МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ТОВКАЧ МИХАЙЛО ПАВЛОВИЧ

УДК 631.51:631.312.021

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ З МОДЕРНІЗАЦІЄЮ КОНСТРУКЦІЇ ПОЛИЦЕВОГО ПЛУГА

208 “Агроінженерія”
Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних розробок. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____М. П. Товкач

Керівник роботи
Грабар І. Г.
доктор технічних наук, професор

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Товкач Михайло Павлович. Удосконалення технологічного процесу основного обробітку ґрунту з модернізацією конструкції полицевого плуга. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття першого освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 208 «Агроінженерія». – *Поліський національний університет, Житомир, 2026.*

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення технологічного процесу основного обробітку ґрунту шляхом модернізації конструкції полицевого плуга. Проведено аналіз сучасних технологій основного обробітку ґрунту, агротехнічних вимог до виконання оранки та конструкцій існуючих плугів. Визначено основні недоліки традиційних конструкцій робочих органів, які впливають на якість обробітку ґрунту, енергетичні витрати та продуктивність агрегату.

На основі проведеного аналізу запропоновано модернізовану конструкцію полицевого плуга, що забезпечує покращення процесу кришення та обертання скиби, зниження тягового опору та підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів. Виконано інженерні розрахунки модернізованої конструкції, визначено її основні параметри та проведено перевірку на міцність найбільш навантажених елементів.

Розроблено операційну технологію виконання основного обробітку ґрунту з використанням модернізованого плуга, визначено склад машинно-тракторного агрегату та його техніко-економічні показники, що підтверджує доцільність його впровадження у сільськогосподарське виробництво.

***Ключові слова**: основний обробіток ґрунту, оранка, полицевий плуг, модернізація, робочий орган, тяговий опір, машинно-тракторний агрегат, продуктивність, економічна ефективність.*

ABSTRACT

Mykhailo Tovkach. Improvement of the Technological Process of Primary Tillage through Modernization of the Moldboard Plow Design. – *Qualification Thesis Ma*nuscript.

Qualification thesis for obtaining the Bachelor's degree in Specialty 208 "Agroengineering". – *Polissia National University, Zhytomyr, 2026.*

The qualification thesis addresses the improvement of the technological process of primary tillage through modernization of the moldboard plow design. An analysis of modern primary tillage technologies, agrotechnical requirements for plowing operations, and existing plow designs was carried out.

The main shortcomings of traditional working body designs that affect soil tillage quality, energy consumption, and unit productivity were identified.

Based on the conducted analysis, a modernized moldboard plow design was proposed, providing improved soil crumbling and furrow slice inversion, reduced draft resistance, and increased efficiency of energy resource utilization.

Engineering calculations of the modernized design were performed, its main parameters were determined, and the strength of the most heavily loaded elements was verified.

An operational technology for primary tillage using the modernized plow was developed. The composition of the machine-tractor unit and its technical and economic indicators were determined, confirming the feasibility of implementing the proposed solution in agricultural production.

Keywords*: primary tillage, plowing, moldboard plow, modernization, working body, draft resistance, machine-tractor unit, productivity, economic efficiency.*

ЗМІСТ

ВСТУП

1.АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ТА КОНСТРУКЦІЙ ПОЛИЦЕВИХ ПЛУГІВ

1.1. Сучасні технології основного обробітку ґрунту……7

1.2. Агротехнічні вимоги, що ставляться до полицевих плугів……..9

1.3. Сучасні тенденції модернізації плугів та аналіз їх конструкцій…….13

Висновки до розділу 1……20

2.МОДЕРНІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇЇ ПОЛИЦЕВОГО ПЛУГА

2.1. Обґрунтування параметрів модернізованого плуга……..22

2.2. Визначення основних параметрів запропонованих робочих органів..24

2.3 Розрахунок зварних швів конструкції на міцність…….29

2.4. Розрахунок різьбового з’єднання деталей……..32

Висновки до розділу 2…….36

3. РОЗРОБКА ОПЕРАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОРАНКИ МОДЕРНІЗОВАНИМ МТА

3.1. Розробка операційно-технологічної карти…….38

3.2. Комплектування орно-комбінованого МТА……..38

3.3. Розрахунок кінематичних та організаційних показників роботи агрегату ……43

3.4. Розрахунок техніко-економічних показників…….46

Висновки до розділу 3…….51

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……..52

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……...53

ДОДАТКИ

ВСТУП

Сільське господарство є однією з провідних галузей економіки України, від ефективності функціонування якої залежить продовольча безпека держави. Одним із найважливіших елементів технології вирощування сільськогосподарських культур є основний обробіток ґрунту, який створює сприятливі умови для розвитку рослин, накопичення та збереження вологи, покращення повітряного режиму ґрунту і боротьби з бур'янами.

Основний обробіток ґрунту залишається найбільш поширеним способом підготовки поля до сівби багатьох сільськогосподарських культур. Якість виконання цього технологічного процесу значною мірою визначається технічним станом та конструктивними особливостями ґрунтообробних машин. Серед них найбільшого поширення набули полицеві плуги, які забезпечують ефективне розпушування, кришення та обертання скиби ґрунту.

Разом із тим експлуатація існуючих конструкцій полицевих плугів виявляє низку недоліків, пов'язаних із підвищеним тяговим опором, значними енерговитратами, нерівномірністю обробітку та недостатньою якістю подрібнення рослинних решток. У зв'язку з цим актуальним є пошук нових технічних рішень, спрямованих на вдосконалення конструкції полицевих плугів.

Метою кваліфікаційної роботи є удосконалення технологічного процесу основного обробітку ґрунту шляхом модернізації конструкції полицевого плуга для підвищення якості оранки та зниження енергетичних витрат.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– провести аналіз сучасних технологій основного обробітку ґрунту та конструкцій полицевих плугів;

– виконати конструктивні та інженерні розрахунки модернізованого робочого органа;

– розробити операційну технологію виконання основного обробітку ґрунту з використанням модернізованого плуга;

– визначити техніко-економічні показники роботи машинно-тракторного агрегату та оцінити ефективність запропонованого технічного рішення.

Об’єктом дослідження є технологічний процес основного обробітку ґрунту.

Предметом дослідження є конструктивні та технологічні параметри полицевого плуга, що впливають на якість виконання оранки та енергоефективність процесу.

Практичне значення роботи полягає в розробленні модернізованої конструкції полицевого плуга, впровадження якої сприятиме підвищенню продуктивності машинно-тракторного агрегату, зменшенню енергетичних витрат та покращенню агротехнічних показників основного обробітку ґрунту.

Методи дослідження: використовувалися методи аналізу та узагальнення науково-технічної літератури, патентної та нормативної документації, інженерного проєктування конструктивних параметрів технічних засобів.

Перелік публікацій автора за темою роботи:

1. Товкач М. П. Обґрунтування удосконалення лемішно полицевого плуга. Студентські читання–2025: матер. наук.-практ. конф. Житомир: Поліський національний університет, 2025. Т2. С. 24-26.
2. Товкач М. П. Обгрунтування параметрів налаштувань начіпного плуга Зб. Тез *XII Всеукраїнської науково-практичної конференції* «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» Житомир: ЖАТФК, 2026. С.69-71.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 23 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 55 сторінок комп’ютерного тексту, 17 рисунків, 1 таблиця.

1.АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ТА КОНСТРУКЦІЙ ПОЛИЦЕВИХ ПЛУГІВ

1.1. Сучасні технології основного обробітку ґрунту

Основний обробіток ґрунту є важливим елементом технології вирощування сільськогосподарських культур, який забезпечує створення сприятливих умов для накопичення вологи, розвитку кореневої системи рослин, знищення бур’янів та загортання рослинних решток і добрив. Вибір технології обробітку залежить від ґрунтово-кліматичних умов, попередника, рівня забур’яненості поля та особливостей вирощуваної культури.[1,2]

На сучасному етапі розвитку землеробства використовуються такі основні технології обробітку ґрунту: [1,2]

Традиційна (полицева) технологія

Традиційна система передбачає виконання оранки полицевими плугами на глибину 20–35 см із повним обертанням скиби.

Переваги:

- ефективне знищення бур’янів;
- якісне загортання післяжнивних решток;
- покращення фітосанітарного стану ґрунту;
- руйнування ущільнених шарів;
- створення оптимальних умов для накопичення вологи.

Недоліки:

- значні витрати палива (18–30 л/га);
- підвищений знос техніки;
- ризик розвитку водної та вітрової ерозії;
- руйнування структури ґрунту при частому застосуванні.

Незважаючи на високу енергоємність, полицева оранка залишається основним способом обробітку в більшості господарств України, особливо при вирощуванні просапних культур.

Мінімальний обробіток (Mini-Till)

Технологія Mini-Till базується на зменшенні кількості проходів агрегатів по полю та скороченні глибини обробітку.

Для виконання операцій застосовують:

- чизельні культиватори;
- дискові борони;
- комбіновані ґрунтообробні агрегати.

Переваги:

- зменшення витрат пального на 20–40 %;
- збереження структури ґрунту;
- підвищення вмісту органічної речовини;
- зменшення ущільнення.

Недоліки:

- складність боротьби з багаторічними бур’янами;
- потреба у більшому використанні гербіцидів;
- поступове ущільнення нижніх шарів ґрунту.

Нульовий обробіток (No-Till)

Технологія No-Till передбачає повну відмову від механічного обробітку ґрунту. Посів здійснюється спеціальними сівалками безпосередньо в необроблений ґрунт.[1,2]

Переваги:

- максимальне збереження вологи;
- захист ґрунту від ерозії;
- мінімальні витрати палива;
- підвищення біологічної активності ґрунту.

Недоліки:

- висока вартість спеціалізованої техніки;
- залежність від системи захисту рослин;

- складність впровадження на важких ґрунтах.

1.2. Агротехнічні вимоги, що ставляться до полицевих плугів

До основних агротехнічних вимог, що висуваються до виконання оранки, належать такі положення [2,5,6]:

- проведення оранки в оптимальні агротехнічні строки із забезпеченням заданої глибини обробітку, яка не повинна перевищувати потужність гумусового горизонту. Допустиме відхилення фактичної глибини від установленої становить не більше ±1 см для культур І групи та не більше ±2 см для культур ІІ ї групи;
- формування скиб однакового поперечного перерізу по всій площі поля, забезпечення повного їх обертання та достатнього розпушення орного шару. Рослинні рештки, бур'яни та внесені добрива повинні бути повністю зароблені;
- отримання вирівняної поверхні поля без утворення значних розгінних борозен і високих гребенів;
- недопущення огріхів під час виконання технологічної операції, забезпечення прямолінійності борозен, а на схилах крутістю від 3 до 7° — проведення оранки вздовж горизонталей рельєфу. Після завершення основного обробітку необхідно виконувати обробіток поворотних смуг.

Аналіз умов експлуатації плугів свідчить про наявність низки факторів, які обумовлюють необхідність їх диференціації за конструктивними та технологічними параметрами. Визначальними є агротехнічні вимоги до обробітку ґрунту під різні технологічні групи сільськогосподарських культур.

Для культур І технологічної групи (озимі та ярі зернові колосові, багаторічні трави, зернобобові культури, круп'яні культури та льон-довгунець) оранку рекомендується виконувати на глибину 12–22 см. При цьому ступінь розпушення ґрунту повинен становити не менше 75 %, загортання рослинних

решток — не менше 95 %, а висота гребенів на поверхні поля не повинна перевищувати 5 см. [2,5,6]

Для культур II технологічної групи (кукурудза, цукрові буряки, соняшник, картопля та овочеві культури) необхідно забезпечувати глибину оранки в межах 25–35 см. Рослинні рештки мають бути повністю загорнуті в ґрунт на глибину не менше 15 см. Вимоги щодо ступеня розпушення орного шару та допустимої гребінчастості поверхні залишаються аналогічними вимогам, установленим для культур I технологічної групи.

Аналіз існуючих технологічних процесів оранки (рис. 1.1) свідчить, що не всі з них забезпечують повне виконання агротехнічних вимог, необхідних для створення оптимальних умов росту й розвитку сільськогосподарських культур. [5,6]

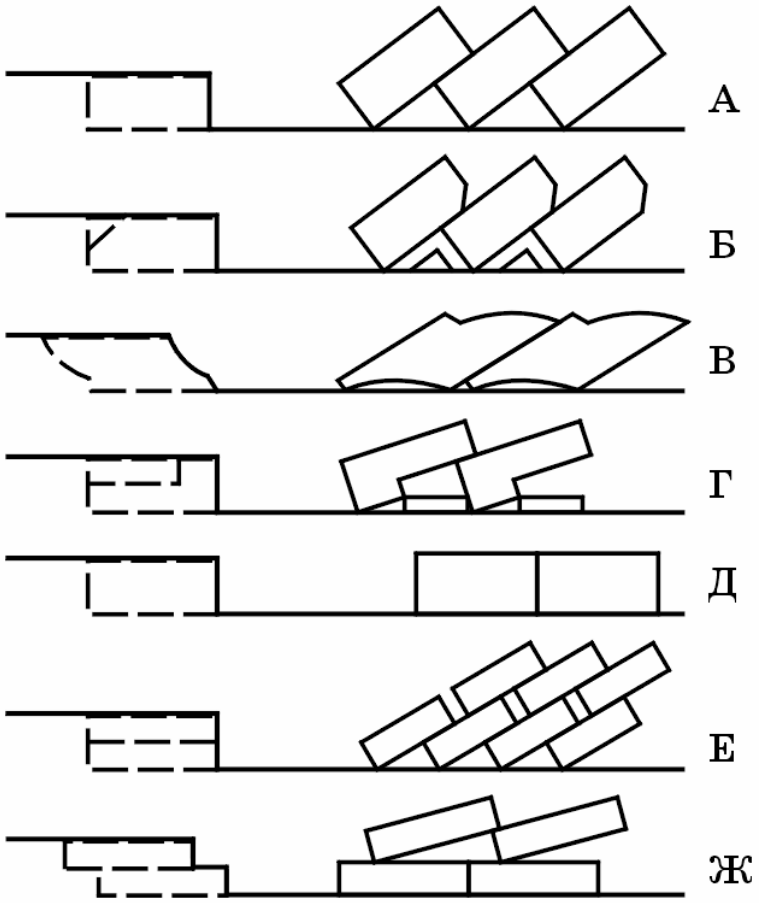


Рис. 1.1 Поперечний переріз профілів скиби за різних способів оранки: *А – оранка «зсувом»; Б – оранка полицею із кутознімом; В – оранка ромбовидною полицею; Г – оранка з передплужником; Д –гвинтовим корпусом; Е – ярусна оранка без поперечного зміщення скиби; Ж – ярусна зі зміщенням верхньої скиби відносно нижньої.*

Аналіз різних способів оранки показує, що вони відрізняються якістю виконання агротехнічних вимог. Оранка плугами загального призначення без передплужників («зсувом») не забезпечує повного обертання скиби, внаслідок чого рослинні рештки розподіляються по всій глибині орного шару. Подібні особливості характерні й для корпусів з кутознімами, хоча вони покращують загортання рослинних решток. [5,6]

Найкращі показники загортання рослинних решток (95…100 %) забезпечує культурна оранка з передплужником, однак її застосування обмежене за малої та великої глибини обробітку. Ромбічні корпуси формують широку та чисту борозну, але за якістю обробітку суттєво не відрізняються від оранки «зметом». Гвинтові корпуси на легких ґрунтах характеризуються недостатньою технологічною надійністю, а на важких — не забезпечують належного розпушення ґрунту.

Найбільш ефективним способом є ярусна оранка, яка забезпечує повне загортання рослинних решток на значну глибину, проте виконується лише за глибини обробітку понад 24 см. [5,6]

Перспективними напрямами розвитку відвального обробітку ґрунту є мілка оранка корпусами з кутознімами для культур I технологічної групи та глибока ярусна оранка або оранка з поглибленням орного шару для культур II технологічної групи. Важливим напрямом удосконалення залишається застосування оборотних і комбінованих плугів, які забезпечують високу якість обробітку та зниження виробничих витрат. [6]

Плужний обробіток ґрунту загального призначення залишається основним і універсальним способом відвального обробітку. Найвищу якість виконання технологічного процесу забезпечує гладенька оранка, яка здійснюється переважно оборотними та поворотними плугами.

Підвищення ефективності оранки досягається шляхом удосконалення конструкцій плугів, адаптації їх до сучасних агротехнологічних вимог та

впровадження енергоощадних рішень. Перспективним напрямом є перехід від традиційної однотипної оранки до диференційованого застосування різних технологічних процесів залежно від ґрунтово-кліматичних умов і вимог вирощуваних культур. У зв'язку з цим набувають поширення менш енергоємні орні агрегати, ярусні та оборотні плуги, комбіновані розпушувачі й лущильники (рис. 1.2). [3,4]

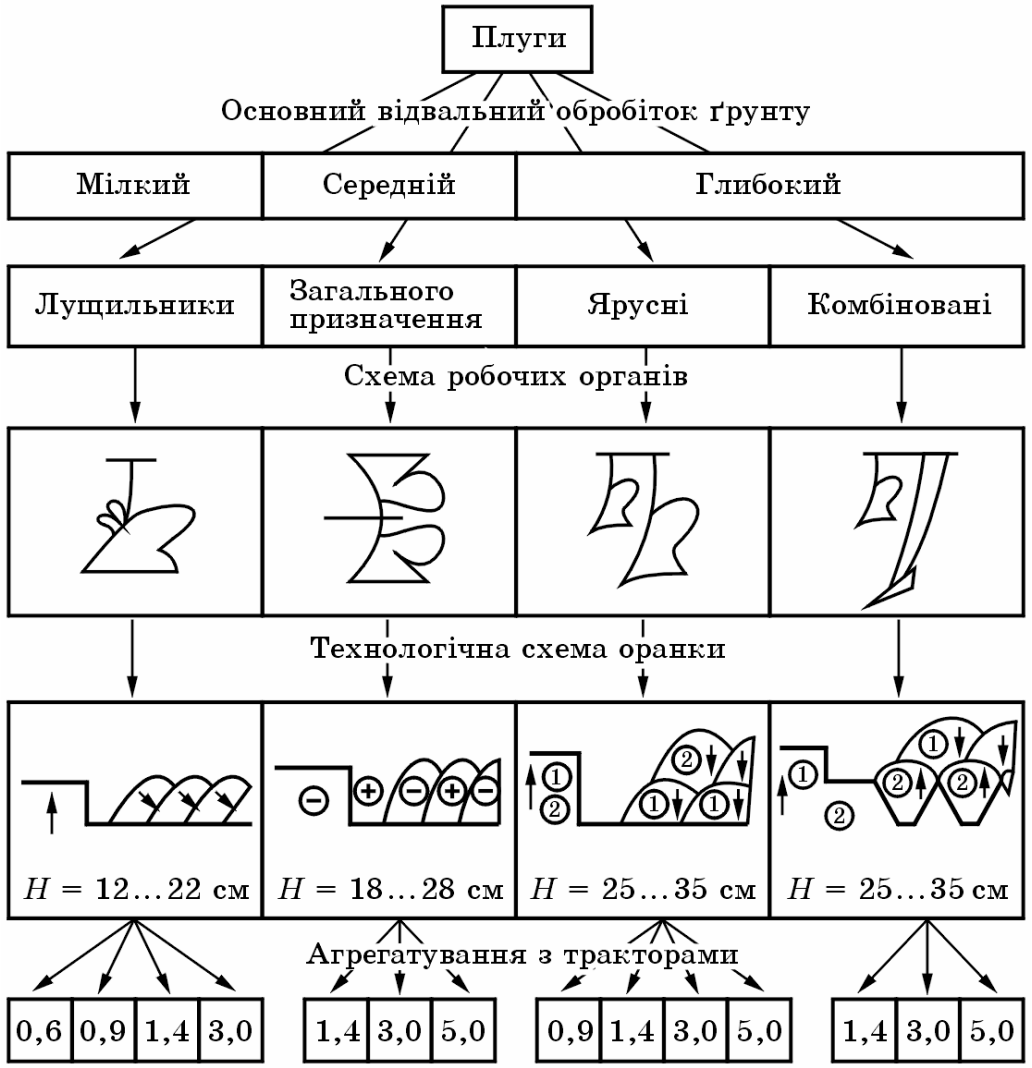


Рис. 1.2. Схема перспективного використання лемішно-полицевих плугів

Основу сучасних засобів механізації оранки становлять ярусні плуги, які забезпечують високу якість обробітку ґрунту та набувають дедалі більшого поширення у сільськогосподарському виробництві. Одночасно зростає

використання лемішного лущення (мілкої оранки) та комбінованих технологій, що передбачають виконання кількох операцій за один прохід агрегату.

Перспективним напрямом є створення комбінованих плугів, здатних поєднувати оранку з поглибленням орного шару, подрібненням і ущільненням верхнього шару ґрунту. Застосування змінних робочих органів розширює технологічні можливості машин і дозволяє знизити прямі виробничі витрати на 30–40 %. Важливим напрямом удосконалення відвального обробітку залишається впровадження гладенької оранки оборотними плугами.

1.3. Сучасні тенденції модернізації плугів та аналіз їх конструкцій

Одним із перспективних напрямів розвитку сучасних плугів є створення енергозберігаючих і ресурсоефективних засобів механізації, адаптованих до зональних умов та технологій точного землеробства. Використання сучасних ґрунтообробних комплексів дає змогу скоротити кількість застосовуваних машин у 2,5–3 рази та підвищити їх продуктивність на 15…40 % порівняно з традиційними агрегатами.[3]

Нове покоління плугів забезпечує якісне загортання рослинних решток, сидератів та органічних добрив, зменшує забур’яненість посівів і сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур. Крім того, такі плуги характеризуються меншою енергоємністю та вищою продуктивністю роботи порівняно з традиційними конструкціями.[4]

Серед основних тенденцій розвитку сучасних плугів слід відзначити застосування корпусів типу «дельфін», які зменшують утворення плужної підошви, використання фронтальних плугів із укладанням скиби у власну борозну та широке впровадження оборотних плугів для виконання гладенької оранки.

Удосконалення конструкцій плугів також пов’язане із застосуванням нових матеріалів і технологій виробництва, що підвищують надійність, довговічність і якість роботи машин. Перспективним напрямом є створення комбінованих

ґрунтообробних агрегатів, які дозволяють суміщати кілька технологічних операцій за один прохід та зменшувати виробничі витрати.

Для підвищення якості обробітку ґрунту провідні виробники сільськогосподарської техніки оснащують плуги додатковими робочими органами. Зокрема, компанія Gregoire Besson (Франція) пропонує встановлення котків Andpak, призначених для подрібнення ґрунтових гребенів та вирівнювання поверхні поля (рис. 1.3).[5]



Рис. 1.3 Плуг оборотний RW-6 з катком Andpak фірми Gregoire Besson [5]

Прикочуючий пристрій Andpak оснащений системами регулювання глибини ходу та притискного зусилля, що забезпечує можливість варіювання інтенсивності прикочування, зокрема на краях поля. Індивідуальне кріплення підвіски дисків котка Lameflex дозволяє захищати кожен диск при наїзді на виступи та перешкоди, підвищуючи надійність роботи. Для покращення умов транспортування передбачено власну ресорну підвіску транспортного положення.

При роботі на пересушливих та переущільнених ґрунтах, а також з метою інтенсивнішого кришіння ґрунтових грудок застосовуються котки серії Dupa (рис. 1.4).



Рис. 1.4 Орний МТА з плугом Gregoire Besson SPB 9 та котків Dupa 720 [5]

Коток складається з дисків, які встановлені в два ряди,мають діамент 700 мм і шириною 0,033 м, при цьому відстань між дисками становить 0,1 мм. Для підвищення ефективності кришіння та зниження забивання їх ґрунтом, робочі елементи виконані з криволінійною поверхнею. Конструкцією передбачено також наявність чистиків дисків для їх самоочищення в процесі роботи.

Для забезпечення агрегатування з оборотними плугами котки серії Dupa 700 оснащені окремим причіпним важелем, який дозволяє з’єднання з плугом у кінці гону. Така конструкція підвищує функціональність агрегату, однак ускладнює його будову та потребує підвищеного рівня кваліфікації оператора (рис. 1.5).

Серед сучасних виробників ґрунтообробної техніки слід відзначити компанію Lemken (Німеччина), продукція якої широко використовується в

Україні. Плуги даного виробника також можуть оснащуватися прикочуючими та ущільнюючими робочими органами, що підвищує якість обробітку ґрунту (рис. 1.6). [8]



Рис. 1.6 Загальний вид котків типу VarioPack і FixPack фірми Lemken[8]

Перевагою котків Lemken (рис. 1.7.) є їхня універсальність, що дозволяє агрегатування з різними типами плугів або встановлення на передню навіску трактора. Залежно від ґрунтових умов передбачено одно- або дворядне виконання котків із діаметром кілець 700 і 900 мм. [8]

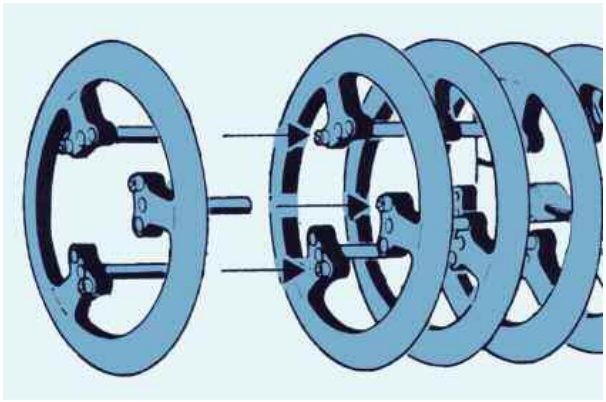


Рис. 1.7 Конструкція котків фірми Lemken [8]

Конструкція сниці забезпечує регулювання довжини важіля, що дає змогу ефективно агрегатувати коток із плугами різної конструкційної ширини захвату. Регулювання висоти точки приєднання дозволяє налаштовувати глибину та інтенсивність обробітку ґрунту, підвищуючи адаптивність агрегату до різних умов роботи та тракторів.[8]

Модульність конструкції котків передбачає можливість зміни кількості кілець, що дозволяє регулювати ширину захвату агрегату. Відсутність центральної осі знижує масу котка та зменшує ймовірність забивання міжкільцевого простору ґрунтом. Додатково можуть встановлюватися чистики кілець, що підвищує ефективність роботи на важких і вологих ґрунтах.

Для легких ґрунтових умов ефективно застосовуються кулачкові котки Lemken, які забезпечують якісне кришіння та вирівнювання поверхні поля (рис. 1.8). [8]



Рис. 1.8 Загальний вид кулачкового кільця котка VarioPack Lemken

Коток характеризується збільшеною площею контакту з ґрунтом, що забезпечує підвищення якості ущільнення та зменшення опору перекочуванню. При цьому зростання тягового зусилля орного агрегату є незначним і не чинить істотного впливу на його енергетичні показники. [10]

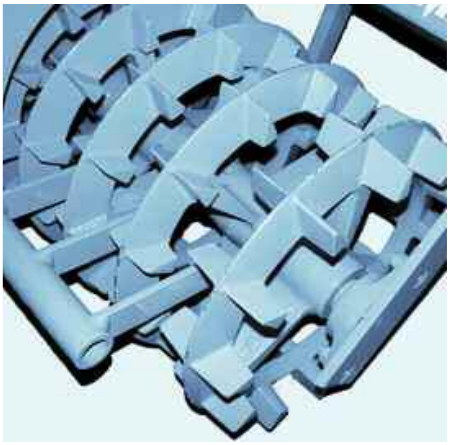


Рис. 1.9 Загальний вид кільчасто-шпорового котка VarioPack Lemken [8]

Представлені котки VarioPack з кільчасто-шпоровими робочими поверхнями (рис. 1.9) зарекомендували себе ефективністю при роботі на середніх і важких ґрунтах. Забезпечують якісне кришіння та ущільнення верхнього шару ґрунту.

Водночас слід відзначити, що конструкція даного типу котків характеризується підвищеною ймовірністю забивання порівняно зі стандартними кільчастими котками. [10]

Коток кільчастий із пластиковими робочими органами (рис. 1.10) величиною діаметра 500 мм та кроком встановлення 125 мм забезпечує ефективне ущільнення ґрунту, особливо на легких ґрунтах.



Рис. 1.10 Коток кільчастий FixPack фірми Lemken [8]

Матеріал кілець та наявність чистиків запобігають налипанню ґрунту під час роботи. Крім того, конструкція котка не призводить до суттєвого збільшення маси плуга, що позитивно впливає на загальні енергетичні показники агрегату.

Агрегат FixPack характеризуються значною ущільнюючою дією на ґрунт, яка може регулюватися в межах 400–800 кг/м. Залежно від умов роботи плуга вони виготовляються у двох конструктивних виконаннях. [10]



Рис. 1.11. Коток голчастий FixPack фірми Lemken [8]

Голчаста зірочка та балка забезпечують інтенсивне кришіння ґрунту. При роботі на важких ґрунтах додатково використовується ножовий брус, який сприяє руйнуванню великих брил і грудок та підвищує ефективність роботи голчастим зірочкам.

Проаналізумо технічні рішення запропоновані фірмою Kverneland (Норвегія). Плуги моделей LN та RN широко застосовуються в аграрному виробництві України. Як фінішне обладнання для зазначених плугів компанія Kverneland пропонує котки серії Packomat (рис. 1.12), які використовуються для вирівнювання та ущільнення поверхні ґрунту після оранки, підвищуючи якість основного обробітку. [7]



Рис. 1.12 Орний агрегат з плугом Kverneland з котком Packomat**[7]**

Конструкція Packomat має автоматизований механізм перевертання, який не потребує додаткових важелів керування, на відміну від аналогічних рішень компаній Gregoire Besson та Lemken. На легких ґрунтах після проходу агрегату можливе безпосереднє виконання сівби, що підвищує технологічну ефективність процесу.

Загалом провідні виробники плугів активно впроваджують фінішні прикочувальні та ущільнюючі робочі органи, які формують оптимальне посівне ложе переважно на легких ґрунтах. [10]

Висновки до розділу 1

У результаті проведеного аналізу встановлено, що основний обробіток ґрунту є ключовим елементом технології вирощування сільськогосподарських культур, який визначає формування водно-повітряного режиму, структури ґрунту та умови розвитку рослин. Сучасні технології обробітку ґрунту включають традиційну полицеву оранку, мінімальний (Mini-Till) та нульовий (No-Till) обробіток, які суттєво відрізняються за енергоємністю, агротехнічними вимогами та екологічним впливом. Встановлено, що, незважаючи на високу енергоємність, полицева технологія залишається найбільш поширеною в умовах України завдяки високій ефективності боротьби з бур’янами та якісному загортанню рослинних решток.

Аналіз агротехнічних вимог до полицевих плугів показав необхідність забезпечення стабільної глибини обробітку, повного обертання скиби, якісного загортання органічних решток і вирівняної поверхні поля. Виявлено, що ефективність оранки значною мірою залежить від конструкції робочих органів та способу виконання технологічного процесу, при цьому найбільш якісні показники забезпечує культурна та ярусна оранка.

Дослідження сучасних конструкцій плугів і фінішних робочих органів показало стійку тенденцію до підвищення енергоефективності, універсалізації та комбінування операцій. Перспективними напрямами розвитку є застосування оборотних і ярусних плугів, використання комбінованих агрегатів та впровадження прикочувальних котків, що дозволяє підвищити якість обробітку ґрунту, зменшити енергетичні витрати та покращити агротехнічні показники.

Загалом встановлено, що подальше удосконалення конструкцій плугів повинно бути спрямоване на зниження енергоємності процесу оранки, підвищення адаптивності до різних ґрунтово-кліматичних умов та інтеграцію технологічних операцій в єдині комбіновані агрегати.

2.МОДЕРНІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ПОЛИЦЕВОГО ПЛУГА

2.1. Обґрунтування параметрів модернізованого плуга

З метою обґрунтування модернізації серійного плуга передбачається підвищення технологічної ефективності процесу основного обробітку ґрунту, покращення якості кришіння орного шару без застосування додаткових ґрунтообробних агрегатів, збільшення загальної продуктивності агрегату та зниження питомих витрат пального.

Ефективність регулювання родючості ґрунту значною мірою залежить від раціонального поєднання технологічних операцій обробітку з урахуванням фізичного стану ґрунту та ґрунтово-кліматичних умов зони вирощування. Зокрема, волога, акумульована в нижніх горизонтах орного шару протягом вегетаційного періоду, більш ефективно використовується рослинами завдяки її переміщенню до кореневої системи по незруйнованих капілярних каналах середнього шару.

Водночас після проведення оранки виникає необхідність виконання додаткового поверхневого обробітку, спрямованого на зменшення непродуктивних втрат вологи шляхом випаровування. Крім того, поверхня поля після проходу плуга характеризується гребнистістю та нерівномірністю, а також наявністю незароблених рослинних решток і бур’янів, особливо на забур’янених ділянках.

Додатковий поверхневий обробіток є також доцільним у зв’язку з явищем часткового порушення зв’язності ґрунтового профілю, що виникає внаслідок осідання нижніх горизонтів при промерзанні верхнього шару та супроводжується обривом кореневих систем рослин.

Враховуючи зазначене, у даному проєкті пропонується модернізація навісного плуга ПЛН-3-35 шляхом встановлення з правого боку корпусів ряду вирівнювальних пластин та штригельної борони (рис. 2.1.). Запропонована конструктивна схема забезпечує виконання глибокої оранки з одночасним

вирівнюванням поверхні поля, підвищенням ступеня кришіння ґрунту та покращенням якості підготовки ґрунту до весняного обробітку і сівби.

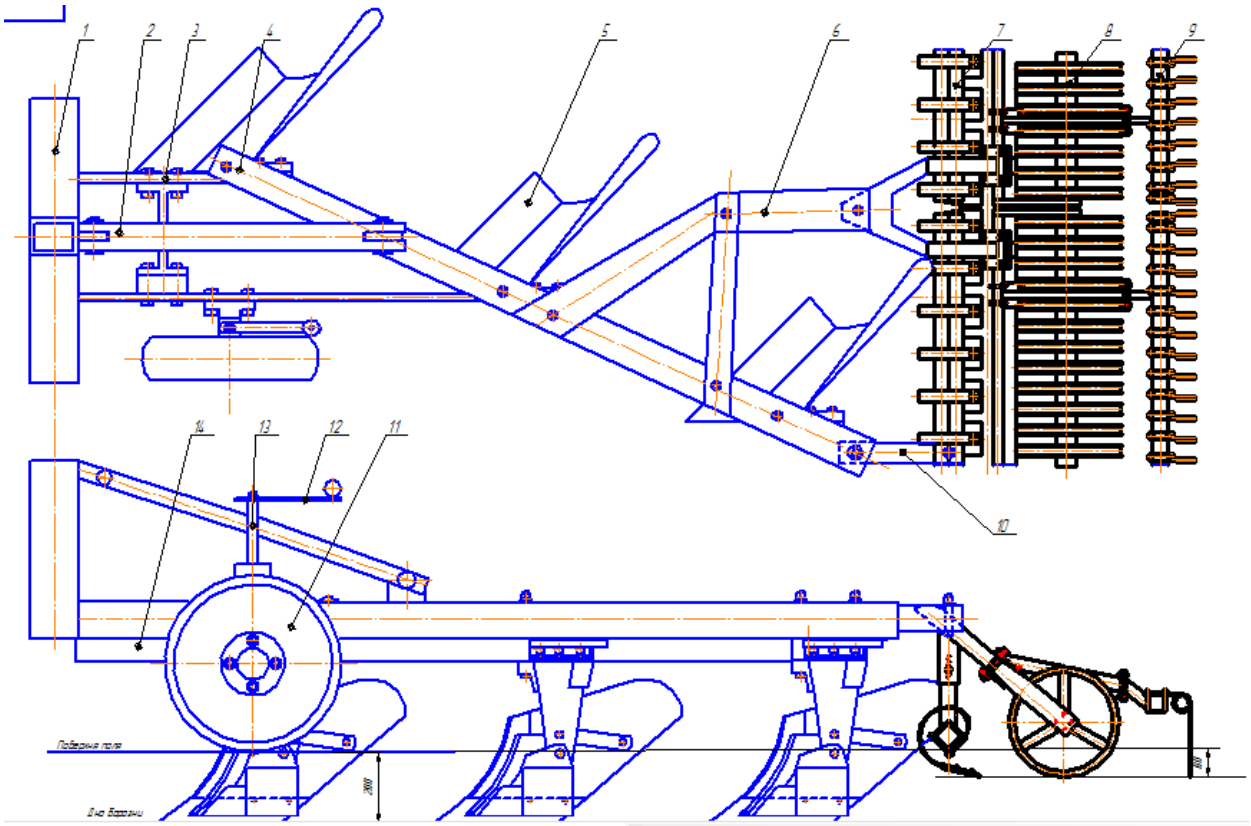


Рис. 2.1. Схема удосконаленого полицевого агрегату

1 – начіпний пристрій; 2 – повздовжня центральна тяга; 3 –тяги бічні; 4 – брус жорсткості; 5 – корпус; 6 – приєднувальний пристрій; 7 – вирівнювальна секція; 8 – прикочуюча частина; 9 –штригельна пружинна борона; 10 –упор; 11 – опорно-регулююче колесо; 12 – важіль регулювального механізму; 13 - гвинт; 14 – повздовжній брус рами.

Штригельні пружинні пальці пристрою, забезпечують вичісування та винесення на поверхню поля стебел і кореневих решток бур’янів, що сприяє їх підсушуванню та пригніченню подальшого розвитку. Коток, встановлений у складі агрегату, здійснює додаткове подрібнення ґрунтових брил, вирівнювання поверхні поля та часткове перемішування рослинних решток із верхнім шаром ґрунту.

Застосування запропонованої конструкції сприяє підвищенню ефективності механічного контролю бур’янів, що в подальшому дозволяє скоротити обсяги використання гербіцидів. Це забезпечує зниження експлуатаційних витрат на вирощування сільськогосподарських культур та підвищення екологічної безпечності технологічного процесу.

Крім того, модернізований агрегат характеризується зменшенням металоємності конструкції, зниженням тягового опору та питомих витрат пального. Поєднання кількох технологічних операцій в одному проході дозволяє скоротити кількість обробітків поля, що сприяє зменшенню загальних витрат на передпосівну підготовку ґрунту та підвищенню продуктивності машинно-тракторного агрегату.

Реалізація зазначених конструктивних рішень забезпечує покращення водно-повітряного режиму ґрунту, створення сприятливих умов для накопичення та збереження вологи в орному шарі. У результаті зменшуються непродуктивні втрати ґрунтової вологи в осінньо-зимовий період, що позитивно впливає на формування оптимальних умов для проростання насіння та розвитку рослин у наступному вегетаційному сезоні.

2.2. Визначення основних параметрів запропонованих робочих органів

Для обґрунтування конструктивних параметрів модернізованого плуга виконаємо розрахунок робочих органів штригельної борони, яка входить до складу агрегату. Оскільки принцип дії штригельних пальців має спільні риси із роботою зубових борін, розрахунок основних параметрів проведемо за методикою, наведеною в літературному джерелі [14,16].

У процесі розрахунку визначаються основні геометричні та технологічні параметри штригельної борони, зокрема кількість робочих органів, відстань між ними, ширина захвату секції, навантаження на один робочий елемент, а також

показники, що характеризують якість обробітку поверхневого шару ґрунту. Отримані результати використовуються для перевірки працездатності конструкції та забезпечення необхідної якості передпосівного обробітку ґрунту.

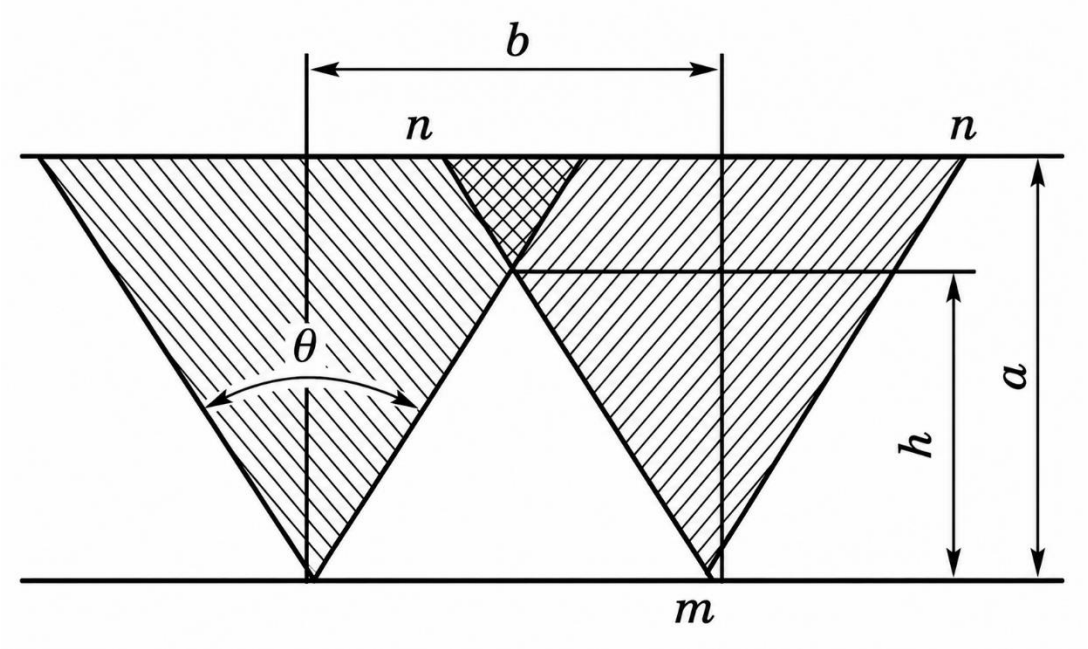


Рис. 2.2. Розрахункова схема зони деформації ґрунту робочим органом штригельної борони в поперечній площині

Як показано на рис. 2.2, зона деформації ґрунту має різні геометричні параметри у поздовжньо-вертикальній та поперечній площинах. Межі зони деформації визначаються площинами m і n, розташованими під кутом $\frac{\theta}{2}$ до поздовжньо-вертикальної площини руху робочого органа.

Унаслідок розширення зони деформації у верхній частині оброблюваного шару після проходження зубів борони на поверхні поля утворюються поздовжні гребені трикутного профілю. Висота зазначених гребенів є одним із основних показників якості роботи агрегату, оскільки характеризує ступінь вирівнювання поверхні ґрунту. Її величину визначають за залежністю:[14]

$$h = \frac{b}{2} ctg \frac{\theta}{2}, \tag{2.1}$$

Значення оберемо з [14]. Для штригельних борін кут θ = 40-60º, відстань між пальцями-пружинами штригеля становить 60 мм. Звідки:

$$h = \frac{60}{2} ctg \frac{50}{2} = 64 мм.$$

Отримана висота гребенів становить 64 мм, що відповідає вимогам до фінішного обробітку ґрунту та забезпечує належну якість підготовки його верхнього шару.

Для оцінки енергетичних показників роботи агрегату визначимо тяговий опір штригельної борони. Тяговий опір простого ґрунтообробного знаряддя визначається за формулою: [14]

$$P = kabn, \tag{2.2}$$

де, k - *питомий опір ґрунту;*

a - *задана глибина робочих органів;*

b - *ширина захвату борони;*

n - *кількість робочих органів на машині.*

Питомий опір ґрунту приймаємо для зораного шару важкосуглинкового ґрунту. За максимальної глибини обробітку 8 см та ширини захвату пальця штригеля, що дорівнює діаметру дроту, з якого він виготовлений, отримаємо:

$$P = 15 \cdot 0{,}08 \cdot 0{,}1 \cdot 21 = 2{,}52 кН.$$

Визначимо тяговий опір вирівнювача за аналогією.

$$P = 15 \cdot 0{,}08 \cdot 0{,}15 \cdot 10 = 1{,}80 кН.$$

Наступним визначимо основні параметри котка. На підставі аналізу конструкцій сучасних ґрунтообробних машин провідних світових виробників для модернізованого агрегату прийнято кільчастий коток із гладкими робочими елементами. Зусилля, необхідне для перекочування гладкого котка по поверхні ґрунту, визначається за формулою: [14]

$$P = 0{,}86\sqrt[3]{\frac{G^4}{q_O B D^2}}, \qquad (2.3)$$

де, G - *вага котка;*

B - *ширина захвату;*

D - *діаметр;*

q_O - *коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту.*

Для встановлення діаметра котка слід перевірити умову його кочення без накопичення ґрунту (рис. 2.3).

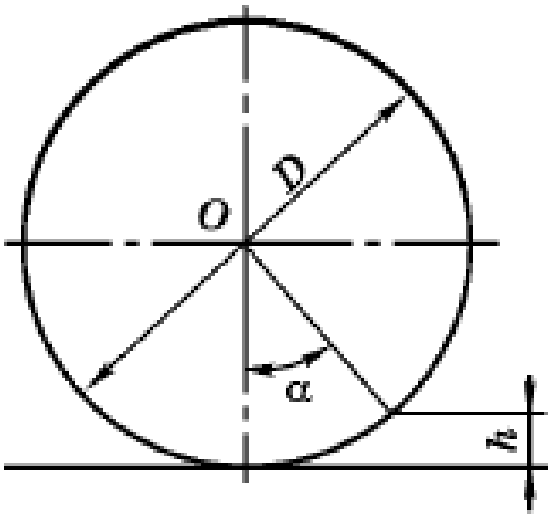


Рис. 2.3. Розрахункова схема до визначення діаметра дисків котків

D – діаметр кільця котка; h – глибина просідання при перекочуванні.

Діаметр диска котка визначимо з формули:[14]

$$D \geq \frac{2}{1-\cos\alpha}, \tag{2.4}$$

Повздовжня деформація масиву ґрунту обмежена максимальним значенням, тобто кутом α =20º.[12,16]

$$D \geq \frac{2}{1-\cos 20} = 0{,}33м.$$

Приймемо діаметр рівним 0,33 м.

Визначимо опір перекочування котка, як сумарний опір кожного кільця.

$$P = 0{,}86\sqrt[3]{\frac{5^4}{0{,}4 \cdot 3 \cdot 33^2}} \cdot 21 = 1{,}9кН, \tag{2.5}$$

Загальний тяговий опір запропонованого дообладнання становитиме:

$$P_{\sum} = 2{,}5 + 1{,}8 + 1{,}9 = 4{,}4кН.$$

Отриману величину додаткового опору необхідно врахувати при виконанні тягового розрахунку машино-тракторного агрегату.

2.3 Розрахунок зварних швів конструкції на міцність

Виконаємо розрахунок на міцність зварного шва кронштейна штригельної борони за умовою міцності на зріз за формулою:[15]

$$\tau = \frac{F}{n \cdot A_{ср}} \leq [\tau], \tag{2.6}$$

де, τ - *дотичні напруження зрізу;*

F=850 Н – величина навантаження на шви;

n = 2 – кількість зварних швів;

$A_{ср}$ *– площа поперечного перерізу шва,* $м^2$

$[\tau]$ - *допустимі напруження при зрізі, МПа.*

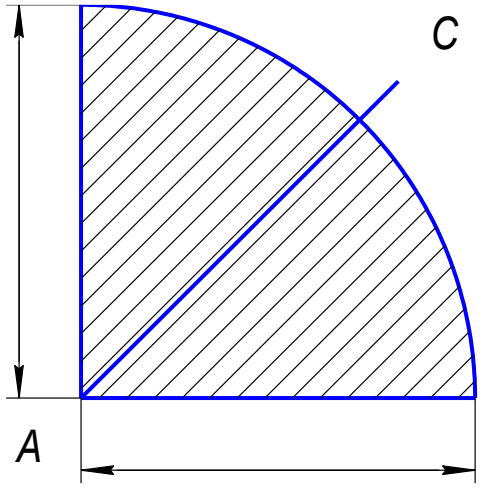


Рис. 2.4. Розрахункова схема зварного шва для кріплення деталей

Площу поперечного перерізу шва встановимо по формулі: [15]

$$A_{ср} = \kappa \cdot \delta \cdot l, \tag{2.7}$$

де, $\kappa = 0,7$ *– коефіцієнт, який враховує зріз шва по площині АС;*

$\delta = 4$ *мм – катет шва;*

$l = 10$ *мм – довжина шва.*

$$A_{ср} = 0{,}7 \cdot 4 \cdot 10 = 28 мм^2 = 28 \cdot 10^{-6} м^2.$$

Як технологічний процес зварювання приймаємо ручне дугове зварювання покритими електродами. За даного способу зварювання:[15]

$$[\tau] = 0{,}6[\sigma], \qquad (2.8)$$

де, $[\sigma] = 156$ МПа – допустимі напруження металу зєднувальних деталей.[15]

$$[\tau] = 0{,}6 \cdot 156 = 93{,}6 МПа .$$

Проведемо перевірочний розрахунок зварногошва на міцність:

$$\tau = \frac{850}{2 \cdot 28 \cdot 10^{-6}} = 15{,}2 МПа \langle [\tau].$$

Умова міцності зварного шва виконується.

Додатково доцільно виконати перевірку міцності осі. Умова міцності у цьому випадку має вигляд: [15]

$$\sigma_{СМ} = \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{A_{см}}} \le [\sigma_{СМ}], \qquad (2.9)$$

де, $\sigma_{СМ}$ - нормальні напруження при зминанні;

F – навантажувальні зусилля на вісі;

$A_{см}$ – площа шва на зминання;

$[\sigma_{СМ}]$ - допустимі напруження.

Щоб визначити величину навантажувального зусилля на осі силу F, складемо рівняння моментів відносно точки кріплення шарніра в С.

$$\sum_{M_C} = \mathrm{F} \cdot 90 - 850 \cdot 600 = 0, \tag{2.10}$$

$$\mathrm{F} = \frac{850 \cdot 600}{90} = 5667H.$$

Площа шва, яка піддається зминанню, має вигляд прямокутника зі сторонами b × h, де b рівна10мм, а h = d = 45 мм, тобто довжина сторони, яка відповідає діаметру вісі.

$$\mathrm{Асм} = \mathrm{bh}, \tag{2.11}$$

$$\mathrm{A_{см}} = \mathrm{bh} = 10 \cdot 45 = 450 \text{ мм}^2 = 450 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Для пластичних матеріалів $[\sigma_{CM}]$ визначимо по залежності:[15]

$$[\sigma_{CM}] = (2 \div 2{,}5)[\sigma], \tag{2.12}$$

де, $[\sigma] = 156МПа$ - допустимі нормальні напруження Сталі 20.

Приймемо: $[\sigma_{CM}] = 2[\sigma] = 2 \cdot 156 = 312МПа$, звідки:

$$\sigma_{CM} = \frac{5667}{450 \cdot 10^{-6}} = 12{,}6МПа \langle [\sigma_{CM}].$$

При таких значеннях параметрів умова міцності виконується.

2.4. Розрахунок різьбового з’єднання деталей

Бічні тяги та упори начіпного пристрою передбачається кріпити до рами плуга за допомогою болтів М20. Під час затягування болтового з’єднання виникає максимальне навантаження F, яке визначимо залежністю [11]:

$$F = \frac{\pi d_1^2 [\sigma_T]}{1.3 \cdot 4}, \tag{2.13}$$

де, d_1 - внутрішній діаметр різьби, $d_1 = 18{,}376$ мм;

σ_T - межа текучості Сталі 20, $\sigma_T = 240$ Н/мм^2.

$$F = \frac{3.14 \cdot 18.376 \cdot 240}{1.3 \cdot 4} = 48937 \text{ Н}.$$

Закручувальний момент на болту визначимо по формулі:[15]

$$Т_{ЗАТ} = F \frac{d_2}{2} \left[tg(\psi + \rho^1) + f \frac{d_m}{d_2} \right], \tag{2.14}$$

де, f - коефіцієнт тертя сталі по сталі, $f = 0{,}15$;

ρ - кут тертя, град;

d_m - діаметр опорної поверхні шайби та гайки, $d_m = 24$ мм.

$$\rho = arctg\, f^1, \tag{3.15}$$

де, f^1 - коефіцієнт тертя різьби по різьбі;

$$f^1 = \frac{f}{\cos 30^0}, \tag{3.16}$$

$$f^1 = \frac{0{,}15}{0{,}866} = 0{,}1732.$$

Звідки, $\rho^1 = arctg0{,}1732 = 9{,}83^0 = 9^0 50^1$;

$$T_{ЗАТ} = 48937\frac{19{,}026}{2}\left[tg\left(3^0 24^1 + 9^0 50^1\right) + 0{,}15\frac{24}{19{,}026}\right] = 48937 \cdot 9{,}513(0{,}233 + 0{,}189) = 196557\,\text{Н}\cdot\text{мм}.$$

Тоді зусилля необхідне при затягуванні зєднання визначимо по формулі:[15]

$$F_B = \frac{T_{ЗАТ}}{l_1}, \qquad (2.17)$$

де, l_1 - довжина руківя важелля.

$$l_1 = 15d, \qquad (2.18)$$

$$F_B = \frac{196557}{15 \cdot 20} = 655\ \text{Н}.$$

Виконаємо перевірку витків болта та гайки на зріз і зминання (рис. 2.5.). Середній напружений стан зминання в різьбовому з'єднанні визначається [15]:

$$\sigma_{\text{Ñì}} = \frac{4\text{F}}{\pi\left(d^2 - \text{d}_1{}^2\right)\text{ZK}_\text{ì}} \le [\sigma_{\text{Ñì}}], \qquad (2.19)$$

де, Z - кількість витків, шт.

d_1 - внутрішній діаметр різьби, мм;

d_2 - середній діаметр, мм;

d - зовнішній діаметр, мм;

K_M - коефіцієнт, який враховує пластичні деформації при нерівномірному навантаженні на витках різьби.

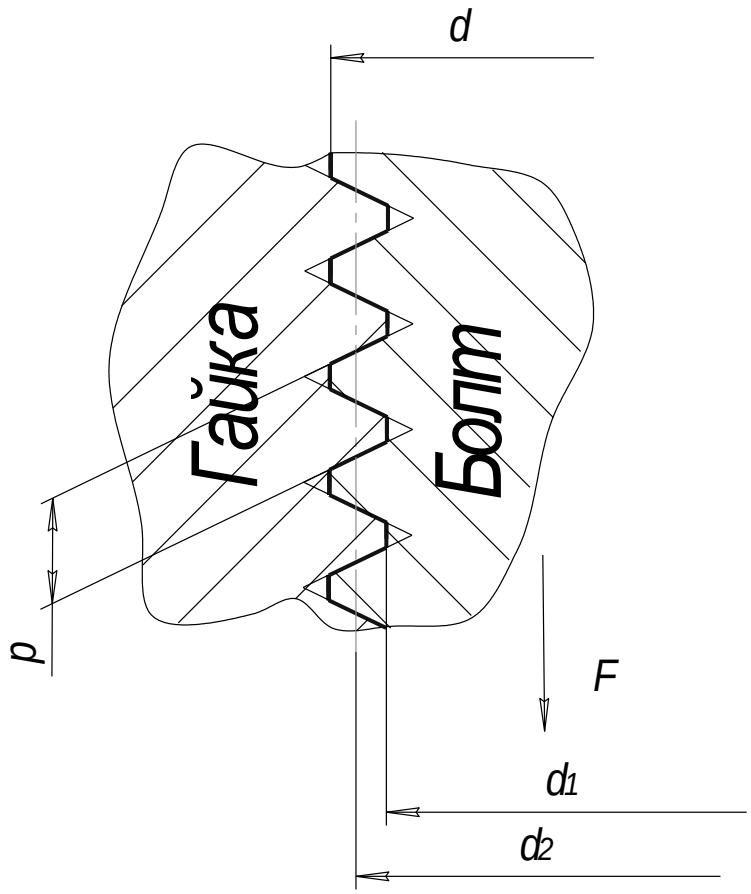


Рис. 2.5. Розрахункова схема навантаження на витки болтового з'єднання

d - зовнішній діаметр різьби; d_1 – внутрішній діаметр різьби; d_2 – середній діаметр різьби; P - крок різьби; F – зусилля затягування з'єднання.

$$Z = \frac{H}{P}, \qquad (2.20)$$

де, H - довжина закручування, H=20 мм;

P - крок різьби, t=1,5 мм;

$$Z = \frac{20}{1{,}5} = 13{,}3 \text{ шт.}$$

За ДСТУ 8302:2015 становить $d_1 = 18{,}376$ мм, $d_2 = 19{,}026$ мм, $d = 20$ мм, $K_M = 0{,}56...0{,}75$, для Сталі 35 $[\sigma_{CM}] = 0{,}8\sigma_T$, где $\sigma_T = 320$ Н/мм^2 [1].

Звідки

$$\sigma_{CM} = \frac{4 \cdot 48937}{3{,}14\left(20^2 - 18{,}376^2\right) \cdot 13{,}3 \cdot 0{,}65} = 115 \text{ Н/мм}^2.$$

$$[\sigma_{CM}] = 0{,}8 \cdot 320 = 256 \text{ Н/мм}^2.$$

Умова 115 < 256 Н/мм² свідчить про забезпечення міцності різьбового з'єднання за умов зминання, що гарантує його надійну працездатність.

Далі визначимо дотичні напруження, що виникають при зрізі елементів різьбового з'єднання:

- болт:

$$\tau_1 = \frac{\mathrm{F}}{\pi \mathrm{d}_1 \mathrm{HRK}_{\mathrm{M}}} \le [\tau_{\text{ÑÐ}}], \qquad (2.21)$$

де, R=0,8 для метричної різьби.

$$\tau_1 = \frac{48927}{3{,}14 \cdot 18{,}376 \cdot 20 \cdot 0{,}87 \cdot 0{,}65} = 75 \text{ Н/мм}^2.$$

- гайка:

$$\tau_1 = \frac{48927}{3{,}14 \cdot 20 \cdot 20 \cdot 0{,}87 \cdot 0{,}65} = 69 \text{ Н/мм}^2.$$

Матеріал болта і гайки приймаємо Сталь 35 за ДСТУ 7809:2015.

$$[\tau_{CP}] = 0{,}2\sigma_T, \qquad (2.22)$$

$$[\tau_{CP}] = 0{,}2\sigma_T = 0{,}2 \cdot 320 = 64 \text{ Н/мм}^2.$$

$$[\tau_{CP}] < \tau_1, \qquad (2.23)$$

$$[\tau_{CP}] < \tau_2, \qquad (2.4)$$

Отримані значення напружень свідчать про необхідність збільшення діаметра болта і гайки або застосування матеріалу з вищими міцнісними характеристиками. Для сталі 40 допустиме напруження становить 75 Н/мм².

Після виконаного перерахунку маємо: 96 > 75 Н/мм² та 96 > 69 Н/мм², що підтверджує надійність роботи різьбового з'єднання.

Висновки до розділу 2

Запропонована конструкція навісного плуга ПЛН-3-35, дозволяє виконувати суміщений технологічний процес оранки та поверхневого вирівнювання ґрунту за один прохід агрегату, що зменшує кількість операцій та підвищує продуктивність.

У результаті розрахунків встановлено, що при відстані між штригельними пальцями **a = 60 мм** та куті розкриття **α = 40–60°** висота утворених гребенів становить приблизно **h ≈ 64 мм**, що відповідає вимогам якісного передпосівного обробітку ґрунту.

Тяговий опір елементів робочого органу визначено з урахуванням глибини обробітку **t = 0,08 м (8 см)** та конструктивних параметрів штригеля, що підтверджує допустимі енергетичні витрати агрегату. Діаметр котка прийнято **D = 0,33 м**, що забезпечує стійке перекочування без накопичення ґрунту та нормальні умови роботи.

Перевірочний розрахунок зварного з'єднання виконано при навантаженні **F = 850 Н**, катеті шва **k = 4 мм** та довжині шва **l = 10 мм**. Отримані напруження

не перевищують допустимі значення, що підтверджує міцність зварного з’єднання.

Також встановлено, що різьбове з’єднання (болти М20) працює в допустимих межах напружень при зусиллі затягування, а перевірка на зминання та зріз показала запас міцності, що забезпечує надійну роботу вузлів кріплення.

Отримані результати свідчать, що модернізований плуг забезпечує підвищення агротехнічної ефективності, покращення якості кришіння та вирівнювання ґрунту, а також зниження питомих енергетичних витрат при збереженні необхідного рівня міцності всіх елементів конструкції.

3. РОЗРОБКА ОПЕРАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОРАНКИ МОДЕРНІЗОВАНИМ МТА

3.1. Розробка операційно-технологічної карти

Операційна технологія являє собою сукупність агротехнічних, технічних, організаційних, економічних та екологічних заходів і вимог, спрямованих на забезпечення високопродуктивного використання машинно-тракторних агрегатів (МТА).[18,19,21]

Ефективне та своєчасне виконання механізованих польових робіт можливе лише за умови застосування операційно-технологічних карт, які містять систематизований комплекс організаційно-технічних положень щодо виконання виробничих операцій у встановленій технологічній послідовності вирощування та збирання сільськогосподарських культур. [21]

Операційно-технологічна карта включає такі основні розділи: агротехнічні вимоги до виконання робіт; обґрунтування раціонального комплектування агрегатів; технологічну наладку та підготовку агрегату до роботи; підготовку поля до виконання технологічної операції; організацію роботи агрегату в загінці; контроль якості та оцінювання виконаних робіт. [18,19]

3.2. Комплектування орно-комбінованого МТА

Однією з основних умов ефективної роботи машинно-тракторного парку є раціональне комплектування агрегатів, що забезпечує високу продуктивність та економічну доцільність їх використання. Під час формування агрегату необхідно враховувати агротехнічні вимоги до якості виконання технологічних операцій, а також ступінь завантаження енергетичного засобу, що є визначальним фактором правильного агрегатування. [18,22]

Правильно укомплектований машинно-тракторний агрегат повинен: а) відповідати агротехнічним вимогам і забезпечувати високу якість виконуваних

робіт;

б) забезпечувати раціональне використання техніки з максимально можливою продуктивністю та мінімальними питомими витратами пального. [20,21]

Для формування агрегату необхідно визначити тягове зусилля трактора та опір сільськогосподарської машини-агрегату. Для виконання оранки приймаємо трактор у комплекті з модернізованим плугом ПЛН-3-35.

Тяговий опір агрегату визначимо за раціональною формулою: [17]

$$R_x = fG + k\alpha b_k n_k + \varepsilon\alpha b_k n_k \vartheta^2, \quad (3.1)$$

де, f – коефіцієнт опору агрегату;

G – вага комбінованого орного агрегату, кН;

k – коефіцієнт питомого опору грунту;

α, $b_к$ - глибина оранки та ширина захвату одного корпусу;

n_k - кількість корпусів плуга;

ε – коефіцієнт швидкісного опору, який враховує властивості ґрунту і тип робочої поверхоні корпусів;

ϑ – швидкість руху МТА.

$$R_x = 0{,}45 \cdot 0{,}41 + 45 \cdot 0{,}26 \cdot 0{,}35 \cdot 3 + 3 \cdot 0{,}26 \cdot 0{,}35 \cdot 3 \cdot 3{,}24 = 12{,}99 \ кН.$$

Питрмий приведений опір одного корпусу визначимо по залежності:[17]

$$R_{хк} = fq + k\alpha b_k + \varepsilon\alpha b_k \vartheta^2, \quad (3.2)$$

де, $q = G/n_k$ – частина ваги плуга, яка розподілена на один корпус:[21]

$$R_{\text{хк}} = R_x/n_k, \tag{3.3}$$

$$R_{хк} = \frac{12{,}99}{3} = 4{,}33 \ кН.$$

Отримаши значення тягового опору R_X, розрахуємо складову сили, що виникає внаслідок силової дії полових дошок на стінку борозни:[17]

$$R_{\text{уп}} = R_x ctg(\gamma_0 + \varphi), \tag{3.4}$$

Відповідно:

$$R_{\text{ук}} = R_{x\text{к}} ctg(\gamma_0 + \varphi), \tag{3.5}$$

де, γ_0 - кут між лінією леза лемеша та стінкою борозни;

φ - кут тертя сталі по грунту.

$$R_{\text{ук}} = 5{,}48 \cdot ctg(40^0 + 26{,}56^0) = 2{,}37 \ кН.$$

Сила тертя польової дошки по стінці визначимо:[21]

$$F_k = f R_{\text{ук}} = R_{x\text{к}} ctg(\gamma_0 + \varphi), \tag{3.6}$$

де, f – коефіцієнт тертя сталі по ґрунту (для вологості до 25% , становить 0,25…0,3; для ґрунтів середньо важких – 0,4…0,5; для ґрунтів важких – 0,48…0,81) [17].

$$F_k = 0{,}45 \cdot 2{,}37 = 1{,}07 \ \ кН.$$

Для всіх корпусів буде становити:

$$F_n = F_k n_k, \tag{3.7}$$

$$F_n = 1.07 \cdot 3 = 3.21 кН.$$

Сумарний тяговий опір агрегату становитиме: 12,99+4,4=17,4 кН.

Повний опір машини врахуємо через можливість збільшення опору при русі МТА на підйом [21].

$$R_{nід} = Q_m \cdot i, \tag{3.8}$$

де, Q_m - експлуатаційна вага модернізованого плуга, кН;

i - схил місцевості, %.

$$R_{nід} = 7{,}0 \cdot 0{,}04 = 0{,}28 кН.$$

Звідки, загальний опір буде рівний 12,99+4,4+0,28=17,67 кН.

Розрахуємо коефіцієнт використання тягового зусилля трактора. Приймаємо трактор МТЗ-920, який за робочої швидкості руху 9 км/год, та передачі КПП, розвиває тягове зусилля на гаку 20,9 кН та характеризується буксуванням рушіїв на рівні 4,5 %.

$$\eta_{TP} = \frac{R_a}{P_{KP} - P_\alpha}, \tag{3.9}$$

де, R_a – тяговий опір агрегату, кН

$P_{КР}$ – тягове зусилля на гаку, кН.

P_α – зусилля, яке затрачається на подолання підйому, кН

$$P_\alpha = Q_{TP} \cdot i, \tag{3.10}$$

де, $Q_{ТР}$ – вага трактора, кН (з врахуванням додаткових баластних вантажів).

$$P_\alpha = 70 \cdot 0{,}04 = 2{,}8 \ кН.$$

$$\eta_{TP} = \frac{17{,}67}{20{,}9 - 2{,}8} = 0{,}975.$$

Значення коефіцієнта використання тягового зусилля трактора становить ηтр = 0,87…0,98, що відповідає допустимим експлуатаційним межам.

За заданих умов трактор працюватиме на 5-й передачі другого діапазону. Основні режими роботи відповідно до технічної характеристики наведено у вигляді таблиці (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Основні показники тягової характеристики трактора МТЗ-920

Режими	$V_р$, км/год	$G_{пг}$, кг/год
$P_т$=0	13,2	3,3
$N_{т.max}$	10,2	17,06
$P_{т.max}$	6,7	10,11

Відповідно до табличних роказників, визначимо експлуатаційні параметри роботи орного МТА.

3.3. Розрахунок кінематичних та організаційних показників роботи агрегату

Організація роботи машинно-тракторного агрегату в загінці передбачає, насамперед, обґрунтований вибір способу його руху. Залежно від виробничих умов та складу агрегату під час виконання оранки найчастіше застосовують човниковий спосіб руху без перекриття.

Вибір раціональної схеми руху здійснюють на основі розрахунку коефіцієнта робочих ходів. При цьому перевагу надають тій схемі, для якої зазначений коефіцієнт має максимальне значення, що забезпечує найвищу ефективність використання агрегату.

Для човникового способу руху коефіцієнт робочих ходів визначається за залежністю [19]:

$$\varphi = \frac{L_p}{L_p + 6R + 2e}, \tag{3.11}$$

де, L_p - робоча довжина гонів, м;

R - радіус розвороту агрегату, м;

e - величина виїзду агрегату на смугу, м;

Робочу довжину гонів визначають:[19]

$$L_p = L - 2E, \tag{3.12}$$

де, L- довжина поля, м; L=2000 м;

E- ширина поворотної смуги;

Встановимо мінімальну величину розворотної смуги за залежністю: [19]

$$E_{\min} = 3R + e, \tag{3.13}$$

Для начіпних машин становить: [19]

$$R=0,8 \cdot B_p, \tag{3.14}$$

$$R=0,8 \cdot 1,05=0,84 \text{ м.}$$

Величина довжини виїзду МТА:

$$e = 0,5(l_m + l_м), \tag{3.15}$$

де, $l_m, l_м$ - кінематична довжина агрегату, м;

$$e = 0{,}5(4{,}9 + 3{,}281) = 4{,}0 м.$$

Звідки:

$$E_{\min} = 3 \cdot 0{,}84 + 4{,}0 = 6{,}52 м.$$

Фактична ширина поворотної смуги повинна бути не меншою за мінімально допустиме значення та кратною робочій ширині захвату машинно-тракторного агрегату. З урахуванням зазначених вимог приймаємо ширину поворотної смуги Е = 7,35 м, що відповідає 7 проходам МТА.

За цих умов довжина гону становитиме:

$$L_p = 2000 - (2 \cdot 7{,}35) = 1985{,}3 \ м.$$

Отримавши величину довжини гонів коефіцієнт робочих ходів буде становити.

$$\varphi = \frac{1985{,}3}{1985{,}3 + (6 \cdot 0{,}84) + (2 \cdot 4{,}0)} = 0{,}9934.$$

Що свідчить про оптимальний спосіб руху МТА по загінках.

Встановимо ширину загінки [19].

$$C_n = 10^4 \cdot \frac{F_n}{L}, \qquad (3.16)$$

де, F_n - площа поля, га.

$$C_n = 10^4 \cdot \frac{50}{2000} = 250м.$$

Визначимо кількість робочих ходів: [19]

$$C_n = \frac{C_n}{B_p}, \tag{3.17}$$

$$C_n = \frac{250}{1{,}05} = 238{,}009.$$

Приймаємо 238 для прийнятого агрегату,

Загальна кількість кінематичних циклів роботи, буде:[19].

$$n_{к.ц.заг.} = 10^4 \cdot \frac{F_n}{2 \cdot L \cdot B_p}, \tag{3.18}$$

$$n_{к.ц.заг.} = 10^4 \cdot \frac{50}{2 \cdot 2000 \cdot 1{,}05} = 119.$$

Для виконання робіт з основного обробітку ґрунту агрегатом МТЗ-920+ ПЛН-3-35М, на площі поля 50 га за довжини гону 2000 м необхідно виконати 120 робочих циклів.

3.4. Розрахунок техніко-економічних показників

Основними оцінювальними показниками ефективності комплектування та експлуатації машинно-тракторних агрегатів, поряд з іншими, є їхня продуктивність та питома витрата палива на одиницю площі. В умовах

обмежених енергетичних ресурсів обґрунтований рівень витрат пального є важливим фактором підвищення енергозбереження виробничих процесів. [20]

При використанні МТА, як правило, визначають технічну продуктивність за годину та за зміну змінного часу. Продуктивність за зміну в гектарах розраховується за формулою [19]:

$$W_{ЗМ} = 0{,}1 \cdot B_P \cdot V_P \cdot T_P, \tag{3.19}$$

де, V_P - робоча швидкість МТА, км/год;

T_P - чистий час зміни, год

Відповідно:

$$W_{ГОД} = 0.1 \cdot B_P \cdot V_P \cdot \tau, \tag{3.20}$$

Чистий час зміни визначимо [19]:

$$T_P = \frac{T_{ЗМ} - (T_{ПЗ} + T_{ОБС} + T_{ВОП})}{1 + \tau_{ПОВ} + \tau_{Т.О}}, \tag{3.21}$$

де, $T_{ЗМ}$ - тривалість зміни, год;

$T_{ПЗ}$ - підготовчо-заключний час, який враховує час на наряд і щозмінне ТО для агрегату, хв;

$T_{ОБС}$ - тривалість ОТО агрегату в полі, перевірки якості роботи, ТО, хв.;

$\tau_{ПОВ}$ - коефіцієнт поворотів МТА;

$\tau_{Т.О}$ - коефіцієнт технологічного налаштування МТА.

Визначимо коефіцієнт поворотів машинного агрегату: [19]

$$\tau_{пов} = t_{пов} \frac{V_P}{3{,}6 L_P}, \tag{3.22}$$

де, $t_{пов}$ – час повороту агрегату, с, $t_{пов}$ =20 с;

$$\tau_{пов} = 20 \frac{9}{3{,}6 \cdot 1985{,}3} = 0{,}041.$$

Коефіцієнт ТО для багатомашинного агрегату становить: [19]

$$\tau_{ТО} = t_{пов} \frac{0{,}1 B_P V_P}{60}, \tag{3.23}$$

$$\tau_{ТО} = \frac{0{,}1 \cdot 1{,}05 \cdot 9}{60} = 0{,}024.$$

$$T_P = \frac{420 - (45 + 15 + 30)}{1 + 0{,}07 + 0{,}02} = 4{,}95 \ год.$$

$$W_{ЗМ} = 0{,}1 \cdot 1{,}05 \cdot 9 \cdot 4{,}95 = 4{,}77 \ га.$$

Розрахуємо коефіцієнт використання робочого часу зміни: [19]

$$\tau = \frac{T_P}{T_{ЗМ}}, \tag{3.24}$$

$$\tau = \frac{4,95}{7} = 0,707.$$

$$W_{ГОД} = 0,1 \cdot 1,05 \cdot 9 \cdot 0,707 = 0,7 \ \ га/год.$$

Встановимо затрати праці на виконання роботи з МТА. [19]

$$З_{П.ГА} = \frac{m_{мех} + m_{доп}}{W_{ГЗ}}, \tag{3.25}$$

де, $m_{мех}$ - кількість працівників основних;

$m_{доп}$ - кількість чоловік допоміжних.

$$З_{П.ГА} = \frac{1+0}{0,7} = 1,42 \ \ люд \cdot год/га.$$

Питома витрата палива на одиницю виконаної роботи (га) визначається на основі годинної витрати палива за відповідних режимів роботи двигуна та тривалості його роботи при відомій змінній продуктивності машинно-тракторного агрегату.

Розрахункова залежність для визначення погектарної витрати палива має вигляд [23]:

$$g_{ГА} = \frac{G_{РР} \cdot T_{Р} + G_{ПОВ} \cdot T_{ПОВ} + G_{ЗУП} \cdot T_{ЗУП}}{W_{ЗМ}}; \tag{3.26}$$

де, $G_{РР}, G_{ПОВ}, G_{ЗУП}$ - витрата палива при робочому режимі, виконанні поворотів та роботі двигуна на зупинках, кг/год;

$T_P, T_{ПОВ}, T_{ЗУП}$ - час чистої роботи агрегату за зміну, виконання поворотів та технологічних зупинок МТА з роботою двигуна, год;

$$T_{ПОВ} = \tau_{ПОВ} \cdot T_P, \tag{3.27}$$

$$T_{ПОВ} = 0{,}041 \cdot 4{,}95 = 0{,}20 \ год.$$

Час простою агрегату на зупинках з працюючим двигуном визначимо по формулі:[19]

$$T_{ЗУП} = T_{ТО} \cdot \frac{T_{ОБС} + T_{ВОП} + 0{,}5 \cdot T_{ЩТО}}{60}, \tag{3.21}$$

де, $T_{ТО}$ - тривалість техобслуговування МТА.

$$T_{ТО} = 0{,}024 \cdot 4{,}95 = 0{,}11 \ год.$$

$$T_{ЗУП} = 0{,}11 \cdot \frac{15 + 20 + 0{,}5 \cdot 30}{60} = 0{,}091.$$

$$g_{ГА} = \frac{17{,}1 \cdot 4{,}95 + 10{,}7 \cdot 0{,}2 + 3{,}2 \cdot 0{,}091}{4{,}77} = 18{,}24 \ кг/га.$$

Отримали, витрати палива 18,2 кг / 1 га роботи в оранці з годинною продуктивністю, що становить 0,7 га/год.

Висновки до розділу 3

У розділі розроблено операційно-технологічну схему виконання оранки модернізованим машинно-тракторним агрегатом у складі трактора **МТЗ-920** та плуга **ПЛН-3-35М**. Обґрунтовано структуру операційно-технологічної карти, яка охоплює агротехнічні вимоги, підготовку агрегату, організацію роботи в загінці та контроль якості виконання операції. Встановлено, що раціональна організація процесу дозволяє зменшити непродуктивні витрати часу та підвищити продуктивність агрегату.

За результатами тягових розрахунків визначено, що сумарний тяговий опір агрегату становить **17,67 кН**, у тому числі опір плуга **17,4 кН**, а складова сили взаємодії робочих органів зі стінкою борозни - **2,37 кН**, при силі тертя польової дошки **1,07 кН**. Отримані значення підтверджують працездатність агрегату в заданих умовах. Коефіцієнт використання тягового зусилля трактора становить **ηтр = 0,87…0,98**, що відповідає допустимим експлуатаційним межам.

Встановлено раціональні кінематичні параметри роботи: робоча швидкість агрегату - близько **9 км/год**, радіус розвороту - **0,84 м**, ширина поворотної смуги - **7,35 м**. Для поля площею **50 га** та довжиною гону **2000 м** визначено необхідність виконання близько **120 робочих циклів**, що забезпечує ефективну організацію руху агрегату в загінці при човниковому способі руху.

За результатами техніко-економічного розрахунку встановлено, що продуктивність машинно-тракторного агрегату становить **0,7 га/год**, а питома витрата палива - **18,2 кг/га**, що свідчить про економічну доцільність використання модернізованого агрегату.

У цілому розроблена операційно-технологічна схема забезпечує підвищення ефективності оранки, раціональне використання тягових можливостей трактора та зниження енергетичних витрат при стабільній якості виконання технологічної операції.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У результаті виконання роботи досліджено сучасні технології основного обробітку ґрунту, проаналізовано конструкції полицевих плугів та обґрунтовано напрям удосконалення машинно-тракторного агрегату для виконання оранки.

Виявлено тенденції розвитку ґрунтообробної техніки, що полягають у підвищенні енергоефективності, комбінуванні операцій та застосуванні інтегрованих агрегатів.

2. Запропоновано модернізований навісний плуг ПЛН-3-35М, який забезпечує суміщення операцій оранки та поверхневого вирівнювання ґрунту за один прохід, що дозволяє зменшити кількість технологічних операцій та підвищити продуктивність роботи агрегату.

3. У процесі розробки операційно-технологічної схеми обґрунтовано комплектування машинно-тракторного агрегату у складі трактора **МТЗ-920** та плуга **ПЛН-3-35М**. Встановлено, що сумарний тяговий опір агрегату становить **17,67 кН**, при цьому коефіцієнт використання тягового зусилля трактора знаходиться в межах **0,87…0,98**, що відповідає нормативним вимогам експлуатації. Визначено раціональні кінематичні та організаційні параметри роботи: робоча швидкість агрегату становить **9 км/год**.

4. За результатами техніко-економічної оцінки встановлено, що продуктивність агрегату становить **0,7 га/год**, а питома витрата палива - **18,2 кг/га**, що свідчить про економічну доцільність застосування модернізованого агрегату та зниження енергетичних витрат на виконання оранки.

5. У цілому розроблена конструкція та операційно-технологічна схема забезпечують підвищення ефективності основного обробітку ґрунту, покращення якості виконання агротехнічної операції, зменшення кількості проходів агрегату та раціональне використання енергетичних ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Довідник з механізації польових робіт / за ред. В. І. Кравчука. Київ : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2020. 680 с.
2. Землеробство : підручник / В. П. Гудзь та ін. Київ : Центр учбової літератури, 2015. 464 с.
3. Медведєв В. В. Обробіток ґрунту в Україні: сучасний стан та перспективи розвитку. Харків : КП «Міськдрук», 2018. 176 с.
4. Кириченко В. В., Петриченко В. Ф., Корнійчук О. В. Наукові основи сучасних систем землеробства України. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 316 с.
5. https://www.gregoire-besson.com/ua [Електронний ресурс]. Каталог продукції
6. Kuhn [Електронний ресурс]. Каталог продукції Kuhn, оранка, напівнавісні оборотні плуги, Challenger. - електрон. дан., 2015. - Режим доступу. http://www.kuhn.ua Kwerneland [Електронний ресурс]. Обробка грунту, плуги, напівнавісні оборотні плуги, Kwerneland. - електрон. дан., 2015.
7. Kwerneland [Електронний ресурс] Грунтообробна техніка Kwerneland, корпуси. - електрон. дан., 2015.
8. LEMKEN [Електронний ресурс]. Продукція, оранка, Діамант 11/12. - Електрон. дан., 2015.
9. Машиновикористання в землеробстві / за ред. В. І. Пастухова. Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2014. 356 с.
10. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Нілов В. В. Інженерна механіка технологічних процесів в агропромисловому виробництві : навч. посіб. Київ : Аграрна наука, 2014. 328 с.
11. Бойко І. Г., Рудь А. В. Сільськогосподарські машини : підручник. Київ : Вища освіта, 2018. 560 с.

12.Булгаков В. М., Адамчук В. В., Надикто В. Т. Теорія і розрахунок сільськогосподарських машин : підручник. Київ : Аграрна наука, 2015. 492 с.

13.Войтюк Д. Г., Дубровін В. О., Іщенко Т. Д. Сільськогосподарські та меліоративні машини : підручник. Київ : Вища освіта, 2004. 544 с.

14.Гевко Р. Б. Машини для обробітку ґрунту: конструкція, теорія та розрахунок : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2019. 320 с.

15.Курченко Ю. М. Зварні конструкції та їх розрахунок. Київ : Вища школа, 1988. 240 с.

16.Дідора В. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М. Механізація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підручник. Київ : Аграрна освіта, 2013. 544 с.

17.Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. 1. Машини для обробітку ґрунту. Харків : Око, 2001. 444 с.

18.Кравчук В. І., Булгаков В. М., Надикто В. Т. Сільськогосподарські машини : підручник. Київ : Урожай, 2016. 496 с.

19.Мельник І. І., Ружило З. В. Проектування технологічних процесів у рослинництві : навч. посіб. Київ : НУБіП України, 2016. 278 с.

20.Погорілий Л. В., Адамчук В. В. Сільськогосподарська техніка XXI століття. Київ : Аграрна наука, 2008. 320 с.

21.Сисолін П. В., Сало В. М., Кропівний В. М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування : навч. посіб. Кропивницький : Код, 2011. 548 с.

22.Тарасенко О. О. Ґрунтообробні машини та знаряддя : навч. посіб. Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2017. 286 с.

23.ДСТУ 4521:2006. Техніка сільськогосподарська. Машини ґрунтообробні. Методи визначення функціональних показників. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 18 с.

ДОДАТКИ