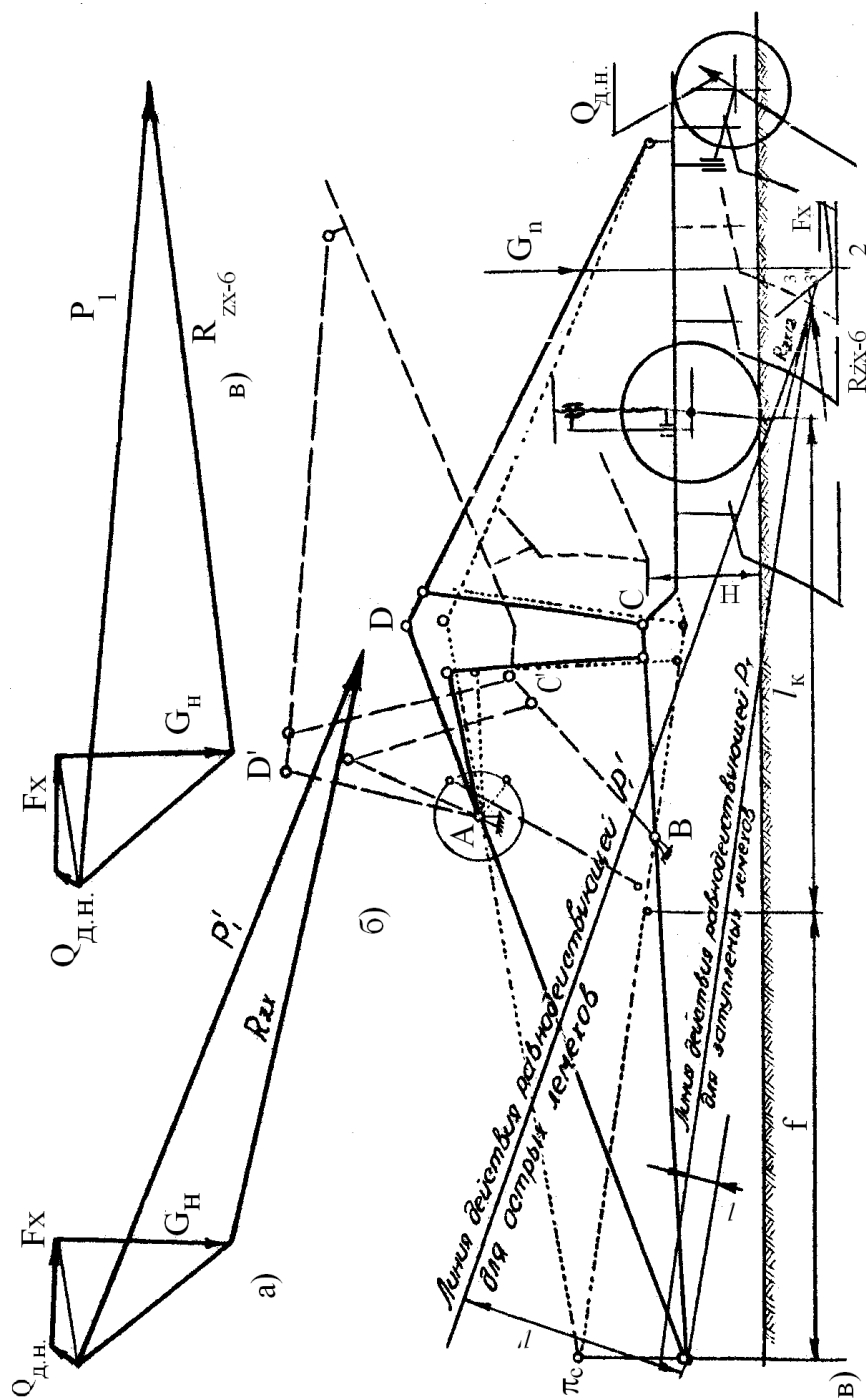
Ми повинні впевнитися, що

$$R_x = (0,85 \dots 0,9) P_{тр} \quad (3.7)$$

$P_{тр}$ – опір тяговий енергозасобу на другій передачі;

R_{zx} – вертикальна складова сил.

$$R_{zx} = \pm 0,2 R_x \quad (3.8)$$



- - - - - положення ланок плуга-аналога
 - - - - - транспортне положення плуга
 — нове положення ланок нічипки

Рис. 3.6. Кінематична схема начіпки плуга на енергозасіб:
 а – многокутник сил у випадку гострих лемешів;
 б – те ж, але у випадку затуплених лемешів;
 в – кінематична схема начіпки плуга на енергозасіб

Показник

$$\ell = \frac{M_{\min}}{P_1} \quad (3.7)$$

де $M_{\min}$ – найменший заглибний момент, що може забезпечити стабільну роботу плуга на задіяних щільних ґрунтах;

$$M_{\min} = Bm \quad (3.8)$$

B – ширина захвату плуга;

m – заглибний момент, який діє на кожен сантиметр ширини захвата.

Стійкість роботи плуга без надлишків запасу заглибного моменту може досягатися при

$$m = 6 \dots 8 \text{ Н/см.}$$

У нашому випадку

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

Показник f обирається згідно умови, яка забезпечує задовільне копіювання рельєфу поля плугом. Для нашого енергозасобу:

$$f = L \dots 2L$$

L – величина відрізка поміж осями передніх та задніх коліс енергозасобу

$$f = 2,86.$$

Рівнодійна $\bar{P}_1$ визначається як сума сил векторна:

					КР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

$$\bar{P}_1 = \bar{R}_{zx} + \bar{G}_n + \bar{Q}_H + \bar{F}_x \quad (3.9)$$

G_n – вага плуга ПЛН-4-35;

Q_H – сила опору ножа дискового плуга; якщо дисковий ніж встановлюється одночасно з колесом опорним, тоді ця сила додається до зусилля $Q_{оп.к.}$ на опорному колесі і використовується для контролю рівноваги плуга по глибині оранки.

Плече R_{zx} – рівне половині глибини оранки при плюсових кутах ψ , і при від’ємних кутах ψ – третині.

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

$$R_x = 0,2 \cdot 2646 \approx 530 \text{ Н}$$

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

Сила тертя дошок польових об стінку скиби

$$F_x = fR_y \quad (3.10)$$

$R_y = 1/3 R_x$ – зусилля, що діє на дошка польову;

f – значення коефіцієнту взаємодії сталі об ґрунт.

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

На схемі кінематичній агрегатування плуга з енергозасобом складаємо план сил, що діють на плуг у поздовжньо–вертикальній площині, та визначаємо їхню рівнодіючу P_1 разом із точкою прикладання. Силу R_{zx} направляємо під кутом $\psi = -5^\circ$, що менше на 5° , чим у плуга-аналога для випадку затуплених лемешів (рис. 3.6, б), що забезпечує більш точне врахування характеру опору ґрунту та зменшення моменту, що діє на корпус плуга.

У нашому випадку $P_1 = 3144 \text{ Н.}$

					КР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		25

Тоді відстань миттєвого центра обертання π від лінії дії сили P_1

$$\ell = \frac{M}{P_1} \quad (3.11)$$

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

Отже, кінематична схема начіпки плуга на енергозасіб, виконана нами, забезпечує рівномірну роботу плуга при кутах ψ до -5° . Зменшення кута ψ далі (що відповідає ще більш затупленим лемешам) при незмінній конструкції начіпки призведе до нерівномірного заглиблення плуга. На цьому опис конструктивних особливостей зміненої кінематичної схеми завершено.

Тоді заглибний момент

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

реакція на опорному колесі складе

$$Q_{\text{оп.к.}} = 3700/3,6 = 1027 \approx 1030 \text{ Н}.$$

3.3 Енергетичний розрахунок

Розрахунок опору плуга тягового

Опір руху плуга під час оранки визначається сукупністю різноманітних факторів, зокрема типом ґрунту, його вологістю, щільністю та однорідністю оброблюваного шару.

Суттєвий вплив на величину опору має і конструкція плуга: особливості будови корпусів та інших робочих органів, матеріал робочих поверхонь, а також тип і розташування опорних коліс. Крім того, енергетичні витрати залежать від технологічних параметрів – глибини обробітку, ширини захвату та робочої швидкості агрегату.

					КР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

У зв'язку з неоднорідністю ґрунту, а також зміною глибини ходу робочих органів і швидкості руху агрегату в процесі роботи, тяговий опір плуга має випадковий характер і змінюється в певних межах.

Академік Василь Прокопович Горячкін встановив, що тяговий опір плуга формується як сума складових трьох різних категорій. До першої з них він відніс опір, величина якого прямо пропорційна нормальному тиску (силі ваги):

$$R_1 = f \cdot G \quad (3.12)$$

f – значення коефіцієнту пропорційності (опір протяганню плуга у відкритій скибі)

G – сила ваги плуга.

В.П. Горячкін до цієї групи відносив сили опору, що виникають унаслідок тертя робочих корпусів об поверхню борозни, тертя втулок коліс об їхні осі, а також під час перекочування коліс по ґрунту. Сукупність зазначених складових він охарактеризував як «некорисний опір», оскільки вони не беруть безпосередньої участі у виконанні технологічного процесу."

До другої групи належать сили опору, спричинені деформуванням ґрунтового шару. Відповідно до загальних положень теорії опору матеріалів, їх величина перебуває в прямій залежності від площі поперечного перерізу шару ґрунту, що зазнає деформації:

$$R_2 = k_0 \cdot a \cdot b \cdot n, \quad (3.13)$$

k_0 – значення питомого опору ґрунту (відповідно до межі міцності в опорах матеріалів),

a та b – глибина оранки й ширина шару оброблюваного ґрунту відповідно;

n – число корпусів на плугові.

Третю категорію становить опір, зумовлений наданням частинкам ґрунтового шару кінетичної енергії. За аналогією до руху пластини в рідкому або газоподібному середовищі, сила опору корпусу плуга перебуває у прямій залежності від площі поперечного перерізу деформованого шару ґрунту та пропорційна квадрату швидкості його руху:

$$R_3 = \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot V^2 \quad (3.14)$$

V – швидкість плуга в агрегаті;

ε – величина коефіцієнту швидкісного опору, залежного від параметрів корпусу плуга та фізико-механічних властивостей ґрунту, по П. Горячкіну – $\varepsilon = 1500-2000 \text{ с}^2/\text{м}^4$.

Відтак, тяговий опір плуга складе наступне:

$$R_x = R_1 + R_2 + R_3 = f \cdot G + k_0 \cdot a \cdot b \cdot n + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot V^2. \quad (3.15)$$

$$R_x = 0,5 \cdot 675 + 0,3 \cdot 0,3 \cdot 0,35 \cdot 4 + 1700 \cdot 0,3 \cdot 0,35 \cdot 2,5 = 783,78 \text{ Н}$$

Вибір енергозасобу за умовами поздовжньої стійкості агрегату

Під час обґрунтування вибору енергозасобу необхідно враховувати умови забезпечення поздовжньої стійкості машинно-тракторного агрегату. Найменш стійким у поздовжній площині є агрегат із начіпною машиною, переведеною в транспортне положення, під час руху на підйом (рис. 3.7).

Оцінювання стійкості агрегатів, сформованих на базі колісних енергозасібів, здійснюється за коефіцієнтом запасу поздовжньої стійкості X_H . Якщо значення коефіцієнта відповідає умові $X_H > 0,4$, агрегат перебуває у стійкому стані. У разі перевищення цього значення $X_H > 0,4$ спостерігається істотне зниження поздовжньої стійкості, що може призвести до відриву передніх коліс від опорної поверхні.

					КР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

Коефіцієнт запасу поздовжньої стійкості визначають за відповідною розрахунковою залежністю:

$$X_H = \frac{G_H a_H}{Ga} \quad (3.16)$$

G_H – вага плуга ПЛН-4-35;

a_H – подовжня координата центру ваги плуга, який піднято в транспортне положення щодо осі коліс енергозасобу задніх ведучих;

G – сила ваги енергозасобу, $G=81,35$ кН;

a – подовжня координата центру ваги енергозасобу щодо осі коліс ведучих.

$$X_H = \frac{6,4 \cdot 1,66}{81,35 \cdot 1,82} = 0,072 \text{ кН}$$

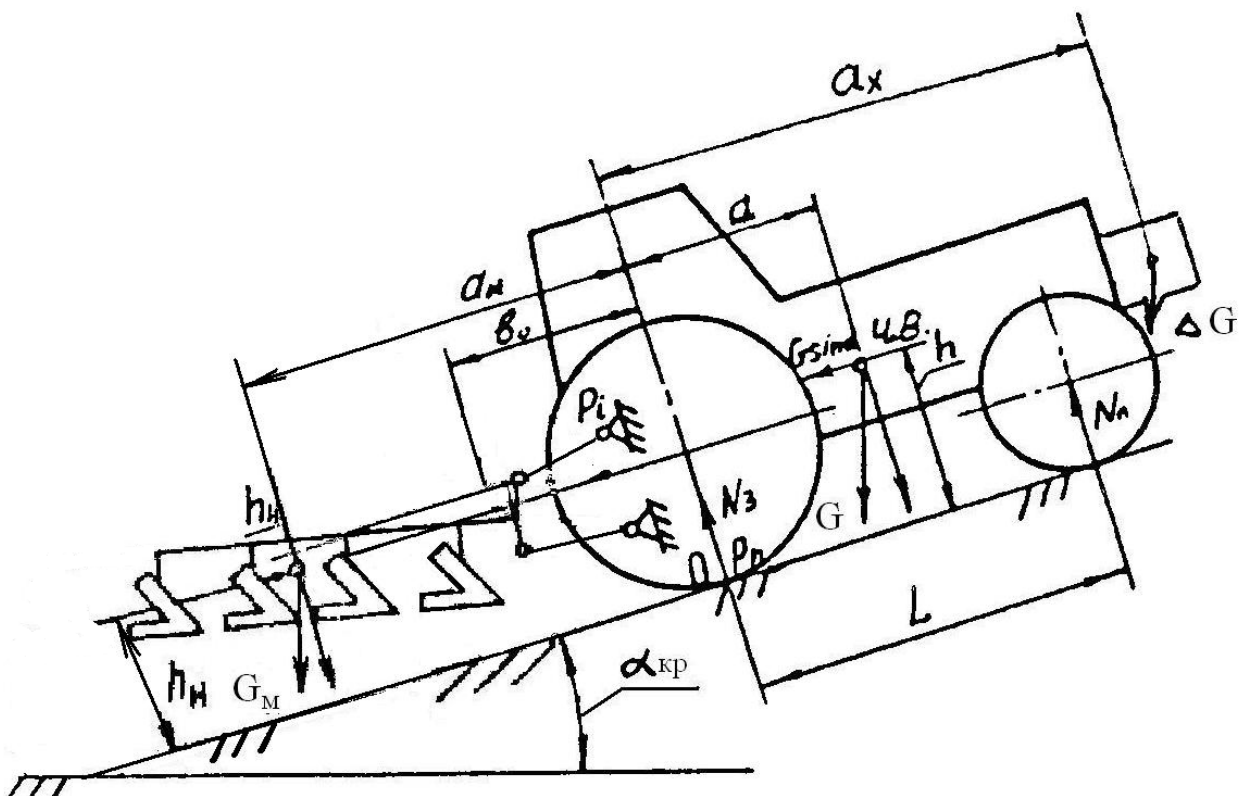


Рис. 3.7. Розрахункова схема агрегату, який рухається на підйом.

Як показують розрахунки, умова рівноваги агрегату виконується, тобто, остаточно можемо обрати енергозасобу Т-150-К для агрегування плуга ПЛН-4-35.

Щоб переконатися у відсутності перевантажень коліс енергозасобу, перевіряємо навантаження на них.

на колеса передні

$$N_n = \frac{(G_a - G_H a_H - (G + G_H) f_{r_k})}{L}, \quad (3.17)$$

на колеса задні

$$N_z = G + G_H - N. \quad (3.18)$$

f – значення коефіцієнта перекочування;

r_k – значення радіусу кочення коліс ведучих енергозасобу;

L – база енергозасобу повздовжня.

$$N_n = \frac{(81,35 \cdot 1,82 - 8,5 \cdot 1,66 - (81,35 + 6,4) \cdot 0,2 \cdot 0,64)}{2,86} = 42,9 \text{ кН}$$

$$[N_n] > N_n \quad (3.19)$$

$$52,0 > 42,9 [3]$$

$$N_z = 81,35 + 6,4 - 42,9 = 44,85 \text{ кН}$$

Нетривале перевантаження на задні колеса 17% – допустиме при швидкостях орного агрегату до 20 км/год.

Наступним кроком буде визначення критичного кута нахилу узбіччя, де зможе працювати орний агрегат, та ступеня використання тяги енергозасобу.

Критичний кут нахилу узбіччя:

					КР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		30

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{кр}} = \left[\operatorname{tg} \alpha_{\text{гран}} \frac{1 - X_{\text{H}}}{1 + \delta_{\text{H}}} \right] - f ; \quad (3.20)$$

$\alpha_{\text{кр}}$ – граничний нахил узбіччя;

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{гран}} = \frac{a}{h} \quad (3.21)$$

a і h – горизонтальна та вертикальна координати центру ваги відповідно;

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{гран}} = \frac{1,82}{0,966} = 1,88$$

X_{H}' – значення коефіцієнту повздовжньої стійкості орного агрегату з додатковими вантажами;

$$\delta_{\text{H}} = \frac{G_{\text{H}}}{G} \quad (3.22)$$

$$\delta_{\text{H}} = \frac{6,4}{81,35} = 0,08$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{кр}} = \left[1,88 \cdot \frac{1 - 0,072}{1 + 0,08} \right] - 0,2 = 0,415 \quad \alpha = 24^{\circ} 31'$$

Встановлюємо спроможність енергозасобу в агрегті з плугом ПЛН 4-35 заїхати на схил, і не зісковзнутися з нього вниз в залежності від стану поверхні оброблюваного поля, а саме:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{кр}} < \operatorname{tg} \varphi = f_{\text{с}}. \quad (3.23)$$

Порівнюючи розрахунки з табличними даними, робимо висновко, що орний агрегат не зсунеться з оброблюваного поля вниз по схилу незалежно від стану поверхні його.

Оцінка поперечної стійкості вибраного агрегату.

					КР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		31

Під час руху агрегату по полю зі складним рельєфом та наявністю поперечного схилу зростає ризик втрати поперечної стійкості, що може проявлятися у вигляді бічного перекидання або зсуву агрегату (сповзання чи занесення).

У зв'язку з цим необхідно визначити допустимі значення кута нахилу поверхні, за яких забезпечується безпечна експлуатація машинно-тракторного агрегату з начіпною машиною. Така перевірка дає можливість оцінити умови виконання маневру розвороту для заїзду в наступну загінку під час роботи на схилі, а також безпечність руху при переїздах через ділянки з нерівним рельєфом.

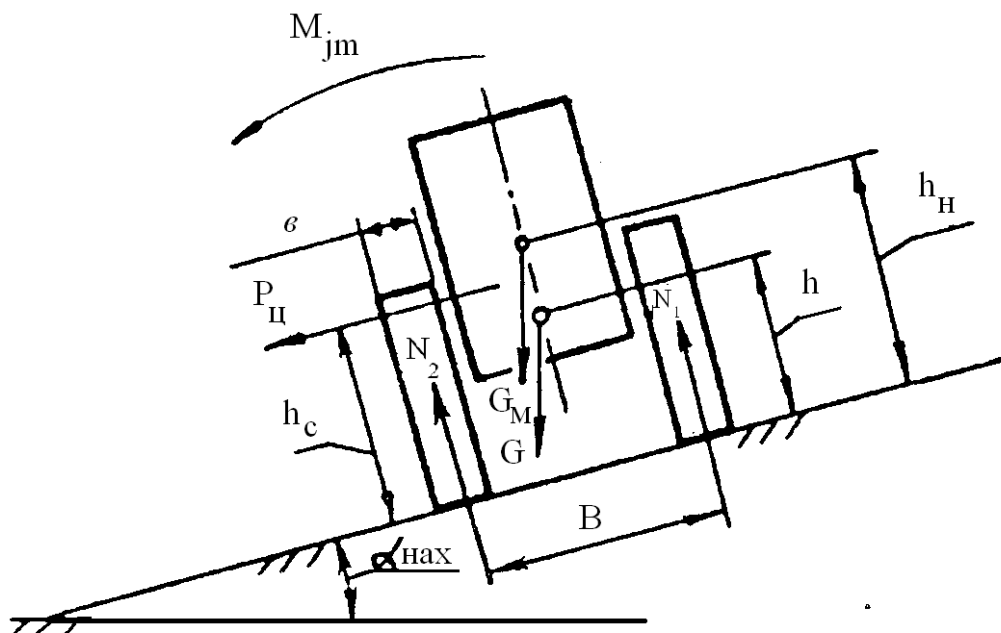


Рис. 3.8. Розрахункова схема сил, які діють на агрегат на поперечному схилі.

Під час агрегування начіпної машини з енергозасобом її центр мас, як правило, розташовується в площині поздовжньої осі симетрії енергозасобу. За таких умов граничне значення поперечного кута нахилу поверхні поля, при якому забезпечується стійкість агрегату під час виконання розвороту, визначається відповідною розрахунковою залежністю:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{нах}} < \frac{\left(G_a^2 (B + v) - P_{\text{ц}} \sqrt{G_a^2 (B + v)^2 + 4(G_a^2 - P_{\text{ц}}^2) h_c^2} \right)}{2(G_a^2 - P_{\text{ц}}^2) h_c}, \quad (3.24)$$

G_a – сила ваги орного агрегату;

$$G_a = G + G_H = 81,35 + 6,4 = 87,75 \text{ кН.} \quad (3.25)$$

G, G_H – сила ваги відповідно енергозасобу та плуга;

$$G_a = 81,35 + 6,4 = 87,75 \text{ кН.}$$

B – ширина колії енергозасобу;

$v=0$ коли ґрунт м'який;

$P_{ц}$ – сили відцентрові усіх частин орного агрегату, які можуть виникати при його русі на повороті;

$$P_{ц} = \frac{G_a v^2}{gR}; \quad (3.26)$$

v – швидкість орного агрегату, яка при розвороті на схилі має відповідати умові

$$v < \sqrt{\frac{gR [0,5B \cos \alpha - h_c \sin \alpha]}{h_c}}; \quad (3.27)$$

g – прискорення сили тяжіння;

R – радіус повороту орного агрегату;

h_c – координата точки прикладання відцентрових сил, вертикальна,

$$h_c = 0,5(h + h_H)$$

h, h_H – координата центру ваги енергозасобу та плуга, піднятого у положення транспортне, вертикальна.

$$h_c = 0,5 \cdot (1,85 + 0,72) = 1,285 \text{ м.}$$

					КР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

$$g < \sqrt{\frac{9,8 \cdot 4 \cdot [0,5 \cdot 1,435 \cos 24^\circ - 1,285 \sin 24^\circ]}{1,285}} = 2,01 \text{ м/с}$$

$$5,73 < 9,08$$

$$P_{\text{ц}} = \frac{87,75 \cdot 2,01^2}{9,8 \cdot 4} = 9,04 \text{ кН}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{нах}} < \frac{(87,75^2 \cdot 4 - 9,04 \cdot \sqrt{87,75^2 \cdot 4^2 + 4 \cdot (87,75^2 - 9,04^2) \cdot 1,285^2})}{2 \cdot (87,75^2 - 9,04^2) \cdot 1,285} = 3,08 \cdot 10^4$$

Оцінювання впливу стану ґрунту на характер втрати стійкості агрегату здійснюють відповідно до умови співвідношення між тангенсом кута нахилу поверхні та коефіцієнтом зчеплення рушіїв із ґрунтом:

– якщо $\operatorname{tg} \alpha > f_c$, першочергово відбуватиметься сповзання агрегату по схилу;

– якщо $\operatorname{tg} \alpha < f_c$, раніше настане його перекидання.

де f_c – коефіцієнт зчеплення рушіїв енергозасобу з опорною поверхнею.

З урахуванням характеристик сухого та вологого ґрунту в даному випадку критичним режимом втрати стійкості буде перекидання агрегату.

3.4 Розрахунки деталей на міцність

Під час виконання розрахунків на міцність дискового ножа розрахункове значення опору приймають із підвищенням на 50% з метою врахування можливих короткочасних перевантажень, що виникають унаслідок взаємодії ножа з локальними ущільненнями ґрунту.

Вісь дискового ножа перевіряють на міцність при згині під дією горизонтальної складової сили опору R_{zx} .

$$R_{zx} = 1,5 \cdot R_x \sqrt{1 + (1^2 \dots 1,3^2)} \quad (3.28)$$

					КР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		34

Згідно табличних даних значення R_x приймаємо рівним 1,3.

$$R_{zx} = 1,5 \cdot \sqrt{1 + (1,3^2)} = 2,46 \text{ кН}.$$

Відповідно до цієї сили обираємо підшипник маточини диска. Обираємо шариковий радіальний підшипник (ДСТУ ГОСТ 8338:2008 Підшипники шарикові радіальні однорядні) $C=1000$ кгс; $C_0=630$ кгс, $n=12500$ об/хв.

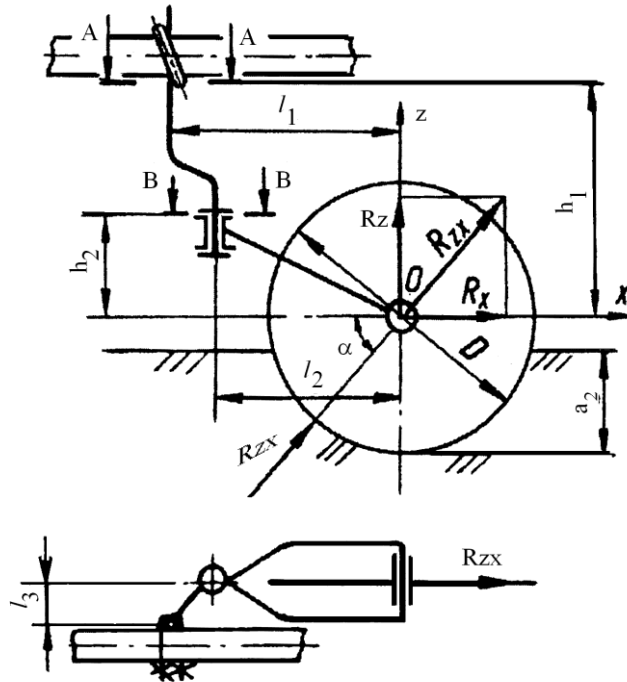


Рис. 3.9. Розрахункова схема дискового ножа.

Виконуємо розрахунок вилки та стояка колінчастого на згин від сил R_x та R_z .

Для колінчастого стояка згинальні моменти складуть:

$$M_x = 1,5 \cdot R_x \cdot h_1; \quad (3.29)$$

$$M_z = 1,5 \cdot R_x \cdot (1 \dots 1,3) \ell_1; \quad (3.30)$$

h_1 та ℓ_1 – шлях до небезпечного перетину А-А від центра диска (рис. 3.9).

$$M_x = 1,5 \cdot 1,3 \cdot 0,35 = 0,68 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_z = 1,5 \cdot 1,3 \cdot 1,2 \cdot 0,26 = 0,61 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Діаметр колінчастого стояка визначимо з виразу:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{пр}}}{0,1[\sigma_{-1}]}} \quad (3.31)$$

$$M_{\text{пр}} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} = 1,5R_x \sqrt{h_1^2 + (1^2 \dots 1,3^2)\ell_1^2} \quad (3.32)$$

$$M_{\text{пр}} = \sqrt{0,68^2 + 0,61^2} = 0,91 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$[\sigma_{-1}]$ – посереднє значення напружень допустимих для валів

$$d = \sqrt[3]{\frac{0,91}{0,1 \cdot 90}} = 0,046 \text{ м}.$$

Згинальні моменти для вилки складуть:

$$M'_x = 1,5 \cdot R_x h_2; \quad (3.33)$$

$$M'_z = 1,5 \cdot R_x (1 \dots 1,3) \ell_2; \quad (3.34)$$

h_2 та ℓ_2 – шлях від центра диска до перетину В-В небезпечного.

$$M'_x = 1,5 \cdot 1,3 \cdot 0,14 = 0,27 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M'_z = 1,5 \cdot 1,3 \cdot 1,2 \cdot 0,235 = 0,55 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Наявність коліна в конструкції колінчастого стояка забезпечує можливість зміщення диска відносно рами — як у напрямку до неї, так і від неї — під час регулювання положення ножа щодо корпусу плуга або передплужника. Таким чином, величина λ_3 може змінюватися в межах від нуля до певного максимального значення. У кожному встановленому положенні стояк повинен бути надійно закріплений. Фіксація здійснюється за рахунок сил тертя, що виникають у затискному вузлі кріплення колінчастого стояка до рами. Умова забезпечення надійної фіксації:

$$P \cdot f \cdot d / 2 > R_{zx} \ell_3. \quad (3.35)$$

Тоді сила затягування гайок складе:

$$P > \frac{2R_{zx}\ell_3}{fd} \quad (3.36)$$

$$P > \frac{2 \cdot 4 \cdot 2,46 \cdot 0,04}{0,14 \cdot 0,46} = 12,22 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

					КР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

4. ВИСНОВКИ

У результаті виконаної кваліфікаційної роботи проведено модернізацію навісного плуга ПЛН-4-35, що полягала передусім у вдосконаленні конструкції дискового ножа. Геометрична форма краю диска була змінена шляхом виконання вирізів, що дозволило зменшити коефіцієнт ковзання, підвищити ефективність розрізання рослинних решток, забезпечити більш рівномірне перевертання орного шару та покращити стабільність руху плуга під час оранки.

Для оцінки доцільності запропонованих конструктивних змін було виконано комплекс розрахунків: на міцність деталей та вузлів модернізованого плуга, що підтвердили надійність і безпеку експлуатації, а також кінематичні та енергетичні розрахунки, які дозволили оцінити вплив змін на ефективність роботи агрегату. Отримані результати свідчать про те, що запропоновані удосконалення сприяють підвищенню продуктивності оранки, зниженню тягового опору та економії енергетичних витрат, що має практичне значення для сільськогосподарських підприємств.

Таким чином, проведена модернізація плуга ПЛН-4-35 дозволяє підвищити якість обробки ґрунту, поліпшити агротехнічні показники та забезпечує основу для подальшого вдосконалення ґрунтообробної техніки. Запропоновані зміни є доцільними для впровадження у виробництво та можуть стати основою для подальших інженерних розробок у сфері механізації сільського господарства.

					КР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		37

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бакум М.В. Проектування сільськогосподарських машин. Частина 1. Книга 2. Машини для обробітку ґрунту. Харків : ПромАрт, 2019. 436 с.
2. 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.
3. Деталі машин : навчальний посібник / І. І. Мархель. К.: Алерта, 2016. – 368 с.
4. ДСТУ 2189-93. «Машини сільськогосподарські навісні та причіпні. Загальні вимоги безпеки».
5. ДСТУ 2416-94. Плуги загального призначення та лушпильники лемішні. Загальні технічні умови. – 9 с.
6. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т.1; Ч.1: Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. Харків: ОКО, 2001. – 444 с.
7. 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.
8. Основи конструювання машин: Підручник / Рудь Ю.С. – 2-е вид., переробл. - Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.
9. Охорона праці (Законодавство. Організація роботи): Навч. посіб. / За заг.ред. к.т.н., доц. І.П. Пістуна. – Львів: «Тріада плюс», 2010.
10. Охорона праці (практикум): Навч. посіб. /За заг. ред. к.т.н., доц. І.П.Пістуна. –Львів: «Тріада плюс», 2011.48.
11. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин : підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. Кривий Ріг : Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2015. 492 с.

					КР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		38

12. Сисолін П.В. та ін. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машини 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.

13. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін. – К.: Вища освіта, 2005. 464 с.

14. Філімоніхін, Г. Б. Опір матеріалів. Частина 1 : навч. посіб. / Г. Б. Філімоніхін, В. В. Пирогов, Л. С. Олійніченко. Кропивницький : ЦНТУ, 2024. 165 с.

					КР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		39

ДОДАТКИ

					КР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40