

Центральноукраїнський національний технічний університет
Агротехнічний факультет
Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« ____ » _____ 2026 р.

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

Модернізація плуга ПНЯ-4-40 з розробкою корпусу

нижнього ярусу

Виконав здобувач вищої освіти IV
курсу, групи ГМ-223-1

ОПП «Галузеве машинобудування»

спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____Сахарнацький Владислав Олегович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник проекту

доц., канд. техн. наук

_____Юрій МАЧОК

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доц., канд. техн. наук

_____Максим ГОДУНКО

« ____ » _____ 2026 р.

м. Кропивницький

[illegible]

ЗМІСТ

	стор.
1. Вступ	6
2. Стан питання про машину, яка модернізується	8
3. Конструкторська частина	17
4. Висновки	35
Список використаної літератури	36
Додатки	38

					ПНЯ 00.000 ПЗ	Арх
Зм.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		5

1. Вступ

Сільське господарство є однією з провідних галузей економіки України, яка забезпечує продовольчу безпеку держави та формує значну частину її експортного потенціалу. Ефективність сільськогосподарського виробництва значною мірою залежить від рівня механізації технологічних процесів, серед яких особливе місце займає обробіток ґрунту. Саме якісний основний обробіток створює необхідні умови для накопичення та збереження вологи, покращення повітряного режиму ґрунту, боротьби з бур'янами, загортання пожнивних решток і підготовки поля до подальших агротехнічних операцій [5,12].

Одним із найбільш поширених способів основного обробітку ґрунту залишається оранка, яка виконується за допомогою плугів різних конструкцій. Незважаючи на активне впровадження мінімальних та комбінованих технологій обробітку, полицева оранка продовжує широко застосовуватися в аграрному виробництві завдяки своїй ефективності під час вирощування багатьох сільськогосподарських культур. Особливого значення вона набуває на полях із підвищеною забур'яненістю, значною кількістю рослинних решток або необхідністю проведення глибокого розпушування ґрунту [2,5,9,19].

У сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу до ґрунтообробної техніки висуваються підвищені вимоги щодо продуктивності, надійності, довговічності та енергоефективності. Багато моделей плугів, які нині експлуатуються в господарствах, були створені відповідно до технічних вимог попередніх десятиліть і не повністю відповідають сучасним умовам виробництва. Це обумовлює необхідність їх удосконалення шляхом модернізації окремих вузлів і робочих органів, що без значних капіталовкладень дозволяє підвищити ефективність використання наявного машинно-тракторного парку.

					ПНЯ 00.000 ПЗ									
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата										
Розроб.	Сахарнацький				Пояснювальна записка					Літ.	Аркуш	Аркушів		
Перевірив	Мачок											6	38	
Н.контр.	Артеменко									ЦНТУ гр. ГМ-22з-1				
Затвер.	Васильковський													

Одним із перспективних напрямів удосконалення плугів є покращення конструкції корпусів нижнього ярусу багатоярусних плугів. Саме ці робочі органи виконують важливу функцію розпушування та переміщення нижніх шарів ґрунту, впливаючи на якість виконання технологічного процесу, величину тягового опору та загальні експлуатаційні показники агрегату.

Метою цієї роботи є модернізація плуга ПНЯ-4-40 шляхом розроблення удосконаленого корпусу нижнього ярусу для підвищення ефективності виконання технологічного процесу оранки та покращення техніко-економічних показників роботи агрегату.

					ПНЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

2. Стан питання про машину, яка модернізується.

2.1. Призначення, особливості будови та роботи плуга ПНЯ-4-40.

Основним призначенням ярусного плуга ПНЯ-4-40 є проведення глибокої оранки із забезпеченням пошарового обертання та взаємного переміщення ґрунтових пластів. Зазвичай його застосовують під час осіннього (зяблевого) обробітку поля, готуючи площі під вирощування просапних культур, зокрема соняшнику, цукрового та кормового буряку, кукурудзи, а також різноманітних овочевих коренеплодів і багаторічних трав [5,20].

За своєю конструкційною схемою ця машина подібна до класичних навісних плугів загального призначення, що використовуються для загінного способу обробітку. Ключова відмінність криється в специфіці робочих органів: ПНЯ 4-40 укомплектований корпусами верхнього та нижнього ярусів. Вони мають ідентичну ширину захвату (40 см), проте відрізняються геометрією лемішно-полицевої поверхні – вона є культурною для корпусу верхнього та напівгвинтовою для нижнього ярусів. Дані робочі поверхні розраховані на ефективне заглиблення до встановленого значення. Для чіткого формування лінії відрізу від необробленого моноліту на рамі змонтовано класичний дисковий ніж (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Плуг ярусний ПНЯ-4-40.

Формування агрегату реалізується за допомогою стандартної триточкової навісної системи.

					ПНЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Технологічний процес обробітку. Під час руху робочі органи послідовно зрізають пласти ґрунту на різній глибині та переміщують їх один відносно одного, укладаючи в раніше сформовану борозну. Одночасно з цим дисковий ніж відокремлює робочу скибу від основного масиву поля, завдяки чому стінка борозни залишається рівною.

Глибину оранки забезпечують гвинтовим механізмом, керуючи яким змінюють положення опорного колеса відносно поля.

Деякі технічні параметри та експлуатаційні показники машини наведені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Параметри плуга

№ п/п	Показники	Одиниця Виміру	Значення
1.	Продуктивність	га / год	1,2 – 1,55
2.	Робоча швидкість	км / год	до 8
3.	Ширина захвату корпусу верхнього і нижнього ярусів	м	0,40
4.	Ширина захвату	м	1,60
5.	Глибина обробки ґрунту	м	0,25 – 0,35
6.	Маса	кг	1050 ± 30
7.	Відстань між сусідніми корпусами	м	0,99
8.	Відстань між поверхнею ґрунту та нижньою частиною рами	м	0,7
9.	Число корпусів обох ярусів	шт	4 + 4
11.	Швидкість при транспортуванні	км / год	до 15
12.	Строк служби	років	9

2.2. Агротехнічні вимоги до оранки

Агротехнічні вимоги до оранки передбачають якісне розпушення та перевертання орного шару ґрунту із повним загортанням рослинних решток, бур'янів і добрив. Глибина обробітку повинна відповідати встановленому завданню з допустимим відхиленням не більше ± 2 см. Поверхня поля після проходу агрегату має бути рівною, без значних гребенів, западин і необроблених смуг. Відхилення від прямолінійності руху не повинні погіршувати якість обробітку. Не допускаються огріхи, пропуски та надмірне ущільнення ґрунту.

					ПНЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Розмір грудок повинен забезпечувати сприятливі умови для подальших технологічних операцій [1,2,4,9,12].

2.3. Аналіз конструкцій чотирикорпусних плугів подібного призначення.

Варто відзначити, що український ринок ярусних плугів є досить вузьким і складається переважно з агрегатів серії ПНЯ, які виготовляють місцеві підприємства.

Як альтернативу цим машинам аграрії часто використовують класичні або оборотні плуги загального призначення як українського, так і іноземного виробництва.

Мабуть чи не найпоширенішими плугами в Україні є машини серії ПЛН. В цій номенклатурі також представлений чотирикорпусний плуг ПЛН-4-35 (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Плуг ПЛН 4-35.

Це перевірена роками машина, яка працює з колісними чи гусеничними тракторами третього тягового класу. При роботі з передплужниками плуг відносно якісно виконує поставлені завдання. Нажаль, часто можна бачити в полях оранку без цього важливого органу, що надзвичайно негативно впливає на кінцеву якість. Стосовно глибини оранки, то виробник декларує максимум 30 см. Хоча робота на таку глибину викликає сумнів.

На конкурентну глибину до 35см може працювати плуг ПН 4-40 (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Плуг ПН 4-40.

Цей агрегат також розробляли для глибокого розпушування ґрунту під кукурудзу, цукрові та кормові буряки тощо. Однак, якщо порівнювати його з плугом ПНЯ 4-40, він гірше подрібнює та перевертає скибу, а також менш ефективно загортає рослинні рештки.

Швидкісний чотирикорпусний плуг ПШН-4 (рис. 2.4) помітно виділяється серед іншого різноманіття техніки. Даний агрегат створили на вітчизняному підприємстві «Деметра», що працює в Кіровоградській області.



Рис. 2.4. Плуг швидкісний ПШН-4.

Завдяки нетрадиційно великій ширині захвату кожного окремого корпусу, що здатна становити до 600мм, сумарна робоча ширина цього чотирикорпусного агрегату досягає вагомих показників (2,4м). Своєрідна геометрія робочих

					ПНЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

органів, в якій практично відсутнє крило полиці, дозволяє проводити оранку на підвищених швидкостях (до 10 км/год). Водночас такий контур корпусу запобігає надмірному відкиданню ґрунтового пласта вбік.

Варто підкреслити, що суттєвий винос лемішного долота вперед сприяє утворенню гребенистого дна борозни, що поліпшує утримання вологи в орному горизонті. Крім того, таке розташування долота дозволяє ефективно руйнувати плужну підосху. Завдяки встановленню кутознімів на корпусах компенсується відсутність передплужників, хоча використання останніх гарантувало б вищу якість обробітку. Серед конструктивних недоліків слід виділити опорне колесо з гумовою шиною, яка може розбортуватися або зазнати проколу під дією високих осьових навантажень. За заявою виробника, плуг забезпечує глибину оранки 350 мм .

Свою розробку аграріям представив і інший місцевий виробник – ТОВ АК «ФАВОРИТ». Йдеться про швидкісний плуг ПШК-4 із серії плугів ПШК (рис. 2.5)



Рис. 2.5. Плуг ПШК-4

Він дуже схожий з плугом розглянутим вище, має подібні техніко-експлуатаційні характеристики. Головна перевага та унікальність плугів ПШК зумовлена специфікою їхнього робочого органу. Його конструкція вдало поєднує в собі функціональні можливості чизельного, а також культурного і гвинтового плужних корпусів. Глибина оранки – до 30 см .

					ПНЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

В продажу можна бачити модульний універсальний 4-корпусний плуг ПМУ-4-35 виробництва заводу «Полігон» (м. Одеса) (рис. 2.6).



Рис. 2.6. Плуг ПМУ-4-35.

Основу конструкції становить суцільнотягнута квадратна труба профілем 120x120x8 мм із низьколегованої сталі марки 09Г2С. Таке рішення гарантує високий запас міцності навіть під час обробітку надто твердих або пересушених ґрунтів. Для захисту від механічних пошкоджень у разі наїзду на приховані перешкоди робочі органи оснащені зрізними болтами діаметром 20 мм. Усі елементи корпусів виготовлені з високоміцних сталей та пройшли повний цикл термічної обробки, що суттєво підвищує їхній експлуатаційний ресурс. Активно висунуте вперед долото леміша сприяє стабільності роботи плуга. Глибина оранки – 18-30 см при ширині захвату одного корпусу – 35 см. Сумарна ширина захвату плуга – 140см є замалою для такої конструкції.

Ще одним виробом українського виробництва, чия матеріально-технічна база розташована в м. Шепетівка, є плуг Bomet ПН 430 (рис. 2.7).

Даний агрегат спроможний виконувати обробіток ґрунту на глибину до 30–35см. Проте навіть первинний аналіз його будови вказує на низку конструктивних недоліків, що стосуються параметрів корпусів. Зокрема, ширина захвату одного корпусу дорівнює лише 30см, а загальний показник для всього чотирьокорпусного плуга становить 120см, чого явно замало для ефективної роботи.

					ПНЯ 00.000 ПЗ		Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			13



Рис. 2.7. Плуг Bomet ПН 430.

Сумніви викликає і циліндрична лемішно-полицева поверхня корпусів, яка може виявитися малоефективною на важких типах ґрунтів. Окремі зауваження стосуються надійності навісної системи: відсутність бічних стояків для фіксації кронштейна під розкос створює ризики під час експлуатації. Окрім цього, заявлене виробником регулювання ширини захвату лише для переднього корпусу викликає логічне запитання щодо доцільності такої обмеженої опції. Водночас позитивним рішенням є використання опорного колеса з металевим ободом, що дозволяє виготовляти його на власному.

На вітчизняних полях активно експлуатуються плуги серії Master від французької компанії Kuhn (рис. 2.8)



Рис. 2.8. Плуг Kuhn Master 102 NSH.

Конструкція плугів Kuhn передбачає встановлення як суцільних, так і смугових полиць із шириною захвату 35см або навіть 40см. Для захисту від перевантажень корпуси оснащені зрізними болтовими запобіжниками, які

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПНЯ 00.000 ПЗ

Арк.

14

спрацьовують у разі перевищення допустимого зусилля під час наїзду лемішного долота на перешкоду.

Неабияким попитом серед аграріїв користується продукція бренда Lemken. Зокрема, оборотний плуг EurOpal 6 4 N (рис. 2.9) демонструє високу конкурентоспроможність на ринку завдяки своїй конструктивній надійності, відмінній продуктивності, бездоганній якості оранки, маневреності та низькому тяговому опору.



Рис. 2.9. Плуг EurOpal 6 4 N (Lemken).

Результати аналізу показують, що плуг ПНЯ-4-40 займає проміжну позицію між вітчизняними та імпортними машинами. Поступаючись закордонним зразком у металоємності, маневреності та гладкості оранки, він має низку незаперечних плюсів. Серед них: конструктивна простота, що гарантує довговічність, ефективний ярусний обробіток із повним перекриттям рослинних решток. І ще, що дуже важливо – бюджетна ціна.

2.4. Аналіз недоліків вузлів плуга, представлених до модернізації та пропозиції щодо їх усунення.

Спираючись на практичний досвід експлуатації плуга в умовах реальних господарств та аналіз його будови, було виявлено конструктивні вади вузлів, які потребують подальшого вдосконалення. Зокрема, під час роботи на підвищених швидкостях (9 км/год) корпус нижнього ярусу незадовільно перевертає скибу.

					ПНЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Замість відкидання у суміжну відкриту борозну, ґрунт спрямовується на пласт, укладений попереднім корпусом. Це призводить до надмірної гребнистості зораного поля, а також суттєво погіршує якість загортання бур'янів і пожнивних решток.

На основі аналізу виявлених недоліків було розроблено рекомендації щодо їхнього усунення. Зокрема, пропонується застосувати конструкцію корпусу нижнього ярусу з модернізованою робочою поверхнею культурного типу. Це технічне рішення дозволить підвищити робочу швидкість орного агрегату до 9 км/год без зниження якості обробітку ґрунту.

Висновок по розділу. За результатами аналізу конструкції плуга ПНЯ-4-40 та існуючих аналогів встановлено, що машина має достатньо високі технологічні показники, проте корпус нижнього ярусу потребує вдосконалення. Запропонована модернізація робочої поверхні корпусу дозволить підвищити якість обертання скиби, покращити загортання рослинних решток і забезпечити ефективну роботу агрегату на підвищених швидкостях.

					ПНЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

3. Конструкторська частина.

3.1. Технологічний розрахунок.

3.1.1. Обчислення конструктивних характеристик плуга.

Процес визначення ключових параметрів плуга передбачає розрахунок його оптимальної ширини захвату, а також обґрунтування раціонального розміщення робочих органів і допоміжних елементів конструкції [2,4,10,15,17,18].

Ширину захвату визначаємо

$$B = n \cdot b_k \quad (3.1)$$

де n - число корпусів;

$b_k = 0,4\text{ м}$ - ширина захват корпусу,

Звідси

$$B = 4 \cdot 0,4 = 1,6\text{ м}$$

Щоб забезпечити роздільний рух скиб, що сходять із робочих лемішно-полицевих поверхонь корпусів верхнього та нижнього ярусів, а також запобігти їхньому забиванню, необхідно встановити оптимальну відстань між носками лемішів. Надмірне збільшення цього параметра є недоцільним, оскільки воно призведе до необґрунтованого зростання габаритів і металоємності плуга.

Крім того, задля безперешкодного проходження та загортання скиби ґрунту під рамою під час прокладання першої борозни, слід обґрунтувати висоту її просвіту над опорною поверхнею лемішів.

$$H = b + \frac{2a}{3} = 0,40 + \frac{2 \cdot 0,35}{3} = 0,63\text{ м} \quad (3.2)$$

де $a = 0,35\text{ м}$ - глибина оранки.

Обираємо $H = 0,7\text{ м}$

3.1.2. Дослідження силових факторів, що діють на корпус плуга

Унаслідок суттєвої неоднорідності фізико-механічних характеристик ґрунтового масиву в зоні взаємодії з робочим органом, на його контактних поверхнях виникають знакозмінні нормальні та дотичні навантаження. З огляду

					ПНЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

на те, що ці зусилля діють у різних площинах, їх неможливо звести до єдиного вектору рівнодіючої. Тому для їхньої ідентифікації застосовують метод просторового динамометрування (без монтування польової дошки), який дозволяє зафіксувати компоненти сил у трьох взаємно перпендикулярних напрямках: горизонтальному - R_x , вертикальному R_z та перпендикулярному R_y до вектору швидкості агрегату (рис. 3.1) [2,15,18].

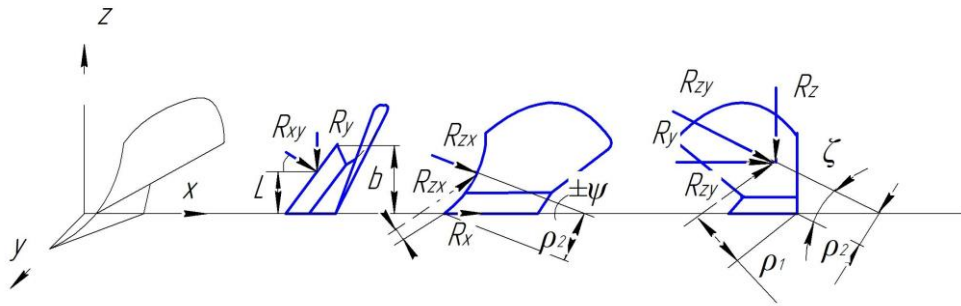


Рис. 3.1. Силowe навантаження корпусу.

У горизонтальній проекції на конструкцію корпусу діє сумарна сила R_{xy} , вектор якої спрямований під кутом $\delta_1 = 15...25^\circ$ до лінії переміщення агрегату (рис. 3.1).

Координати точки прикладання цього зусилля розраховуються за визначаються таким чином

$$\delta = 0,4 \cdot b = 0,4 \cdot 0,4 = 0,160 \text{ м} \quad (3.3)$$

Складову сили R_{xy} уздовж осі x обчислимо

$$R_x = \eta \cdot \kappa \cdot a \cdot v \quad (3.4)$$

де $\eta = 0,77$ - ККД плуга;

$\kappa = 5,18 \cdot 10^4 \text{ Н / м}^2$ - питомий опір ґрунту.

Тоді

$$R_x = 0,77 \cdot 5,18 \cdot 10^4 \cdot 0,35 \cdot 0,40 = 5584,0 \text{ Н}$$

Реакція R_y матиме значення

$$R_y = R_x / 3 = 5584,0 / 3 = 1861,3 \text{ Н} \quad (3.5)$$

Сумарна реакція

$$R_{xy} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{5584,0^2 + 1861,3^2} = 5886,0H \quad (3.6)$$

У вертикальній проекції Z_{ox} на робочий орган діє зусилля R_{zx} , вектор якого спрямований під кутом ψ до лінії переміщення агрегату. Величина цього кута варіюється в діапазоні $+18^\circ \dots -23^\circ$ і обумовлюється станом різальної кромки леміша, глибиною ходу корпусу, а також фізико-механічними характеристиками оброблюваного ґрунтового середовища [2,15,18].

Для подальших розрахунків приймаємо $\psi = \pm 13^\circ$.

З огляду на це припущення, одержуємо

$$R_z = R_x \cdot \operatorname{tg} \psi = \pm 5584,0 \cdot 0,2309 = 1289,3H \quad (3.7)$$

Плече дії сили R_x відносно носка леміша розраховується за формулою

$$\rho = \frac{1}{2} \cdot a = \frac{0,35}{2} = 0,175m \text{ - за умови додатного значення кута } \psi;$$

$$\rho_2 = \frac{1}{3} \cdot a = \frac{0,35}{3} = 0,117m \text{ за умови від'ємного значення кута } \psi;$$

Робочий процес у поперечній площині ZOY супроводжується дією сили R_{zy} , розташованої під кутом ξ до вектору сили R_y .

Значення тангенса цього кута дорівнює

$$\operatorname{tg} \xi = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \psi} = \frac{\operatorname{tg} 19^\circ}{\operatorname{tg} 13^\circ} = \frac{0,3443}{0,2309} = 1,491 \quad (3.8)$$

Величина сили R_{zy} визначається як геометрична (векторна) сума складових сил R_z та R_y .

$$R_{zy} = R_x \sqrt{\operatorname{tg}^2 \delta + \operatorname{tg}^2 \psi} = 5584,0 \cdot \sqrt{\operatorname{tg}^2 19^\circ + \operatorname{tg}^2 13^\circ} = 2413,8H \quad (3.9)$$

Плече ρ дії сили R_{zx} відносно носка леза леміша розраховується за формулою

$$\rho_1 = \frac{1}{2} \cdot a = \frac{0,35}{2} = 0,175m \text{ - за умови додатного значення кута } \xi;$$

$$\rho_2 = \frac{3}{4} \cdot a = \frac{3 \cdot 0,35}{4} = 0,26m \text{ - за умови від'ємного значення кута } \xi.$$

3.1.3. Вибір параметрів польової дошки

Основним призначенням польової дошки є забезпечення стійкості ходу плуга під час здійснення технологічного процесу. Сприймаючи боковий тиск ґрунтового середовища, цей конструктивний елемент одночасно захищає стійку корпусу від руйнівної дії згинальних і крутних моментів.

Задля повноцінної реалізації цієї функції конструкція польової дошки повинна мати обґрунтовані геометричні параметри – довжину та ширину.

Під час розрахунку довжини польової дошки враховують силове навантаження на корпус і напрямок вектору сили R (рис. 3.2).

На основі теореми синусів одержуємо таку залежність [2,15,18]

$$\frac{AC}{\sin(90^\circ + \varphi)} = \frac{AD}{\sin(90^\circ - (\varphi + \gamma_0))} \quad (3.10)$$

або

$$\frac{AC}{AD} = \frac{\sin(90^\circ + \varphi)}{\sin(90^\circ - (\varphi + \gamma_0))}, \quad (3.11)$$

де $\varphi = 28^\circ$ - кут зовнішнього тертя ґрунтового середовища по сталі леміша [8,11];

$\gamma_0 = 42^\circ$ - кут встановлення поверхні леза леміша відносно стінки борозни [8,11].

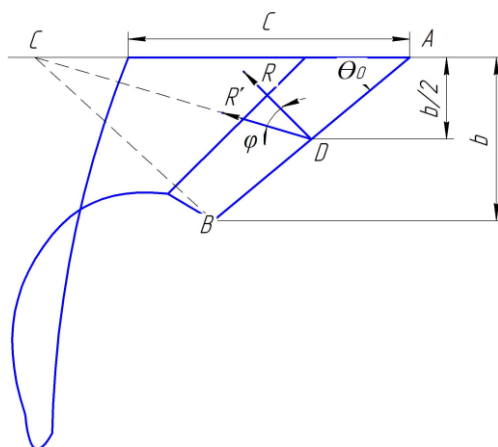


Рис. 3.2. Розрахункова схема.

Підставивши в рівняння (3.11) значення $AC = 1$ і $AD = \frac{b}{2 \cdot \sin \gamma_0}$ маємо

$$\lambda = \frac{b \cdot \cos \varphi}{2 \cdot \sin \gamma_0 \cdot \cos(\varphi + \gamma_0)} \quad (3.12)$$

де λ - відстань між носком леміша та заднім краєм польової дошки, м.

Маємо

$$\ell = \frac{0,40 \cdot \cos 28^\circ}{2 \cdot \sin 42^\circ \cdot \cos(28^\circ + 42^\circ)} = 0,77 \text{ м}$$

Проте дійсна довжина польової дошки λ_ϕ може бути дещо меншою за теоретично обчислену, оскільки її монтаж здійснюється із певним зміщенням назад відносно носка леміша. За рекомендаціями заводу-виробника, цей параметр дорівнює $\lambda_\phi = 0,34 \text{ м}$.

Що стосується ширини польової дошки, то її розрахунок базується на гранично допустимому питомому тиску її вільної частини на вертикальну стінку борозни. Необхідно вказати, що при складанні корпусу дошку монтують під деяким кутом до стінки борозни (рис. 3.3), внаслідок чого фактичний контакт відбувається через її п'ятку.

Значення кутів $\Delta 1$ і $\Delta 2$ є маловимірними й перебувають у діапазоні $2-3^\circ$. При цьому гранично допустима глибина деформації (зминання) ґрунтового масиву на стінці борозни, що спричиняється тиском кромки польової дошки, обмежується величиною $5...10 \text{ мм}$.

Кількісний показник цього тиску на стінку борозни розраховується за залежністю [2,15,18]

$$q = \frac{q_0 \cdot h}{2} \quad (3.13)$$

де $q_0 = 1,3 \cdot 10^4 \text{ Н / м}^3$ - коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту [2,15,18];

$h = 0,013 \text{ м}$ — значення глибини вдавлювання крайньої частини польової дошки.

Тоді

$$q = \frac{1,3 \cdot 10^4 \cdot 0,013}{2} = 84,2 \text{ Н / м}^2$$

Розклавши рівнодіючу на складові і отримаємо

Якщо розкласти сумарне зусилля R на складові сили R_1 і R_2 , то матимемо

					ПНЯ 00.000 ПЗ		Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			21

$$R_2 = R \cdot \cos(\gamma_0 + \varphi) \quad (3.14)$$

Запишемо її значення як добуток питомого тиску q на площу зминання ґрунту

$$R_2 = \frac{n_n \cdot l \cdot q_0 \cdot h}{2} \quad (3.15)$$

де n_n - ширина польової дошки, м;

l - довжина краю польової дошки втиснутого в ґрунт, м;

$$l = \frac{h}{\sin \Delta 2,4^0} = \frac{0,013}{\sin 2,4^0} = 0,31 \text{ м} \quad (3.16)$$

Розв'язавши вираз 3.15 відносно n , отримаємо

$$n = \frac{2 \cdot R_2 \cdot \sin \Delta 2}{q_0 \cdot h^2} = \frac{2 \cdot 1861,3 \cdot \sin 2,4^0}{1,3 \cdot 10^4 \cdot 0,013^2} = 0,138 \text{ м} \quad (3.17)$$

Призначаємо значення ширини польової дошки $h = 0,14 \text{ м}$.

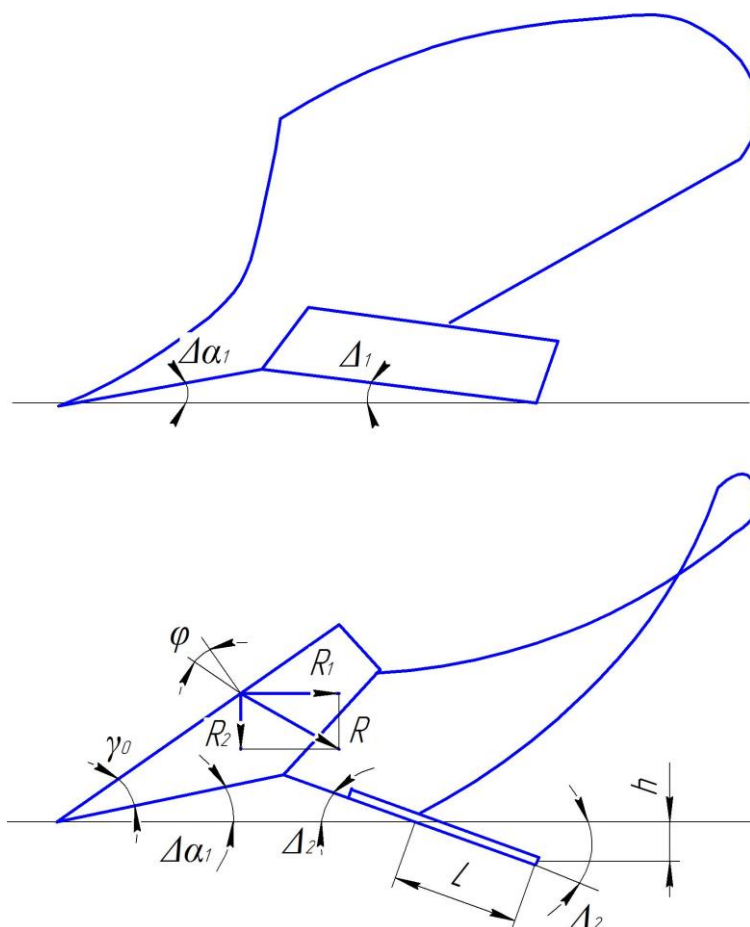


Рис. 3.3. Установка польової дошки

3.1.4. Вибір основних параметрів леміша

Під час виконання технологічного процесу леміш здійснює підрізання ґрунтового пласта в горизонтальній площині, піднімає його та спрямовує на робочу поверхню полиці. Енергоємність та якісні показники оранки безпосередньо зумовлені правильним підбором геометричних параметрів леміша та рівнем його технічної підготовки. На цей робочий орган припадає близько 40% енергетичних витрат, що еквівалентно 50...60% від сумарного тягового опору всього плужного агрегату [2,15,17,18].

У випадку, коли різальна кромка леміша орієнтована перпендикулярно до вектору швидкості його руху, графічну схему його геометрії можна представити так (рис. 3.4).

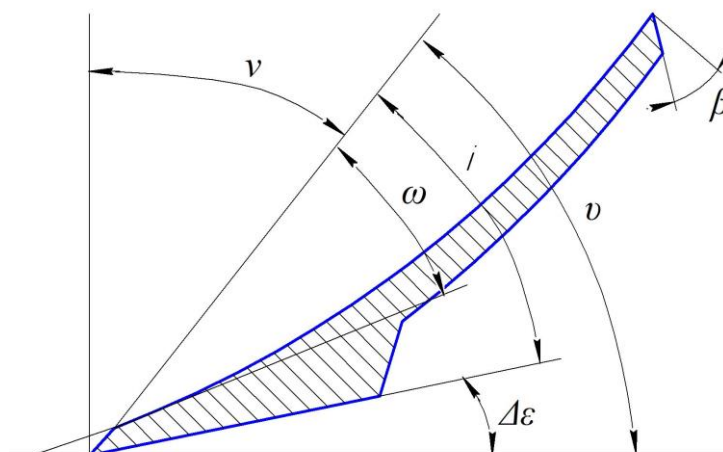


Рис. 3.4 Геометрія леміша.

Значення заднього кута $\Delta\epsilon$

$$5^{\circ} \leq \Delta\epsilon \leq 10^{\circ}$$

Призначаємо $\Delta\epsilon = 7,3^{\circ}$

Від кута загострення i леза залежать якісні характеристики процесу різання ґрунту та рівень тягового опору робочого органу. Найвища ефективність роботи леміша забезпечується за умови, що даний кут становить $25 \leq i \leq 35^{\circ}$ [2,15,17,18]. Обираємо базове значення $i = 28^{\circ}$. Решта геометричних характеристик представлена нижче

Кут різання $\vartheta = i + \Delta\varepsilon = 28^\circ + 7,3^\circ = 35,3^\circ$;

Передній кут $\nu = \frac{\pi}{2} - \vartheta = 90^\circ - 35,3^\circ = 54,7^\circ$

Кут β призначаємо $\beta = 10^\circ$.

3.1.5. Розрахунок лемішно-полицевої поверхні корпусу нижнього ярусу

Вихідні дані:

- кут установки леза лемеша до стінки борозни - $\gamma_0 = 42^\circ$;
- мінімальний кут установки твірної до стінки борозни - $\gamma_{\min} = 38^\circ$;
- максимальний кут установки твірної до стінки борозни - $\gamma_{\max} = 45^\circ$;
- кут нахилу лемеша до дна борозни - $\varepsilon = 27^\circ$;
- ширина лемісної сталі – $t = 127 \text{ мм}$;
- тип поверхні – культурний.

Коефіцієнт обертання скиби

$$K = \frac{b}{a} = \frac{40}{35} = 1,14 \quad (3.18)$$

Параметри нижнього обрізу леміша, що розглядаються як його проєкція на поперечно-вертикальну площину, безпосередньо залежать від конструктивної ширини захвату корпусу і становлять [2,15,18]

$$b_k = b + \Delta b = 40 + 2,5 = 42,5 \text{ мм} \quad (3.19)$$

де $\Delta b = 2,0 - 3,0 \text{ см}$ – значення перекриття корпусів;

Верхній обріз формується плавною кривою, найвища точка якої визначається значенням $H_{\max}$.

$$H_{\max} = \sqrt{a^2 + b^2} \pm \Delta H \quad (3.20)$$

де $\Delta H = 0,0 - 2,0 \text{ см}$ – береться з від'ємним значенням для лемішно-полицевої поверхні при $a \geq 16 \text{ см}$.

Тоді

$$H_{\max} = \sqrt{35^2 + 40^2} = 53,2 \text{ см}$$

Приймаємо $H_{\max} = 55,0 \text{ см}$

Польовий обріз робочої поверхні визначається положенням похилої прямої $P-A$, де A – носок лемеша, P – верхня точка обрізу (див. арк. ПНЯ 10.000 С2), яка відхилена від стінки борозни на $5-10 \text{ мм}$ $5...10 \text{ мм}$ і на висоті $H = b$.

Визначаємо радіус напрямної кривої [2,15,18]

$$R_{\min} \leq R \leq R_{\max}$$

$$R_{\min} = \frac{b}{\left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon\right) \cdot \cos \gamma_0} = \frac{40}{(1,57 - 0,47) \cdot 0,7431} = 48,9 \text{ см} \quad (3.21)$$

$$R_{\max} = \frac{b\sqrt{K^2 - 1}}{K^2 (\cos \varepsilon - \cos \theta)} \quad (3.22)$$

де кут θ визначається виразом

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\sqrt{K^2 - 1}}{\cos \gamma_0} = \frac{\sqrt{1,14^2 - 1}}{0,7431} = 0,7366 \quad (3.23)$$

Тоді

$$\theta = \operatorname{arctg} \theta = \operatorname{arctg} 0,737 = 36^{\circ} 22'$$

З урахуванням попереднього

$$R_{\max} = \frac{40\sqrt{1,14^2 - 1}}{1,14^2 (\cos 27^{\circ} - \cos 36^{\circ} 22')} = 148,7 \text{ см}$$

Радіус кола знаходиться в межах

$$R_{\min} \leq R \leq R_{\max}.$$

Приймаємо $R = 55 \text{ см}$.

Щоб покращити якість обертання скиби, значення кута $\Delta \varepsilon$ дуги збільшують. Для культурної лемішно-полицевої поверхні цей приріст дорівнює - $\Delta \varepsilon = 5-8^{\circ}$.

Задаємося значенням ширини плоскої складової лемеша. При $a > 25 \text{ см}$ - $S = 60 \text{ мм}$. Після цього побудуємо параболічну напрямну криву [2,15,18].

Розраховуємо параметри направляючої кривої: виліт кривої L і висоту h

$$L \geq R(1 - \sin \varepsilon_0) \geq 55(1 - \sin 27^{\circ}) \approx 32 \text{ см} \quad (3.24)$$

$$h \geq R \cdot \cos \varepsilon_0 \geq 55 \cdot \cos 27^{\circ} \approx 50 \text{ см} \quad (3.25)$$

					ПНЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Обчислюємо проміжні значення кута γ_0 .

Залежно від обраного типу поверхні (культурна) встановлюємо закономірність розподілу різниці кутів $\gamma - \gamma_{\min} = \Delta\gamma = f(z)$ (рис. 3.5). Для поверхонь культурного типу це аналітичне співвідношення має вигляд

$$y = \frac{6,2 \cdot x^2}{x^2 + 100} \quad (3.26)$$

Причому, координати $x = z - z_1$ і $y = \gamma - \gamma_{\min}$ відносно до вершини параболи в точці b .

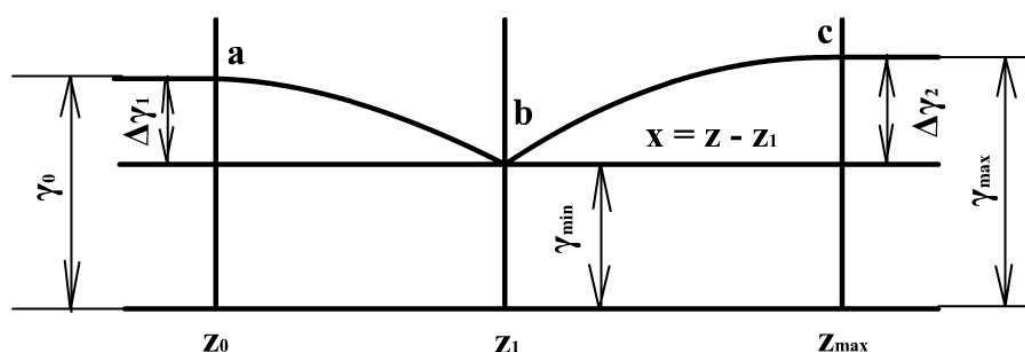


Рис. 3.5. Закономірність зміни кутів γ

При побудові рекомендується спочатку нанести твірну з мінімальним нахилом до стінки борозни, тобто, розміщену під кутом $\gamma_{\min}$. Ця твірна розміщується на висоті $z_1 = 5-10\text{см}$ від дна борозни.

Для вітки ab значення $x = z - z_1$ буде від'ємним. Значення $x_0 = z_0 - z_1 = 0$, $-z_1 = -7,5\text{см}$ – відповідає дну борозни.

Значення $x_{\max} = z_{\max} - z_1 = H_{\max} - z_1 = 55 - 7,5 = 47,5\text{см}$ – відповідає самому високому положенню твірної прямої.

Для визначення кута γ , що відповідає значенню x , знайдемо масштаб для вітки ab [2,15,18].

$$\lambda_1 = \frac{\gamma_0 - \gamma_{\min}}{y_0} = \frac{42^\circ - 38^\circ}{2,23 \text{ см}} = 1,79 \frac{\text{град}}{\text{см}} \quad (3.27)$$

$$y_0 = \frac{6,2 \cdot x_0^2}{x_0^2 + 100} = \frac{6,2 \cdot (-7,5)^2}{(-7,5)^2 + 100} = 2,23 \text{ см} \quad (3.28)$$

- для вітки bc

$$\lambda_2 = \frac{\gamma_{\max} - \gamma_{\min}}{y_{\max}} = \frac{45^0 - 38^0}{5,93 \text{ см}} = 1,18 \frac{\text{град}}{\text{см}} \quad (3.29)$$

$$y_{\max} = \frac{6,2 \cdot x_{\max}^2}{x_{\max}^2 + 100} = \frac{6,2 \cdot 47,5^2}{47,5^2 + 100} = 5,93 \text{ см} \quad (3.30)$$

Визначивши γ можемо обчислити значення γ для твірної, розміщеної на будь-якій висоті. Проміжні значення кутів γ для вітки ab зведемо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1.

Проміжні значення кутів γ для вітки bc

z, см	0	2,5	5,0	7,5
$x = z - z_1, \text{ см}$	-7,5	-5,0	-2,5	0
$y = \frac{6,2 \cdot x^2}{x^2 + 100}, \text{ см}$	2,23	1,24	0,36	0
$\Delta\gamma^0 = \lambda_1 \cdot y$	2,0 ⁰	1,1 ⁰	0,32 ⁰	0,00 ⁰
$\Delta\gamma$	2 ⁰ ,0'	1 ⁰ ,6'	0 ⁰ 19'	0 ⁰ 00'
$\gamma^0 = \gamma_{\min}^0 + \Delta\gamma$	40 ⁰	39 ⁰ ,6'	38 ⁰ 19'	38 ⁰ 00'

Проміжні значення кутів γ для вітки bc зводимо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2.

Проміжні значення кутів γ для вітки bc

z, см	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5
$x = z - z_1, \text{ см}$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$y = \frac{6,2 \cdot x^2}{x^2 + 100}, \text{ см}$	0	1,24	3,1	4,29	4,96	5,34	5,5	5,73	5,83	6,00
$\Delta\gamma^0 = \lambda_1 \cdot y$	0,00 ⁰	1,46 ⁰	3,66 ⁰	5,06 ⁰	5,85 ⁰	6,30 ⁰	6,5 ⁰	6,76 ⁰	6,76 ⁰	7,0 ⁰
$\Delta\gamma$	0 ⁰ 00'	1 ⁰ 27'	3 ⁰ 40'	5 ⁰ 04'	5 ⁰ 51'	6 ⁰ 18'	6 ⁰ 30'	6 ⁰ 45'	6 ⁰ 53'	7 ⁰ 00'
$\gamma^0 = \gamma_{\min}^0 + \Delta\gamma$	38 ⁰	39 ⁰ 27'	41 ⁰ 40'	43 ⁰ 04'	43 ⁰ 51'	44 ⁰ 18'	44 ⁰ 30'	45 ⁰ 45'	44 ⁰ 53'	45 ⁰ 00'

На основі сформованого лобового контуру і горизонтальної проєкції лемішно-полицевої поверхні виконується побудова технологічних шаблонів та розгортки самої полиці [2,15,18].

3.2. Енергетичні розрахунки

3.2.1. Розрахунок тягового опору плуга

Силові фактори опору, які супроводжують процес взаємодії робочих органів із ґрунтом, класифікують на корисні та шкідливі (пасивні). До першої категорії відносять зусилля, що витрачаються безпосередньо на деформацію, кришіння та руйнування ґрунтового середовища. Ця складова характеризується динамічною нестабільністю і зумовлена комплексом чинників: фізико-механічними характеристиками ґрунту, глибиною оранки, шириною захвату, геометрією і станом робочих поверхонь, фрикційними властивостями конструкційних матеріалів, а також кінематичною швидкістю руху агрегату.

Математичне обґрунтування та розрахунок сумарного тягового опору плугів виконується за відомою формулою [2,15,18].

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (3.31)$$

Перша складова наведеного рівняння відображає постійний (пасивний) опір P_1 , який виникає під час переміщення агрегату в борозні:

$$P_1 = f \cdot G \quad (3.32)$$

де $f = 0,12$ - коефіцієнт опору переміщенню плуга для сухої жнивини;

$G = 1050 \text{ кг}$ - маса плуга.

Другий доданок у рівнянні відображає частку корисного опору, зумовлену безпосередньо деформацією ґрунтового пласта. Числове значення цього параметра прямо пропорційне площі поперечного перерізу скиби, що обробляється.

$$P_2 = k \cdot a \cdot b \quad (3.33)$$

де $k = 5,18 \cdot 10^4 \text{ Н / м}^2$ – питомий опір ґрунту;

Третій доданок наведеного рівняння враховує динамічний опір, пов'язаний із наданням кінетичної енергії ґрунтовому пласту під час його відкидання та зміщення у бік борозни

$$P_3 = \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot v^2 \quad (3.34)$$

де $\varepsilon = 1500 \frac{H \cdot c^2}{M^4}$ - коефіцієнт, величина якого зумовлена геометрією робочої поверхні відвала та фізико-механічними властивостями ґрунтового середовища [2,15,18].

Тоді, маємо

$$P = f \cdot G + k \cdot a \cdot b + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot v^2 \quad (3.35)$$

Після підстановки у вищезазначену залежність відповідних вихідних даних, знаходимо сумарний тяговий опір модернізованого плуга.

$$P = 0,12 \cdot 10500 + 4(5,18 \cdot 10^4 \cdot 0,35 \cdot 0,40 + 1500 \cdot 0,35 \cdot 0,40 \cdot 2,36^2) = 32946,4H$$

3.2.2. Вибір трактора

На основі розрахованого тягового опору плуга здійснюється підбір енергетичного засобу. Зважаючи на те, що технологічна швидкість руху агрегату дорівнює $8,5 \text{ км/год}$, а сумарний опір плуга становить $P = 32,9 \text{ кН}$, для агрегування обираємо колісний трактор $T-150K$. Його тягове зусилля на гаку під час роботи на першій передачі складає $P_T = 35,0 \text{ кН}$.

При цьому коефіцієнт використання тягової потужності трактора на обраному режимі роботи (передачі) дорівнює

$$\mu_T = \frac{P}{P_T} \geq 0,8 \quad (3.36)$$

У нашому випадку

$$\mu_T = \frac{30,9}{35,0} = 0,88 > 0,8$$

Отже, підбір енергетичного засобу здійснено правильно, а його потенційні тягові характеристики використовуються з максимальною ефективністю.

3.2.3. Розрахунок агрегату на повздовжню стійкість

Критерієм оцінювання поздовжньої стабільності колісних тракторних агрегатів слугує відповідний коефіцієнт запасу стійкості x_n . Коли його величина сягає $x_n \leq 0,4$, це свідчить про гарантовано стабільне просторове положення динамічної системи. Навпаки, збільшення показника до рівня

$x_n > 0,4$ призводить до критичного й раптового порушення рівноваги агрегату [2,15,18].

Коефіцієнт x_n обчислюють

$$x_n = \frac{G_n \cdot a_n}{G \cdot a} \quad (3.37)$$

де $G_n = 10,50 \text{ кН}$ - маса плуга;

$a_n = 1,9 \text{ м}$ - положення центра ваги плуга по поздовжній осі;

$G = 81,0 \text{ кН}$ - маса трактора;

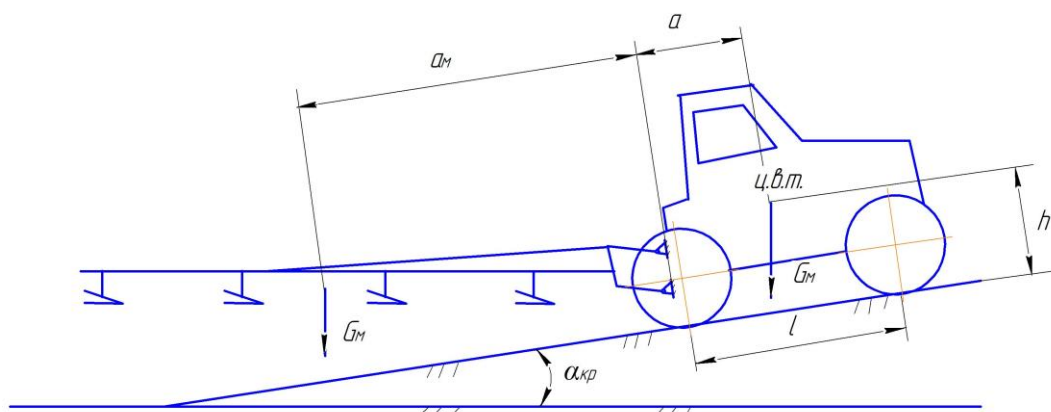


Рис. 3.6. Розрахункова схема агрегату

$a = 1,8 \text{ м}$ - повздовжня координата центру мас трактора по відношенню до ведучих коліс, м. (рис. 3.6)

Тоді

$$x_n = \frac{10,5 \cdot 1,9}{81,0 \cdot 1,8} = 0,13 < [0,4]$$

Бачимо, що стійкість агрегату забезпечується.

Критичний кут схилю, за якого працюватиме агрегат без перевертання визначиться.

$$tq\alpha_{кр} = \left(\frac{tq\alpha_{гран} \cdot (1 - X_n)}{1 + \delta_n} \right) - f \quad (3.38)$$

$$\text{де } tq\alpha_{гран} = \frac{a}{h} = \frac{1,8}{1,05} = 1,71$$

$h = 1,05 \text{ м}$ - вертикальна координата центру мас трактора;

$f = 0,13$ - коефіцієнт перекочування коліс;

$$\delta_n = \frac{G_m}{G} = \frac{10,5}{81} = 0,13$$

Тоді,

$$\operatorname{tg} \alpha_{кр} = \left(\frac{1,71(1-0,13)}{1+0,13} \right) - 0,13 = 1,18$$

Звідси

$$\alpha_{кр} = \arctan 1,186 = 49^{\circ}52'$$

Таким чином, граничний кут крутизни схилу, на якому теоретично можлива робота агрегату за умови повної відсутності буксування тракторних коліс, становить $\alpha_{кр} = 49^{\circ}52'$.

3.3. Розрахунок деталей на міцність

3.3.1. Розрахунок стояка корпусу.

У горизонтальній площині на модернізований корпус плуга впливає рівнодіюча сила R_{xy} . Вона перетинає різальну кромку лемеша в точці, віддаленій від польового обрізу на відстань $0,4b$, і утворює з лінією лемеша кут λ (рис. 3.7) [2,15,18].

$$\lambda = 90^{\circ} - (\gamma_0 + \varphi) \quad (3.39)$$

де $\gamma_0 = 42^{\circ}$ - кут, під яким встановлено леміш до стінки борозни;

$\varphi = 28^{\circ}$ - кут зовнішнього тертя ґрунтового середовища по сталі леміша [2,15,18].

Тоді

$$\lambda = 90^{\circ} - (42^{\circ} + 28^{\circ}) = 20^{\circ}$$

Відповідно до розрахункової схеми сил (рис. 3.7), небезпечний переріз $A-A$ розташований на віддалі H від місця прикладання рівнодіючої сили R_{zx} .

$$H = h - \frac{a}{3} = 0,7 - \frac{0,35}{3} = 0,58_m \quad (3.40)$$

де $h = 0,7_m$ - висота стояка.

					ПНЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Оскільки сила діє під кутом $(\gamma_0 + \varphi)$ до головних осей інерції перерізу, стояк зазнає косого згину.

Через це в його критичному перерізі виникатимуть як згинальні, так і крутний моменти [2,6,14,15,18].

Зважаючи на те, що вектор сили R_{xy} спрямований під кутом $(\gamma_0 + \varphi)$ до головних осей інерції, стійка корпусу піддається косому згину. Внаслідок цього в її небезпечному перерізі $A-A$ одночасно виникають як згинальні, так і крутильний моменти [2,6,14,15,18].

$$M_x = R_{xy} \cdot \sin(\gamma_0 + \varphi) \cdot H \quad (3.41)$$

$$M_y = R_{xy} \cdot \cos(\gamma_0 + \varphi) \cdot H \quad (3.42)$$

Крутний момент від сили R_y

$$M_k = R_{xy} \cdot \cos(\gamma_0 + \varphi) \cdot \lambda_y \quad (3.43)$$

де $\lambda_y = 0,13m$ - плече сили R_{xy} .

В зв'язку з тим, що

$$R_{xy} \cdot \sin(\gamma_0 + \varphi) = R_x \quad (3.44)$$

$$R_{xy} \cdot \cos(\gamma_0 + \varphi) = R_y \quad (3.45)$$

Тоді, моменти згину

$$M_x = R_x \cdot H = 5584,0 \cdot 0,58 = 3238,7 Hm$$

$$M_y = R_y \cdot H = 1861,3 \cdot 0,58 = 1079,6 Hm$$

Крутний момент

$$M_k = R_y \cdot l_y = 1861,3 \cdot 0,13 = 242,0 Hm$$

Нормальні напруження, зумовлені дією знайдених моментів [2,6,14,15,18].

$$\sigma_{Mx} = \frac{M_x \cdot y}{I_x} \quad (3.46)$$

$$\sigma_{My} = \frac{M_y \cdot x}{I_y} \quad (3.47)$$

де x, y – відстань від головних центральних осей до найбільш віддалених точок перерізу;

					ПНЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

I_x, I_y - моменти інерції перерізу стійки корпусу відносно його головних осей.

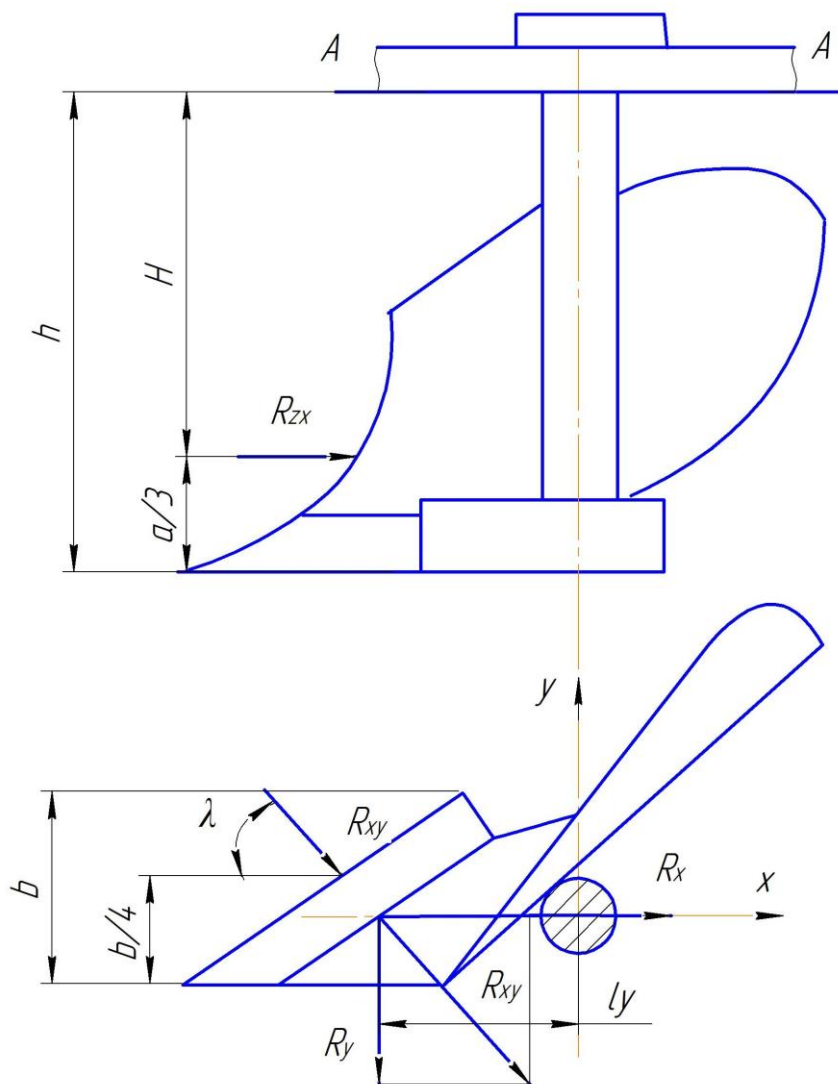


Рис. 3.7. Розрахункова схема стояка.

Призначаємо діаметр стійки $D = 0,7 \text{ м}$.

Для нього $x = y = 0,035 \text{ м}$

Відповідно [2,6,14,15,18].

$$I_x = I_y = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \quad (3.48)$$

$$I_x = I_y = \frac{3,14 \cdot 0,07^4}{64} = 1,17 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

Тоді

$$\sigma_{Mx} = \frac{3238,7 \cdot 0,035}{1,17 \cdot 10^{-6}} = 96,8 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{My} = \frac{1079,6 \cdot 0,035}{1,17 \cdot 10^{-6}} = 32,3 \text{ МПа}$$

Сумарні нормальні напруження

$$\sigma_{\text{сум}} = \sigma_{Mx} + \sigma_{My} = 96,8 + 32,3 = 129,1 \text{ МПа} \quad (3.49)$$

Дотичні напруження

$$\tau = \frac{M_{\kappa}}{W_{\kappa}}, \quad (3.50)$$

де W_{κ} – момент опору крученню для розрахункового перерізу стійки

$$W_{\kappa} = 0,1 \cdot D^3 = 0,1 \cdot 0,07^3 = 3,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Враховуючи це

$$\tau = \frac{242}{3,4 \cdot 10^{-5}} = 7,1 \text{ МПа}$$

Керуючись третьою теорією міцності, розрахуємо еквівалентні напруження [6,14].

$$\sigma_{np} = \sqrt{\sigma_{\text{сум}}^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad (3.51)$$

$$\sigma_{np} = \sqrt{129,1^2 + 4 \cdot 7,1^2} = 129,9 \text{ МПа} \quad (3.52)$$

Для виготовлення стійки корпусу запропоновано використовувати сталь 40Х згідно з ДСТУ7806:2015 [6,14]. Цей матеріал характеризується такими параметрами $[\sigma_n] = 270 \text{ МПа}$. Тобто $129,9 \text{ МПа} < 270 \text{ МПа}$.

Умова міцності виконується.

Висновок по розділу. У результаті виконання конструкторських та розрахункових робіт обґрунтовано основні параметри модернізованого корпусу нижнього ярусу плуга ПНЯ-4-40. Проведено розрахунок геометричних характеристик, силових навантажень, параметрів польової дошки та леміша, а також визначено тяговий опір агрегату. Виконані перевірки підтвердили достатню міцність стояка корпусу, стійкість машинно-тракторного агрегату та працездатність запропонованої конструкції в експлуатаційних умовах.

4. Висновки.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі виконано аналіз конструкції ярусного плуга ПНЯ-4-40, досліджено особливості його роботи та визначено основні фактори, які впливають на якість виконання технологічного процесу оранки. Проведений огляд вітчизняних і зарубіжних аналогів показав, що існуюча конструкція плуга має достатньо високі експлуатаційні показники, проте корпус нижнього ярусу потребує вдосконалення для забезпечення якісного обертання скиби на підвищених робочих швидкостях.

На підставі аналізу виявлених недоліків запропоновано модернізацію плуга шляхом розроблення корпусу нижнього ярусу з удосконаленою лемішно-полицевою поверхнею культурного типу. Запропоноване технічне рішення спрямоване на покращення процесу перевертання ґрунтового пласта, підвищення якості загортання рослинних решток та зменшення гребнистості поверхні поля після оранки.

У конструкторській частині роботи виконано розрахунок основних геометричних параметрів корпусу, визначено силові навантаження, обґрунтовано параметри польової дошки та леміша, а також побудовано лемішно-полицеву поверхню модернізованого робочого органу. Проведені енергетичні розрахунки дали змогу визначити тяговий опір плуга та підтвердили правильність вибору трактора для роботи з модернізованим агрегатом.

Розрахунки на міцність показали, що елементи конструкції мають достатній запас надійності та відповідають вимогам безпечної експлуатації. Отримані результати свідчать про технічну доцільність запропонованої модернізації та можливість її практичного впровадження. Використання удосконаленого корпусу нижнього ярусу сприятиме підвищенню ефективності виконання оранки, покращенню якості обробітку ґрунту та раціональнішому використанню енергетичних ресурсів.

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. Машини для обробітку ґрунту. Харків : ПромАрт, 2019. 436 с.
3. Березуцький В. В. Охорона праці : навчальний посібник. Харків : Факт, 2021. 480 с.
4. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник. Київ : Вища освіта, 2004. 544 с.
5. Глибокий обробіток ґрунту: плюси та мінуси. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/10599-hlybokyi-obrobitok-gruntu-pliusy-ta-minusy.html>.
6. Деталі машин. Розрахунок та конструювання [Текст] : підручник / Г. В. Архангельський, М. С. Воробйов, В. С. Гапонов [та ін.]. Київ : Талком, 2014. 684 с.
7. ДСТУ ГОСТ 2.104:2006 Єдина система конструкторської документації. Основні написи (ГОСТ 2.104-2006, IDT). З Поправками (ІПС № 5-2007), (ІПС № 6-2007), (ІПС № 8-2007), (ІПС № 5-2008).
8. ДСТУ ISO 128:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення.
9. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник / В. М. Сало, С. М. Лещенко та ін. – Х.: Мачулін, 2016. – 244 с.
10. Методи проектування сільськогосподарських машин : навчально-методичний посібник до курсового проектування / Т.А. Довбуш, Н.І. Хомик, А.Д. Довбуш. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2019. 72 с.
11. Мінімальний обробіток ґрунту. URL: https://orgprints.org/id/eprint/31128/12/4465-reduced-tillage-ua_UK.pdf.

					ПНЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

<https://joiner.org.ua/ahrotekhnolohiia/osnovnyy-obrobitok-hruntu.html>.

13. Основи агрономії: Навчальний посібник / Левицька Ю.М., Шевніков М.Я., Бакума А.В. – К.: Аграрна освіта, 2008.

14. Павлище В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник / В. Т. Павлище. – К.: Вища школа, 1993. – 560 с.

15. Проектування сільськогосподарських машин. Навчальний посібник для виконання курсових проектів з розробки сільськогосподарської техніки при підготовці фахівців напряму 6.100202 «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва». Бендера І.М., Рудь А.В., Козій Я.В. та ін. / за редакцією І.М. Бендери, А.В. Рудя А.В., Я.В. Козія. – Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2011.- 640 с.

16. 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.

17. Сільськогосподарські машини : підручник / Войтюк Д.Г. та ін. К.: "Агроосвіта", 2015. 679 с.

18. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 1. Машини для рільництва / П. В. Сисолін, В.М. Сало, В. М. Кропівний. За редакцією М. І. Черновола – К.: Урожай, 2001. – 384 с.

19. Технологічні процеси, операції та системи обробітку ґрунту. URL: <https://joiner.org.ua/traktory-i-silskohospodarski-mashyny/tekhnolohichni-protsesty-operatsii-ta-systemy-obrobitku-gruntu.html>.

20. Ярусна оранка найдієвіша проти забур'яненості кукурудзи. URL: <https://agrotimes.ua/agronomiya/yarusna-oranka-najdievisha-proti-zabur-yanenosti-kukurudzi>.

Додатки

					ПНЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38