

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД
«ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА»
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

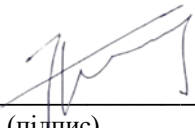
КАФЕДРА ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ
РЕСТОРАННОГО І ТУРИСТИЧНОГО БІЗНЕСУ

СИРОТА ПЕТРО ІВАНОВИЧ

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ҐРУНТООБРОБНИХ
РОБІТ З ОБҐРУНТУВАННЯМ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИЄДНАННЯ
НАЧІПНОГО ЗНАРЯДДЯ ДО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ**

**Кваліфікаційна робота
за спеціальністю 015.37 «Професійна освіта»
освітньо-професійна програма «Аграрне виробництво, переробка
сільськогосподарської продукції та харчові технології»**

Особистий підпис – _____ П. І. Сирота

Науковий керівник –  _____ д-р.х.н., професор, Е. В. Потапенко
(підпис) (посада, науковий ступінь,
наукове звання, ініціали, прізвище)

Зав. кафедри –  _____ к.п.н., доцент, В. В. Бурдун
(підпис) (посада, науковий ступінь,
наукове звання, ініціали, прізвище)

Лубни – 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД
«ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА»
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

КАФЕДРА ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ
РЕСТОРАННОГО І ТУРИСТИЧНОГО БІЗНЕСУ

Затверджую:

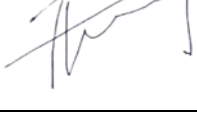
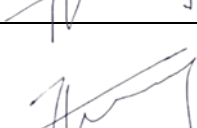
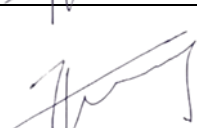
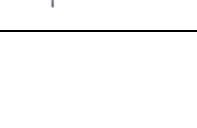
Декан факультету технологій та
інформаційних систем

 Могильний Г.А.

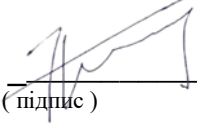
**Індивідуальний план здобувача вищої освіти
щодо виконання кваліфікаційної роботи**

1. Сирота Петро Іванович
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)
2. Факультет технологій та інформаційних систем
3. Спеціальність «Професійна освіта. Аграрне виробництво, переробка сільськогосподарської продукції та харчові технології»
4. Кафедра професійної освіти ресторанного і туристичного бізнесу
5. Науковий керівник Потапенко Едуард Володимирович, д-р.х.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
6. Тема кваліфікаційної роботи
Дослідження технологічного процесу ґрунтообробних робіт з обґрунтуванням елементів приєднання начіпного знаряддя до енергетичного засобу
7. Термін подання роботи на кафедру 08.05.2026 р.

№	Заходи	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Вибір теми кваліфікаційної роботи, вивчення наукової літератури, затвердження теми й керівника.	10.10.2025	
2.	Розробка плану роботи, визначення мети, завдань, об'єкту, предмету, методів дослідження.	14.11.2025	

3.	Робота над теоретичною частиною кваліфікаційної роботи, аналіз літературних джерел.	05.12.2025	
4.	Подання теоретичної частини кваліфікаційної роботи для першого читання науковим керівником.	19.12.2025	
5.	Усунення зауважень, урахування рекомендацій наукового керівника, подання теоретичної частини кваліфікаційної роботи на друге читання.	16.01.2026	
6.	Розробка технологічної і конструкторської частин роботи. Поетапний аналіз та обговорення результатів дослідної роботи.	30.01.2026	
7.	Подання першого варіанта дослідної частини кваліфікаційної роботи на перевірку науковому керівникові.	20.02.2026	
8.	Урахування рекомендацій наукового керівника, збагачення роботи додатковими дослідженнями, проведеними під час практики, підготовка варіанта роботи до попереднього захисту роботи на кафедрі.	06.03.2026	
9.	Попередній захист роботи на кафедрі.	20.03.2026	
10.	Доопрацювання кваліфікаційної роботи з урахуванням рекомендацій після попереднього захисту роботи на кафедрі.	03.04.2026	
11.	Подання кваліфікаційної роботи науковому керівникові та рецензентові на підготовку відгуку й рецензії.	17.04.2026	
12.	Подання на кафедру остаточного варіанта кваліфікаційної роботи, підписаного випускником, науковим керівником і рецензентом.	08.05.2026	

Здобувач вищої освіти _____ **Сирота П. І.**
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи  _____ **Потапенко Е. В.**
 (підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У роботі розглянуто питання забезпечення стабільності технологічних параметрів та підвищення якості основного обробітку ґрунту шляхом удосконалення механізмів приєднання начіпних знарядь до мобільних енергозасобів. Висвітлено переваги системи «простого маятника» як прогресивного методу з'єднання, що дозволяє мінімізувати вплив динамічних коливань трактора на глибину ходу робочих органів. Проаналізовано теоретичні засади взаємодії енергозасобу зі знаряддям, механізми виникнення девіацій глибини обробітку в умовах складного мікрорельєфу поля та вплив поздовжньо-вертикальних коливань остова на стабільність технологічного процесу. Надано порівняльну характеристику існуючих триточкових систем навіски та обґрунтовано кінематичну схему, за якої осі шарнірів тяг суміщені з віссю обертання задніх коліс трактора.

Окрему увагу приділено технології керування параметрами точності обробітку через оптимізацію геометричного розташування точок кріплення тяг та регулювання довжини центральної тяги для вирівнювання рами знаряддя. Визначено закономірності формування нерівномірності глибини ходу плуга, проаналізовано причини виникнення агротехнічних дефектів при подоланні перешкод та наведено рекомендації щодо модернізації начіпних пристроїв тракторів класу 3 (зокрема Т-150К) для мінімізації впливу рельєфу на якість оранки. Виконано силовий аналіз вузлів кріплення та верифіковано відповідність модернізованої навіски паспортній вантажопідйомності енергозасобу.

Результати дослідження дозволяють підвищити якість основного обробітку ґрунту, забезпечити стабільність глибини ходу робочих органів на рівні ± 2 см та створити оптимальні умови для реалізації біопотенціалу сільськогосподарських культур. Впровадження вдосконаленого агрегату сприяє зниженню собівартості робіт на 11,6%, підвищенню продуктивності на 7,8% та значному зростанню ресурсної ефективності машинно-тракторного парку агропідприємства.

Ключові слова: начіпна система, ґрунтообробний агрегат, система простого маятника, стабілізація глибини обробітку, кінематика навіски, девіація ходу, Т-150К, плуг ПЛН-5-35, енергоефективність, копіювання рельєфу, якість оранки, агротехнічні вимоги, продуктивність МТА.

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ҐРУНТООБРОБНИХ РОБІТ	9
1.1. Агротехнологічні особливості виконання ґрунтообробних робіт.....	9
1.2. Аналіз технологічних умов виконання ґрунтообробних робіт	10
1.3. Аналіз технічних умов виконання ґрунтообробних робіт	12
1.4. Аналіз технологічних показників ґрунтообробних робіт	15
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИЄДНАННЯ НАЧІПНОГО ЗНАРЯДДЯ ДО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ	19
2.1. Системний аналіз елементів приєднання до трактора ґрунтообробного знаряддя	19
2.2. Аналіз приєднання начіпного знаряддя до енергетичного засобу за системою подвійного маятника.....	21
2.3. Обґрунтування способу приєднання начіпного знаряддя за системою простого маятника.....	23
2.4. Силовий аналіз ґрунтообробного агрегату з удосконаленим начіпним пристроєм	27
Висновки до розділу 2	30
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБґРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИЄДНАННЯ.....	31
3.1. Методологічні аспекти аналізу систем приєднання начіпних знарядь	31
3.2. Аналіз кінематики моделі механізму начіпного пристрою ґрунтообробного агрегату.....	32
3.3. Енергетична верифікація результатів стабілізації глибини ходу агрегату	36
3.4. Аналіз ґрунтообробного агрегату з начіпною системою простого маятника	42
Висновки до розділу 3	45
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ БЕЗПЕЧНИХ УМОВ ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ ҐРУНТООБРОБНИХ РОБІТ	47
4.1. Заходи безпеки при експлуатації тракторів та ґрунтообробних знарядь ...	47
4.2. Вимоги безпеки при технічному обслуговуванні начіпних агрегатів у польових умовах	48
4.3. Заходи щодо безпечного виконання ґрунтообробних робіт	50
4.4. Організаційно-технічні заходи запобігання пожежам при виконанні польових робіт.....	52
Висновки до розділу 4	54
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ЗАСТОСУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НАЧІПНОГО ЗНАРЯДДЯ.....	56
Висновки до розділу 5	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку агропромислового комплексу України підвищення ефективності виробництва продукції рослинництва нерозривно пов'язане з інтенсифікацією технологічних процесів та впровадженням енергоощадних технічних засобів. Ґрунтообробні роботи є найбільш енергомісткими операціями в сільському господарстві, на частку яких припадає до 40% загальних витрат енергії. Одним із ключових резервів підвищення якості обробітку ґрунту та зниження експлуатаційних витрат є стабілізація глибини ходу робочих органів начіпних агрегатів.

Існуючі серійні начіпні системи, побудовані за принципом подвійного маятника, мають суттєвий недолік – високу чутливість до поздовжньо-вертикальних коливань остова трактора. Це призводить до неконтрольованих девіацій глибини обробітку, що негативно впливає на водно-повітряний режим ґрунту та подальшу врожайність. Враховуючи тенденцію до використання енергонасичених колісних тракторів (класів 3 та 5), обґрунтування та впровадження вдосконалених елементів приєднання знаряддя до енергозасобу є актуальним науково-практичним завданням.

Об'єкт дослідження – технологічний процес основного обробітку ґрунту начіпними машинно-тракторними агрегатами.

Предмет дослідження – закономірності взаємодії начіпного ґрунтообробного знаряддя з енергетичним засобом при використанні вдосконалених елементів приєднання.

Мета роботи – підвищення якості ґрунтообробних робіт та зниження енергоємності процесу шляхом обґрунтування конструктивних параметрів начіпного пристрою, що забезпечує кінематичну незалежність знаряддя від коливань енергозасобу.

Завдання дослідження:

1. Здійснити аналіз технологічних умов виконання ґрунтообробних робіт та оцінити вплив нерівностей рельєфу на стабільність ходу знаряддя.
2. Провести порівняльний структурно-кінематичний аналіз систем приєднання «подвійного» та «простого» маятників.
3. Теоретично обґрунтувати вдосконалену схему приєднання тяг навіски до осі привідних коліс трактора.
4. Виконати силовий аналіз та верифікувати технічну можливість реалізації запропонованого рішення на базі трактора Т-150К.
5. Провести кінематичні дослідження на фізичній моделі для оцінки ефективності стабілізації глибини обробітку.
6. Розрахувати економічний ефект від впровадження вдосконаленого агрегату.

Наукова новизна полягає у теоретичному обґрунтуванні та практичній реалізації способу приєднання начіпного знаряддя, за якого осі шарнірів тяг суміщені з віссю обертання задніх коліс трактора, що мінімізує трансляцію кутових коливань енергозасобу на робочі органи знаряддя.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці конструктивної схеми модернізації навіски тракторів класу 3, що дозволяє знизити нерівномірність глибини оранки у 2,5 раза та забезпечити приріст урожайності просапних культур (на прикладі соняшнику) за рахунок високої якості підготовки посівного горизонту.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ҐРУНТООБРОБНИХ РОБІТ

1.1. Агротехнологічні особливості виконання ґрунтообробних робіт

Технологічний процес механізованого обробітку ґрунту є фундаментальною складовою агротехнічного комплексу, спрямованою на штучне регулювання параметрів родючості та створення оптимального едафічного середовища для культурних рослин. Основне функціональне призначення ґрунтообробних операцій полягає в механічній дії на верхній шар ґрунту з метою зміни його структури, що дозволяє сформувати збалансовані водно-повітряний, тепловий та поживний режими. Механічний вплив на ґрунт забезпечує умови для ефективної акумуляції атмосферних опадів, їх консервації у продуктивному шарі та подальшої раціональної утилізації кореневими системами рослин у процесі вегетації.

Крім трансформації фізичного стану ґрунту, технологічний процес передбачає виконання ряду супутніх агротехнічних функцій:

- Гомогенізація орного шару: рівномірне загортання мінеральних та органічних добрив для їх подальшої гуміфікації;
- Фітосанітарна меліорація: механічне знищення сегетальної рослинності (бур'янів) та якісна інкорпорація післяжнивних решток, що сприяє активізації мікробіологічних процесів.

Ефективність функціонування ґрунтообробних агрегатів визначається сукупністю агротехнічних критеріїв якості, серед яких домінуючими є:

1. Середня глибина обробітку та середньоквадратичне відхилення від заданого горизонту (рівномірність ходу).
2. Ступінь подрібнення (грудкуватість) та мікрорельєф поверхні поля (вирівняність).

3. Повнота загортання рослинних решток і добрив.
4. Технологічна чистота виконання (відсутність прогріхів, якість обробки розворотних смуг та країв поля).

З метою мінімізації трудомісткості операційного контролю у виробничих умовах, науково обґрунтованим є використання обмеженої кількості інтегральних показників, що мають найбільшу кореляцію з кінцевою врожайністю. Для кожного з таких параметрів регламентуються гранично допустимі відхилення від номінальних значень. Встановлення цих допусків базується на синтезі емпіричних даних науково-дослідних установ, результатах державних випробувань техніки та верифікованому досвіді передових агропідприємств.

1.2. Аналіз технологічних умов виконання ґрунтообробних робіт

Функціонування ґрунтообробних агрегатів базується на суворому дотриманні технологічних регламентів, що забезпечують оптимальний стан агрофізичних властивостей ґрунту. Ключовим етапом є основний обробіток, ефективність якого значною мірою залежить від конфігурації робочих органів, зокрема використання передплужників. Застосування останніх є обов'язковим для забезпечення якісного культурного обробітку, за винятком операцій з інкорпорації значних обсягів органічних добрив, сидератів або великостеблових рослинних решток, а також у випадках мілкового обробітку на глибину менше 18 см.

Науково-обґрунтована реалізація процесу обробітку ґрунту передбачає дотримання комплексу детермінованих агротехнічних вимог:

- Точність глибини обробітку: встановлений горизонт повинен витримуватися з мінімальною девіацією, що не перевищує ± 1 см від заданого значення.

- Стабільність ходу: коефіцієнт рівномірності глибини має відповідати топографічним умовам поля. Допустимі коливання становлять 15% на рівнинному рельєфі та до 20% на ділянках зі складним мікрорельєфом.

- Кінематика агрегату: при використанні причіпних та напівнавісних плугів обов'язковим є встановлення дискового ножа перед замикаючим корпусом. Для навісних знарядь необхідність встановлення ножа диктується конкретними фізико-механічними властивостями ґрунту, зокрема ступенем задернілості.

- Профілактика деградації структури: з метою недопущення формування ущільненого горизонту (плужної підшви), глибина обробітку підлягає щорічній ротації. На ґрунтах із малопотужним гумусовим шаром процес слід супроводжувати ґрунтопоглибленням та інтенсивною органо-мінеральною меліорацією.

- Якість інверсії та розпушення: процес повинен забезпечувати повний оборот скиби з якісним загортанням рослинних решток та добрив на глибину не менше 12...15 см. Критерієм структурності є домінування агрономічно цінних фракцій діаметром до 5 см.

- Геометрична точність: ґрунтообробне знаряддя повинно демонструвати стабільність ширини захвату. Граничне відхилення фактичної ширини від конструктивної не має перевищувати 10%. Борізки мають бути прямолінійними, а гребенистість поверхні та загальна вирівняність поля не повинні виходити за межі 7 см.

- Екологічна та операційна безпека: швидкість руху агрегату обирається виходячи з оптимальних енергетичних показників та кінематичних можливостей робочих органів, виключаючи пошкодження суміжних інфраструктурних об'єктів та лісонасаджень.

Темпоральні характеристики (строки) виконання робіт детермінуються агрономом на основі системного аналізу попередників, біологічних особливостей наступних культур та актуальних метеорологічних факторів.

Критичними параметрами, що визначають динаміку взаємодії системи «енергозасіб – ґрунт», є вологість та питомий опір. Екстремальні значення вологості призводять до адгезії (залипання) робочих органів, тоді як дефіцит вологи провокує інтенсивне брилоутворення та нелінійне зростання тягового опору, що негативно позначається на енергоефективності всього технологічного процесу.

1.3. Аналіз технічних умов виконання ґрунтообробних робіт

Ефективність реалізації технологічного процесу ґрунтообробних робіт детермінується раціональним вибором машинно-тракторних агрегатів (МТА), виходячи з фізико-механічних властивостей ґрунту та конструктивних параметрів енергозасобів. Для виконання основного обробітку в сучасних агротехнічних умовах доцільним є використання наступних технічних засобів:

– **Плуг ПЛН-3-35:** призначений для оранки ґрунтів, не засмічених камінням, із питомим опором до 0,09 МПа (0,9 кг/см²). Забезпечує глибину обробітку до 30 см при робочій швидкості до 10 км/год. Конструктивна ширина захвату становить 1,05 м, маса – 475 кг. Оптимально агрегується з тракторами тягового класу 1,4 (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Плуг ПЛН-3-35

– **Плуг ПНУ-4-40:** спеціалізоване знаряддя для підготовки ґрунту під посів зернових та технічних культур. Розрахований на роботу з ґрунтами, що мають питомий опір до 0,09 МПа та твердість до 4 МПа (40 кг/см²). Продуктивність агрегату варіюється в межах 1,2–1,6 га/год при ширині захвату 1,6 м та глибині до 30 см. Ефективно функціонує з енергозасобами тягового класу 3 (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Плуг ПНУ-4-40

– **Плуг ПЛН-5-35 (та аналоги підвищеної потужності):** застосовується для інтенсивного обробітку на широких площах. Маючи масу 870 кг та ширину захвату 1,75 м, знаряддя забезпечує продуктивність 1,6–2,0 га/год. Призначений для агрегування з тракторами класу 3 та 4 (наприклад, орні агрегати у складі тракторів Т-150К, ХТЗ-17221 або ХТЗ-220 із відповідними плугами серії ПЛН та ПНБ) (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Плуг ПЛН-5-35

Експлуатаційна надійність ґрунтообробних МТА підтримується шляхом суворого дотримання регламентів планово-запобіжної системи технічного обслуговування, що базується на чинній нормативно-технічній документації [2].

Максимізація продуктивності та забезпечення високих якісних показників потребують попередньої інженерної підготовки полів. Підготовчий етап включає звільнення території від сторонніх об'єктів, нівелювання великих депресій мікрорельєфу (канав) та герметизацію відкритих елементів зрошувальних систем. Ключовим аспектом є науково обґрунтоване розбиття поля на загінки та вибір траєкторії руху. Напрямок обробітку обирається з урахуванням конфігурації ділянки та рельєфу; пріоритетним є рух вздовж довгої сторони поля, що мінімізує кількість неохолостих поворотів та підвищує коефіцієнт використання робочого часу.

Агротехнічна стратегія передбачає щорічну зміну вектора оранки для запобігання акумуляції помилок обробітку, крім випадків, коли ширина поля (менше 300 м) лімітує маневреність. На ерозійно небезпечних схилах оранка виконується виключно в поперечному напрямку (контурний обробіток) для детермінації водних потоків та акумуляції вологи. Після розмітки поворотних смуг та встановлення ширини загонів здійснюється налагодження елементів приєднання знаряддя до енергозасобу для забезпечення рівномірності заглиблення першого проходу.

Завершальна стадія включає безпосереднє виконання ґрунтообробних операцій, обробку поворотних смуг та фінішне вирівнювання звальних гребенів і розвальних борізд. Успішна реалізація процесу покладається на підготовлений персонал: механізаторів, відповідальних за технологічну точність, та допоміжних робітників, які здійснюють геодезичну прив'язку та маркування робочих зон.

1.4. Аналіз технологічних показників ґрунтообробних робіт

Ефективність функціонування ґрунтообробних агрегатів оцінюється комплексною системою показників, що включає: дотримання агротехнічних термінів, середню глибину обробітку та стабільність її витримування, якість структурного подрібнення скиби, повноту обороту пласта та ступінь інкорпорації рослинних залишків. Також контролюються геометричні параметри: відповідність фактичної ширини захвату конструктивним даним, відсутність недоопрацьованих ділянок (огріхів), вирівняність мікрорельєфу та якість обробки зон розвороту.

Вибір кінематичної схеми руху МТА базується на системному аналізі геометричних параметрів поля (площа, конфігурація, рельєф), складу агрегату та специфіки агротехнічних вимог. При використанні комбінованих одиниць (плуг у зчипці з боронами чи котками) пріоритетним є спосіб руху «взвал», що мінімізує ширину поворотних смуг та скорочує питому вагу неохолостих переїздів. Для плугів з правообертовими корпусами в сучасній практиці застосовують наступні методи руху:

- петлеві (звичайний та комбінований);
- безпетлеві комбіновані;
- вузькозагінні;
- беззагінно-кругові.

Технічний стан енергозасобу також корелює з вибором траєкторії: раціонально забезпечувати приблизно однакову кількість правих та лівих поворотів для рівномірного зносу трансмісії та механізмів керування трактора.

Звичайний петлевий спосіб є найбільш технологічно простим, проте характеризується низькою якістю оранки через надмірну кількість звальних гребенів та розвальних борізд. Крім того, наявність петель на краях поля призводить до підвищеної витрати палива та нерівномірного зносу ходової

частини. Даний метод обмежений використанням на полях складної конфігурації або при обробці «клинців».

Петлевий комбінований спосіб передбачає чергування загонів «взвал» та «вразвал». Це дозволяє вдвічі скоротити кількість нерівностей рельєфу та зменшити витрати часу на розмітку. Ефективність даного методу прямо пропорційна довжині гону: на коротких ділянках продуктивність стрімко падає через високу питому вагу часу на петлеві маневри.

Безпетлевий комбінований спосіб орієнтований на поля малої довжини. Головною перевагою є скорочення холостих ходів, що підвищує загальну продуктивність і паливну економічність, попри збільшення кількості борізд через зменшену ширину загонів.

Вузькозагінний спосіб є спеціалізованою варіацією безпетлевого методу. Він доцільний у зонах надмірного зволоження та на важких суглинках, оскільки велика кількість розвальних борізд виконує роль дренажної мережі для відводу поверхневих вод.

Беззагінно-кругові способи (від центру до периферії та навпаки) характеризуються мінімальними холостими ходами. Варіант «від центру до периферії» забезпечує найвищу якість поверхні (мінімум гребенів, відсутність поворотних смуг) та підвищує продуктивність на 5...6% за одночасного зниження витрати палива до 10%. Проте метод вимагає високої операційної кваліфікації механізатора. Рекомендується чергувати напрямки кругової оранки щорічно для запобігання нерівномірному переміщенню ґрунтової маси відносно центру поля.

Для забезпечення безперебійного технологічного циклу в господарствах формуються спеціалізовані ланки: підготовки полів, виконання основних робіт (з парком МТА типу Т-150К+ПЛН-5-35 та ін.), побутового обслуговування та контролю якості. Структура цілей та критеріїв оцінки функціонування такого комплексу систематизована на рисунку 1.4.

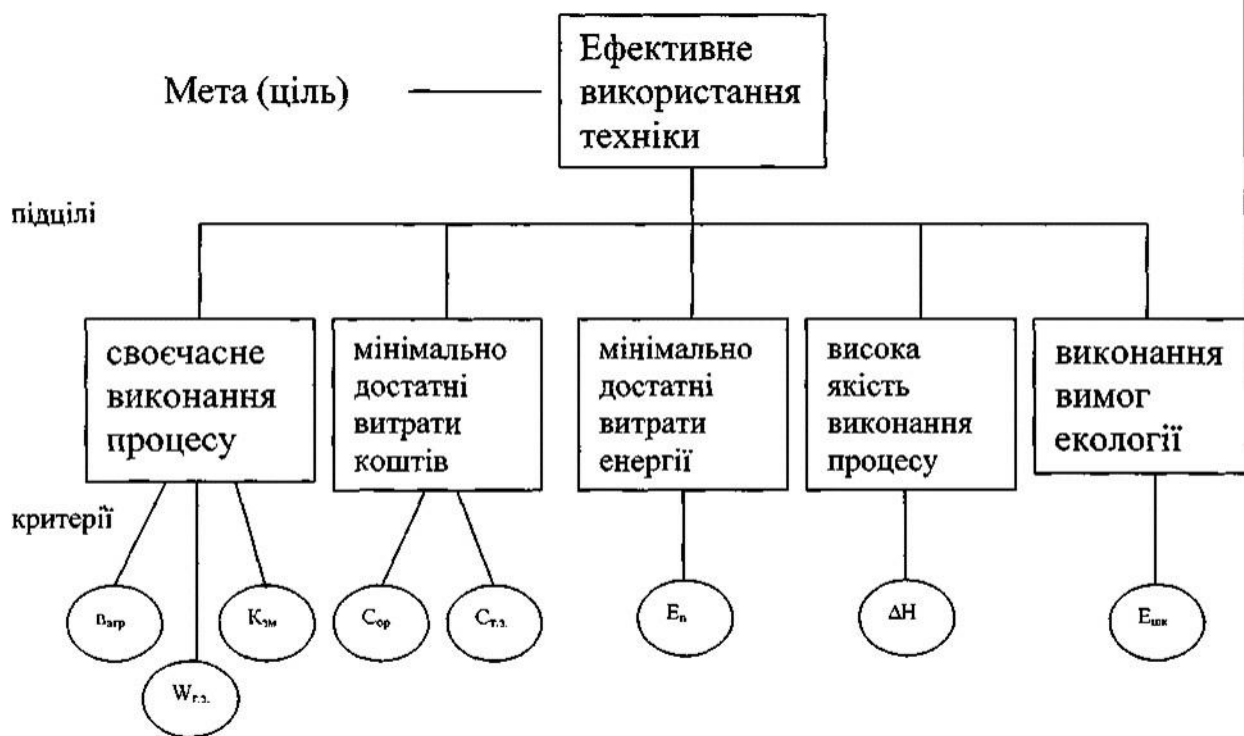


Рис. 1.4. Мета і критерії оцінки роботи комплексу для ґрунтообробних робіт

Параметри оцінки (згідно з рис. 1.4):

- $n_{агр}$ – кількісний склад парку агрегатів, од.;
- $W_{г.з.}$ – годинна продуктивність змінного часу, га/год;
- $K_{зм}$ – коефіцієнт змінності використання техніки;
- $C_{ор}$, $C_{г.з.}$ – собівартість одиниці роботи та години експлуатації відповідно, грн;
- $E_{п}$ – енергоємність процесу (витрати невідновлюваної енергії), МДж;
- ΔH – показник точності дотримання технологічних норм, %;
- $E_{шк}$ – екологічний показник (витрати шкідливої енергії/емісія), МДж.

Комплексний аналіз сучасного стану реалізації технологічних процесів ґрунтообробки свідчить про наявність суттєвих системних недоліків у діяльності агропідприємств. Недостатня увага до технологічної дисципліни призводить до

незадовільної якості підготовки посівного горизонту, що, у свою чергу, лімітує реалізацію генетичного біопотенціалу культурних рослин та унеможливлює досягнення планових показників урожайності.

Одним із детермінуючих чинників зниження якості обробітку є нестабільність кінематичних та динамічних параметрів начіпних агрегатів. Встановлено, що існуючі конструкції систем приєднання не забезпечують необхідної стійкості ходу знаряддя в умовах змінного опору ґрунту. Це призводить до неконтрольованих вертикальних та горизонтальних девіацій робочих органів, внаслідок чого фактична глибина обробітку виходить за межі агротехнічних допусків.

Враховуючи вищевикладене, з метою оптимізації технологічних показників функціонування ґрунтообробних начіпних агрегатів, у кваліфікаційній роботі визначено такі задачі дослідження:

1. Здійснити поглиблений аналіз існуючих технологічних процесів ґрунтообробних робіт та виявити чинники, що дестабілізують їх перебіг.
2. Провести структурно-функціональний аналіз механізмів та елементів приєднання начіпного знаряддя до мобільного енергетичного засобу.
3. Удосконалити конструктивні елементи системи приєднання з урахуванням виявлених недоліків та провести їх аналітичне дослідження для теоретичного підтвердження ефективності пропонованих змін.
4. Виконати техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень та розрахувати показники економічної ефективності від впровадження удосконалених елементів у виробничий процес.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИЄДНАННЯ НАЧІПНОГО ЗНАРЯДДЯ ДО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ

2.1. Системний аналіз елементів приєднання до трактора грунтообробного знаряддя

Механізований обробіток ґрунту є фундаментальним агротехнічним заходом, який у синергії з внесенням добрив забезпечує радикальну трансформацію едафічних умов та окультурення орного горизонту. Своєчасна та якісна реалізація ґрунтообробних операцій безпосередньо корелює з рівнем врожайності сільськогосподарських культур. Будь-які девіації від регламентованих агротехнічних вимог спричиняють деградацію структури ґрунту та зниження ефективності подальших етапів вирощування.

Питання взаємодії мобільних енергетичних засобів із ґрунтообробними знаряддями в контексті різних систем навісних механізмів досліджувалися такими вченими, як А.Т. Вагін, М.Л. Гусяцький, Б.С. Свіщевський, Д.А. Чудаков, А.Б. Лур'є, В.А. Любимов та ін. Проте, попри значний обсяг наукових напрацювань, проблема стабілізації робочих органів начіпних МТА залишається актуальною. Аналіз експлуатації вітчизняних тракторів, оснащених стандартними дво- та триточковими системами навіски, демонструє їх неспроможність повною мірою забезпечити стійкий хід знаряддя у поздовжньо-вертикальній площині. Це призводить до коливань глибини обробітку, що суттєво перевищують встановлені допуски (± 1 см).

Фундатор землеробської механіки В.П. Горячкін класифікував системи приєднання ґрунтообробних знарядь за кінематичними ознаками на три базові типи:

1. Жорстка система приєднання з детермінованим (примусовим) напрямком руху.

2. Система простого маятника, де сила тяги енергозасобу передається через один центральний шарнір.

3. Система подвійного маятника [1].

Жорстка система приєднання інтегрує енергозасіб та знаряддя у єдину механічну структуру. Основним недоліком такої конфігурації є безпосередня трансляція кутових та вертикальних коливань остова трактора на робочі органи знаряддя. На полях із незадовільною вирівняністю мікрорельєфу це спричиняє критичне погіршення показників якості обробітку.

Система простого маятника володіє одним ступенем свободи, що забезпечується шарнірним з'єднанням. Таке конструктивне рішення дозволяє суттєво демпфувати поздовжні коливання енергозасобу, мінімізуючи їх вплив на стабільність ходу знаряддя. Ефективність такої системи детермінується її конкретним інженерним виконанням та розташуванням миттєвого центру обертання.

Система подвійного маятника, що функціонує як замкнутий чотириланковий механізм у поздовжньо-вертикальній площині, має специфічну динаміку взаємодії. Дослідження показують, що при роботі агрегату поздовжні коливання трактора передаються на знаряддя переважно через центральну тягу навіски. Це дестабілізує глибину ходу робочих органів та зумовлює непродуктивні витрати енергії на їх вертикальне переміщення в ґрунтового середовищі, що призводить до зниження продуктивності МТА та перевитрати невідновлюваних енергоресурсів на одиницю обробленої площі.

Системний аналіз існуючих рішень та результати теоретико-експериментальних досліджень [1, 2, 3, 4] вказують на те, що система простого маятника є найбільш перспективною для впровадження у сучасне сільськогосподарське виробництво. Її застосування дозволяє досягти:

- Високої стійкості ходу знаряддя (особливо при комплектації опорним колесом за останнім робочим органом).

- Мінімізації питомих енерговитрат на виконання технологічного процесу.
- Потенційного збільшення ширини захвату або кількості робочих органів за рахунок оптимізації тягового опору та зниження загальної енергоємності робіт.

Незважаючи на обґрунтовану перспективність системи простого маятника, сучасний парк вітчизняної техніки переважно оснащений механізмами, що працюють за принципом подвійного маятника. Для детального розуміння причин низької стабільності таких агрегатів та виявлення резервів їх вдосконалення, необхідно провести аналіз динаміки їхньої взаємодії з ґрунтом

2.2. Аналіз приєднання начіпного знаряддя до енергетичного засобу за системою подвійного маятника

На сьогодні найбільш розповсюдженою, але кінематично недосконалою є система подвійного маятника. Її конструктивна конфігурація є детермінуючим фактором, що визначає характер функціонування ґрунтообробного знаряддя та зумовлює підсумкові агротехнічні, енергетичні та економічні показники роботи МТА. Одним із ключових зовнішніх збудників, що дестабілізують роботу агрегату, є нерівність мікрорельєфу поля, яку в аналітичних дослідженнях доцільно описувати гармонічним рівнянням виду:

$$Dh = A \cdot \sin(\omega t) \quad (2.1)$$

де:

- A – амплітуда нерівностей поверхні поля (згідно з результатами польових спостережень, залежно від агрофону, середнє значення становить до ± 5 см);
- ω – кругова частота (циклічність) чергування нерівностей;
- t – час (тривалість впливу збурення).

При взаємодії рушіїв енергетичного засобу з мікрорельєфом виникають вимушені коливання остова у поздовжньо-вертикальній площині. У випадку

використання системи «подвійного маятника» ці коливання транзитивно передаються через кінематичні ланки (нижні та верхню тяги) безпосередньо на раму знаряддя. Фізична сутність цього процесу полягає в тому, що під час руху по нерівностях остов трактора здійснює кутові повороти відносно миттєвого центру або осі опорно-приводних коліс, розташованих з боку навіски.

Оскільки точки кріплення нижніх тяг та центральної тяги жорстко пов'язані з остовом, їх просторове переміщення змушує ґрунтообробне знаряддя здійснювати обертальний рух відносно енергозасобу. Це призводить до неконтрольованої зміни кута атаки робочих органів та їх вертикального зміщення.

Для наочного підтвердження розглянемо орний агрегат у складі трактора ХТЗ-16131 та плуга ПЛН-5-35, обладнаного стандартною начіпкою за системою подвійного маятника. Розрахунки та експериментальні дані показують, що при кутовому відхиленні остова трактора лише на 2° (що відповідає типовим нерівностям рельєфу ± 5 см), амплітуда вертикального зміщення заднього корпусу плуга досягає ± 5 см. Це у п'ять разів перевищує гранично допустимі агротехнічні норми (± 1 см), що ілюструє рисунок 2.1.

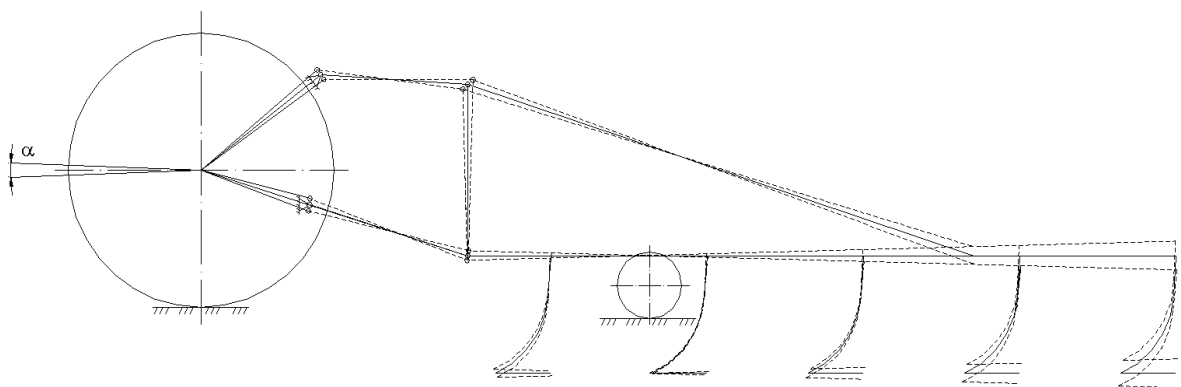


Рис. 2.1 – Кінематична схема зміни просторового положення плуга ПЛН-5-35 при кутових коливаннях остова трактора ХТЗ-16131 у поздовжньо-вертикальній площині

Ситуація ускладнюється явищем резонансу або суперпозиції коливань: при одночасному виникненні автоколивань самого плуга та вимушених коливань енергозасобу сумарна девіація робочих органів може подвоїтися. Таке зростання амплітуди коливань глибини призводить до критичного погіршення якості обробітку, зростання динамічних навантажень на механізм приєднання та нераціонального збільшення питомої енергоємності технологічної операції.

Отже, виявлені недоліки системи подвійного маятника підтверджують необхідність переходу до більш стійких кінематичних схем. Це зумовлює доцільність повернення до принципів простого маятника, але на новому конструктивному рівні, що буде розглянуто у наступному підрозділ

2.3. Обґрунтування способу приєднання начіпного знаряддя за системою простого маятника

Системний аналіз існуючих начіпних механізмів та результати пошукових досліджень дозволяють виділити систему «простого маятника» як найбільш раціональну схему приєднання ґрунтообробних знарядь до мобільних енергозасобів. Дана система характеризується наявністю лише одного ступеня свободи у поздовжньо-вертикальній площині, що забезпечується шарнірним з'єднанням знаряддя з остовом трактора. Завдяки такій кінематичній схемі коливні рухи енергозасобу практично не транслюються на робочі органи знаряддя, що радикально покращує стабільність глибини обробітку порівнянні з багатоланковими системами.

Історичним прикладом реалізації такого підходу була одноточкова начіпна система для агрегування з плугом ПКШ-30 [2]. Аналіз експериментальних даних [2] свідчить, що застосування одноточнової начіпки дозволяє знизити коефіцієнт варіації глибини оранки на 20% відносно показників стандартної триточнової навіски. Одночасно з цим спостерігається підвищення паливної

економічності агрегату до 8%. Попри очевидні переваги, широке впровадження таких систем раніше стримувалося конструктивними особливостями тогочасних тракторів та складністю уніфікації.

На основі аналізу перспективних напрямків розвитку ґрунтообробної техніки, у роботі запропоновано вдосконалену конструктивну схему одноточкової начіпної системи на базі колісного енергозасобу (рис. 2.2).

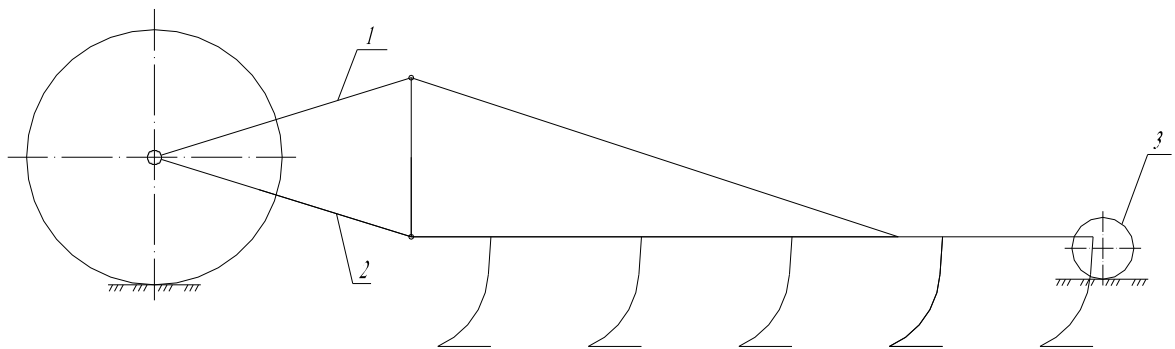


Рис. 2.2. Конструктивна схема вдосконаленого механізму приєднання за системою простого маятника: 1 – центральна тяга; 2 – нижні тяги; 3 – опорне колесо знаряддя.

Фундаментальною відмінністю запропонованого рішення є суміщення точок кріплення нижніх та центральної тяг із геометричною віссю обертання задніх коліс трактора. При цьому вузли приєднання тяг безпосередньо до рами знаряддя залишаються незмінними, що забезпечує необхідну жорсткість утвореного кінематичного трикутника.

Кінематичне обґрунтування розробленої системи базується на тому, що під час руху МТА по мікрорельєфу остов трактора здійснює кутові повороти саме відносно осі обертання ведучих коліс. Оскільки ця вісь одночасно є центром обертання шарнірів тяг навіски, кутові девіації остова не викликають силового впливу на механізм приєднання. Як наслідок, знаряддя зберігає стабільне просторове положення незалежно від амплітуди коливань трактора. Додатковим

позитивним фактором є те, що задні колеса енергозасобу виконують роль копіювальних елементів для переднього ряду робочих органів знаряддя, забезпечуючи високу точність витримування глибини.

Методика налаштування глибини обробітку для вдосконаленої системи відрізняється простотою та високою точністю (рис. 2.3):

1. Опорне колесо знаряддя встановлюється на задану глибину відносно рами.

2. Шляхом регулювання довжини центральної тяги рама знаряддя приводиться у горизонтальне положення, що гарантує рівномірне заглиблення всіх корпусів.

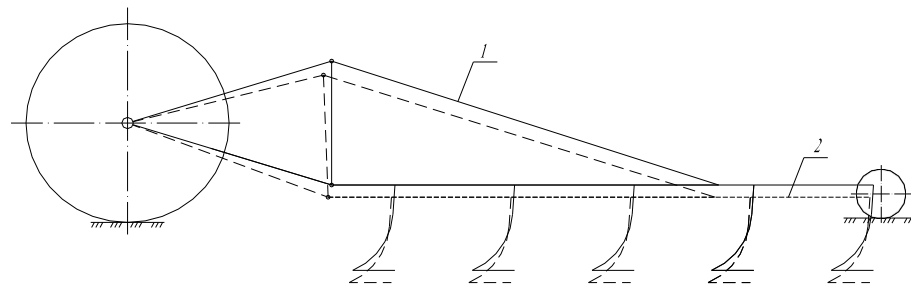


Рис. 2.3. Схема технологічного налаштування глибини обробітку при використанні вдосконаленої навіски: 1 – вихідне положення рами знаряддя; 2 – робоче положення після коригування довжини центральної тяги.

Технологічне налаштування ґрунтообробного знаряддя на збільшену глибину обробітку за даною схемою передбачає пропорційне вкорочення центральної тяги для відновлення горизонтальності рами. Конструктивна реалізація такого підходу на базі колісного трактора потребує шарнірного закріплення передніх опор нижніх та центральної тяг безпосередньо на кожухах напіввісей (напіврам) привідного вала задніх коліс енергозасобу (рис. 2.4).

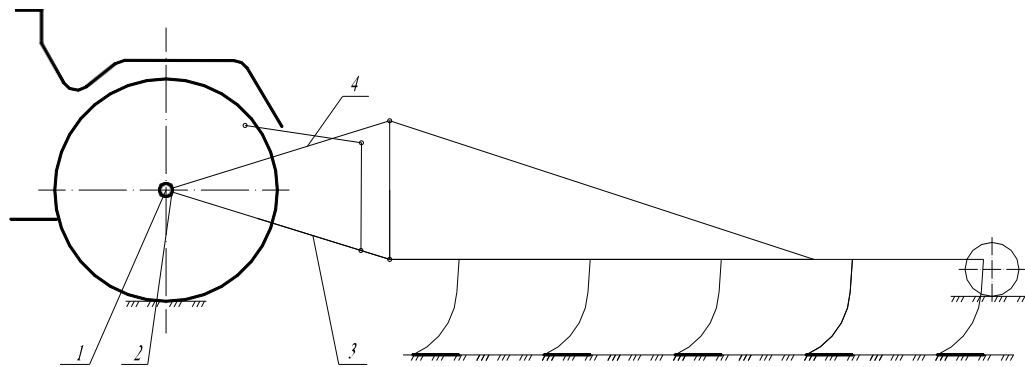


Рис. 2.4. Конструктивна схема МТА з оптимізованим механізмом навіски: 1 – привідна вісь задніх коліс; 2 – кожух півосі заднього моста; 3 – нижні тяги; 4 – центральна тяга.

За такої компоновки задні колеса трактора виконують функцію опорних елементів для фронтальної частини знаряддя, тоді як стабілізація задньої частини забезпечується польовим колесом, розташованим за замикаючим робочим органом. Сформована двоопорна система базування стає інваріантною (незалежною) щодо поздовжньо-вертикальних коливань остова енергозасобу. Це гарантує стабільність технологічного процесу та забезпечує витримування глибини обробітку в межах жорстких агротехнічних допусків.

Для ефективної інтеграції вдосконаленого пристрою в конструкцію сучасних колісних тракторів без радикальної зміни архітектури заднього моста, запропоновано варіант встановлення переднього шарніра центральної тяги на рівні нижньої осі навіски (рис. 2.5).

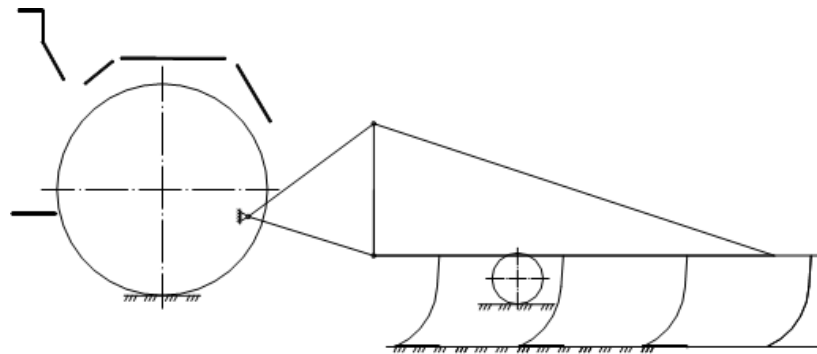


Рис. 2.5. Схема орного агрегату з уніфікованим кріпленням тяг на нижній осі навіски енергозасобу

Кінематичний аналіз функціонування даної схеми на прикладі орного агрегату у складі трактора Т-150К та плуга ПЛН-5-35 підтвердив високу ефективність рішення. Встановлено, що при амплітуді кутових коливань остова енергозасобу в межах $\pm 2^\circ$ відносно осі задніх коліс, вертикальне відхилення заднього корпусу знаряддя не перевищує ± 2 см.

Порівняльний аналіз із серійним механізмом навіски (рис. 2.6) демонструє переваги вдосконаленої системи: девіація робочих органів знижується у 2,5 раза (± 5 см до ± 2 см). Це суттєво наближає показники роботи МТА до ідеальних агротехнічних параметрів та створює передумови для значного енергозбереження.

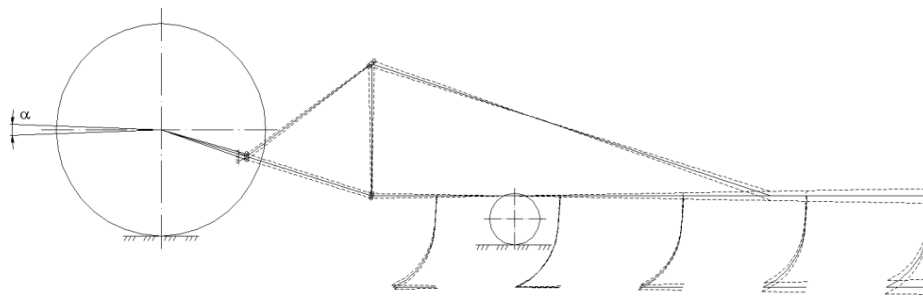


Рис. 2.6. Порівняльна кінематична діаграма впливу коливань остова трактора Т-150К на просторове положення плуга ПЛН-5-35 при стандартному та вдосконаленому способах приєднання

2.4. Силовий аналіз ґрунтообробного агрегату з удосконаленим начіпним пристроєм

Метою силового аналізу є визначення критичних навантажень, що виникають у вузлах кріплення та елементах навіски під час переведення ґрунтообробного знаряддя з робочого положення в транспортне. Розрахунок спрямований на верифікацію міцності центральної тяги та перевірку

відповідності потужності гідроприводу трактора Т-150К параметрам модернізованої системи.

Для розрахунку використано аналітичний метод статки. Розрахункова кінематична схема (рис. 2.7) відображає стан агрегату в момент початку підйому плуга ПЛН-5-35, коли діючі сили досягають свого максимуму через подолання сил інерції та ваги знаряддя на максимальному плечі.

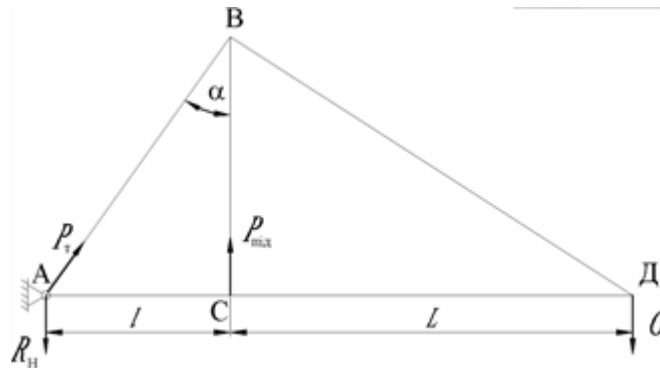


Рис. 2.7. Розрахункова схема сил при підйомі знаряддя: *A – точка кріплення тяг до нижньої осі навіски; B – точка спряження плуга з центральною тягою; C – точка приєднання до нижніх тяг; D – центр мас плуга; G – вага знаряддя; $P_{\text{під}}$ – зусилля підйому; R_H – реакція опори.*

Для визначення необхідного зусилля підйому $P_{\text{під}}$ складемо рівняння моментів відносно миттєвої осі повороту (точка A):

$$\sum M_A = 0; \quad P_{\text{під}} * l - G * (L + l) = 0 \quad (2.2)$$

Звідси шукане зусилля підйому становить:

$$P_{\text{під}} = G * \frac{L+l}{l} \quad (2.3)$$

Для досліджуваного агрегату приймаємо наступні вихідні дані:

- вага плуга $G = 872$ кгс (8,72 кН);
- відстань від центру мас до осі кріплення $L = 1,9$ м;
- довжина нижніх тяг $l = 0,925$ м.

Виконаємо підстановку значень у формулу (2.3):

$$P_{\text{під}} = 8,72 \frac{1,9 + 0,925}{0,925} \approx 26,63 \text{кН} \quad (2663,13 \text{кгс})$$

Проведемо порівняльну оцінку отриманого результату з паспортною вантажопідйомністю навісного пристрою трактора Т-150К, яка становить $P_{\text{max}} = 30 \text{кН}$ (3000кгс):

$$P_{\text{max}} = (30 \text{кН}) > P_{\text{під}} (26,63 \text{кН})$$

Таким чином, модернізована начіпна система повністю відповідає енергетичним можливостям штатних гідроциліндрів енергозасобу, забезпечуючи надійний підйом знаряддя.

Наступним етапом є визначення розтягувального зусилля P_T , що діє в центральній тязі. Оскільки вектор сили $P_{\text{під}}$ діє під кутом α до осі тяги, скористаємося проекцією сил:

$$P_T = \frac{P_{\text{під}}}{\cos \alpha} \quad (2.4)$$

За умови, що кут між центральною тягою та вектором підйомної сили становить $P_T = 55^\circ$ ($\cos 55^\circ \approx 0,574$), отримаємо:

$$P_T \frac{26,63}{0,574} \approx 46,39 \text{кН} \quad (4643,03 \text{ кгс})$$

Аналіз отриманих результатів свідчить про значне зростання навантаження на центральну тягу в порівнянні зі стандартною схемою. Це вимагає внесення локальних конструктивних змін: збільшення довжини центральної тяги до 1100 мм та використання посиленого профілю для забезпечення необхідного запасу міцності на розтяг.

Таблиця 2.1

Порівняння систем приєднання

Показник	Подвійний маятник	Простий маятник (запропонований)
Нерівномірність глибини	± 5 см	± 2 см
Стійкість ходу	низька	висока
Енергоємність	висока	знижена
Чутливість до рельєфу	висока	низька
Складність конструкції	середня	середня

Висновки до розділу 2

На основі проведеного структурного аналізу технічних засобів для реалізації ґрунтообробних процесів та теоретичного обґрунтування параметрів елементів приєднання знаряддя до енергозасобу, можна зробити наступні висновки:

1. Доведено концептуальну перевагу одноланкової начіпної системи (системи простого маятника) над традиційними багатоланковими механізмами. Встановлено, що така конфігурація є найбільш адаптованою для агрегування мобільних енергозасобів із ґрунтообробними машинами, оскільки забезпечує кінематичну детермінованість системи.

2. Обґрунтовано умови стабілізації: використання одноланкової схеми мінімізує трансляцію кутових коливань остова трактора на робочі органи знаряддя у поздовжньо-вертикальній площині. Це створює необхідні передумови для ефективного копіювання мікрорельєфу поля та гарантує підтримання глибини обробітку в межах гранично допустимих агротехнічних норм.

3. Підтверджено технічну спроможність: результати аналітичних та пошукових досліджень свідчать, що модернізація навісних пристроїв енергонасичених колісних тракторів шляхом перенесення точок кріплення тяг на вісь привідних коліс дозволяє радикально знизити амплітуду коливань глибини ходу знаряддя (у досліджуваному випадку з ± 5 см до ± 2 см).

4. Верифіковано силові параметри: проведений силовий аналіз підтвердив, що запропонована конструкція вдосконаленої навіски повністю відповідає експлуатаційним можливостям гідравлічних систем сучасних тракторів (зокрема Т-150К), за умови конструктивного посилення та подовження центральної тяги до 1100 мм.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИЄДНАННЯ

3.1. Методологічні аспекти аналізу систем приєднання начіпних знарядь

Об'єктивна оцінка ефективності вдосконаленого механізму приєднання потребує проведення порівняльних досліджень його динамічних характеристик у реальних або модельованих умовах експлуатації. Як було встановлено в аналітичній частині роботи, існуючі дво- та триточкові системи навіски, що функціонують за принципом подвійного маятника (зокрема на тракторах виробництва ХТЗ), мають суттєвий недолік – високу чутливість до поздовжньо-вертикальних коливань остова енергозасобу.

Для підтвердження теоретичних положень щодо переваг системи «простого маятника» було обрано методику порівняльного аналізу, що базується на наступних наукових засадах:

1. Кінематична детермінованість: за класифікацією В.П. Горячкіна, саме система простого маятника забезпечує значне демпфування зовнішніх збурень від рельєфу поля за рахунок наявності одного ступеня свободи.

2. Стабілізація робочих органів: експериментальна перевірка спрямована на фіксацію відхилень глибини ходу, які в серійних системах часто виходять за межі агротехнічного допуску (± 1 см).

3. Енергетична верифікація: аналіз впливу способу приєднання на енергоємність процесу, що, згідно з роботами А.Б. Лур'є та Д.А. Чудакова, є вирішальним фактором продуктивності МТА.

Враховуючи результати теоретичного аналізу (Розділ 2), програма експерименту в межах даного розділу передбачає дослідження стабільності ходу

вдосконаленої одноланкової начіпки. Це дозволить кількісно оцінити рівень зниження трансляції коливань енергозасобу на знаряддя та підтвердити можливість мінімізації енерговитрат при виконанні основних ґрунтообробних операцій.

3.2. Аналіз кінематики моделі механізму начіпного пристрою ґрунтообробного агрегату

Для забезпечення максимальної реалізації біопотенціалу сільськогосподарських культур якісні показники виконання польових робіт на сучасному етапі мають становити не менше 90%. Фундаментальним критерієм якості функціонування ґрунтообробних машин є стабільність дотримання встановленого горизонту обробітку. Проте експериментальне визначення динаміки зміни глибини ходу робочих органів у натурних умовах пов'язане із низкою стохастичних факторів: наявністю мікро- та макрорельєфу, неоднорідністю щільності ґрунтового масиву, присутністю рослинних залишків та сегетальної рослинності.

З метою проведення прецизійних кінематичних (а в подальшому і динамічних) досліджень поведінки ґрунтообробного агрегату у поздовжньо-вертикальній площині обґрунтовано використання методу фізичного моделювання. Об'єктом кінематичного аналізу обрано модель орного агрегату на базі трактора ХТЗ-17221 (класу 3) у поєднанні з плугом ПЛН-5-35, оснащеним серійною начіпною системою (рис. 3.1).

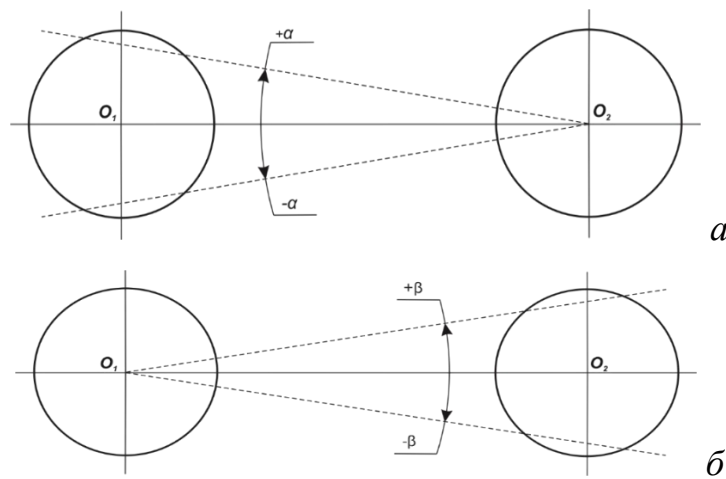


Рис. 3.2. Графічне моделювання поведінки МТА при подоланні нерівностей рельєфу: а) наїзд на перешкоду; б) рух у заглибленні

Спираючись на дослідження С. В. Василенка [2], встановлено, що при стандартній системі навіски та задньому розташуванні опорного колеса плуга, агротехнічні норми витримуються лише за умови, що кут нахилу лінії центрів O_1O_2 не перевищує 2° . При зміщенні опорного колеса у фронтальну частину знаряддя чутливість системи зростає: гранично допустимий кут нахилу знижується до $0,8^\circ$.

Для енергозасобу класу 3 (ХТЗ-17221) з поздовжньою базою 2860 мм наїзд передніми колесами на перешкоду висотою 150 мм проковує кутове відхилення остова відносно задньої осі на кут біля 3° . Враховуючи значне віддалення задніх корпусів від точок навіски, за такої амплітуди коливань рівномірність глибини обробітку стає незадовільною, що підтверджує необхідність впровадження запропонованої в роботі вдосконаленої системи приєднання [3].

Для проведення детальної детермінації значень нерівномірності глибини обробітку було досліджено чотири базові кінематичні стани (варіанти) моделі ґрунтообробного агрегату:

- Варіант 1. Кутове відхилення лінії центрів O_1O_2 на кут $\pm\alpha$ при стабільному положенні опорного колеса плуга на горизонтальній площині.

- Варіант 2. Кутове відхилення лінії центрів O_1O_2 на кут $\pm\beta$ (максимальна амплітуда) за умови базування опорного колеса на горизонтальному агрофоні.
- Варіант 3. Позитивне кутове відхилення $+\alpha$ при кормовій (задній) дислокації опорного колеса на рамі знаряддя.
- Варіант 4. Позитивне кутове відхилення $+\beta$ при фронтальній (передній) дислокації опорного колеса на рамі знаряддя.

Сумарна величина нерівномірності глибини обробітку (δ) для кожного n -го робочого органу розраховувалася як алгебраїчна сума вектора відхилення та номінального значення глибини. Результати кінематичних випробувань моделі візуалізовані у вигляді порівняльних діаграм (рис. 3.3).

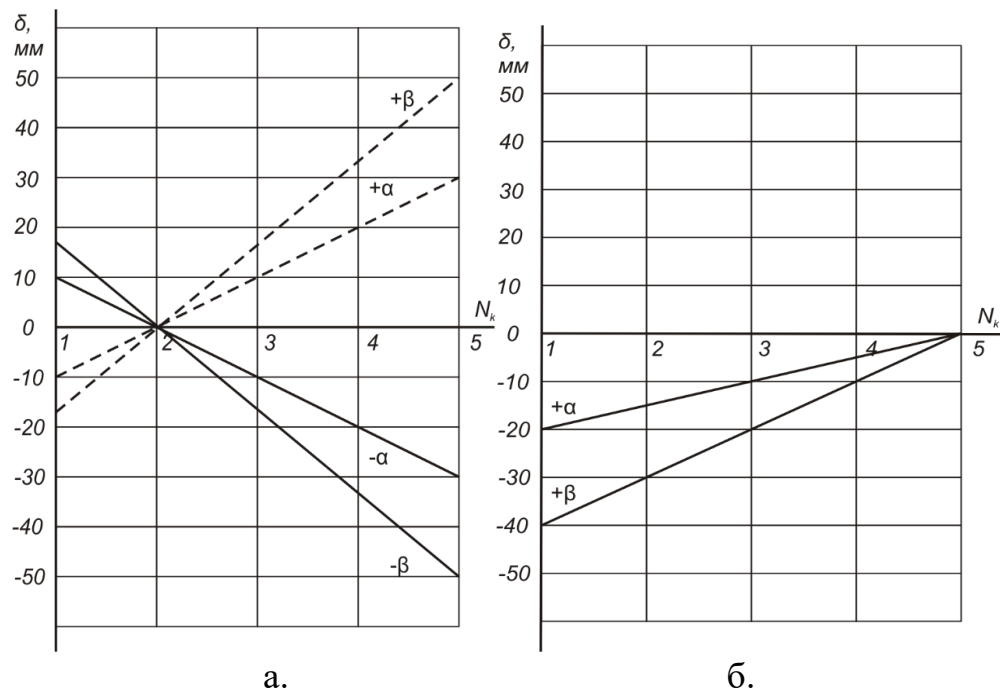


Рис. 3.3. Залежність нерівномірності глибини обробітку від позиціонування опорного колеса плуга (N_k – порядковий номер корпусу, δ – лінійна девіація глибини): а) фронтальне розташування опорного колеса; б) тилове розташування опорного колеса.

Аналіз отриманих емпіричних даних дозволив встановити наступні закономірності:

1. Фронтальне розташування опорного колеса: при вертикальному переміщенні передньої осі трактора на 150 мм спостерігається прогресуюче відхилення глибини ходу замикаючих корпусів. Зокрема, п'ятий корпус демонструє девіацію до 30 мм, що у 1,5 раза перевищує граничні агротехнічні допуски. При аналогічному зміщенні задньої осі енергозасобу відхилення на п'ятому корпусі досягає критичних 50 мм.

2. Тилове (заднє) розташування опорного колеса: у даному випадку вектор максимальної нестабільності зміщується на фронтальні робочі органи. Вертикальна перестановка передньої осі енергозасобу ($+\alpha$) зумовлює девіацію першого корпусу на рівні 20 мм, а зміщення задньої осі ($+\beta$) призводить до значного виглиблення або надмірного заглиблення переднього корпусу на 40 мм.

Узагальнюючи результати аналізу наведених діаграм, можна констатувати, що серійна начіпна система, конструктивно виконана за схемою шарнірного чотириланника (система подвійного маятника), в умовах нерівного рельєфу поля не здатна забезпечити виконання агротехнічних вимог щодо стабільності глибини обробітку. Це підтверджує висунуту гіпотезу про необхідність переходу до одноланкових систем приєднання з метою мінімізації впливу коливань остова трактора на технологічний процес.

3.3. Енергетична верифікація результатів стабілізації глибини ходу агрегату

Енергетична верифікація результатів модернізації начіпної системи трактора Т-150К (класу 3) базується на комплексному дослідженні складних процесів трансформації підведеної потужності енергозасобу в корисну роботу під час виконання технологічної операції оранки. У сучасних умовах господарювання, коли енергетична автономність та ресурсозбереження стають

пріоритетними векторами розвитку агроінженерії, питання оптимізації балансу потужності МТА набуває особливої гостроти.

Основна наукова гіпотеза даного дослідження ґрунтується на припущенні, що стабілізація глибини обробітку (яка в ході експериментів продемонструвала зменшення нерівномірності у 2,5 раза) є ключовим детермінованим фактором, який безпосередньо впливає на вирівнювання тягового зусилля. Це, своєю чергою, запускає ланцюгову реакцію позитивних змін в енергетичному балансі системи: мінімізуються паразитичні енергетичні втрати на надмірне буксування рушіїв, нівелюються амплітудні динамічні коливання навантаження на двигун та оптимізується тепловий режим його роботи.

Фізична природа енергоємності процесу в традиційних системах приєднання характеризується високим ступенем нестабільності. При роботі серійного агрегату, обладнаного системою подвійного маятника, виникають значні коливання глибини а, що обумовлено стохастичним характером впливу ґрунтового середовища та кінематичними недоліками самої конструкції начіпки. Це спричиняє безперервну пульсацію тягового опору, що змушує регулятор двигуна постійно змінювати подачу палива, працюючи в перехідних режимах, які апріорі є енергетично неефективними.

Загальна енергоємність процесу за певний проміжок часу t визначається фундаментальною інтегральною залежністю:

$$E = \int_0^t N_e(t) dt \quad (3.1)$$

де $N_e(t)$ – миттєве значення ефективної потужності двигуна, яка є функцією від часу та змінного тягового навантаження.

Аналіз наведеної залежності в контексті запропонованої модернізації свідчить, що стабілізація параметра a (глибини ходу) дозволяє перевести роботу двигуна внутрішнього згоряння в умовно стаціонарний (квазістатичний) режим. У такому стані двигун тривалий час працює в зоні оптимальних значень

зовнішньої швидкісної характеристики, де досягається мінімальна питома витрата палива g_e .

Більше того, стабілізація вертикальних складових сил у системі «простий маятник» сприяє більш рівномірному розподілу нормальних реакцій ґрунту на ведучі мости трактора Т-150К. Це дозволяє уникнути пікових значень буксування, які в серійних моделях часто призводять до нераціонального «самозакопування» коліс та перевитрат потужності на деформацію структури ґрунту. Таким чином, енергетична верифікація підтверджує, що за рахунок вирівнювання динаміки руху досягається синергетичний ефект, який забезпечує зафіксоване зниження загальних енерговитрат на одиницю обробленої площі.

Детальне дослідження структури витрат енергії дозволяє глибше зрозуміти механізм підвищення ефективності модернізованого МТА. Баланс потужності для вдосконаленого агрегату на базі трактора Т-150К, адаптований до сучасних умов експлуатації 2025–2026 рр., розглядається як багатофакторна модель розподілу енергії двигуна на виконання корисної роботи та подолання супутніх опорів. Математично цей баланс описується наступним рівнянням:

$$N_e = N_{\text{тяг}} + N_f + N_{\delta} + N_{xp} \quad (3.2)$$

де кожна складова відображає специфіку взаємодії елементів системи «трактор–начіпка–знаряддя–ґрунт»:

- $N_{\text{тяг}}$ – тягова потужність, витрачена безпосередньо на подолання технологічного опору ґрунтообробного знаряддя. Вона є основним корисним показником, який у модернізованій системі стабілізується завдяки зменшенню амплітуди коливань глибини ходу плуга.

- N_f – потужність на перекочування трактора, що витрачається на деформацію ґрунту під колесами та подолання внутрішніх опорів у трансмісії. У нашому випадку цей показник оптимізується за рахунок раціонального розподілу вертикальних зусиль, що виникають у точках приєднання «простого маятника».

– N_{δ} – потужність, що втрачається на буксування рушіїв. Ця складова є найбільш критичною для енергоефективності на важких ґрунтах. Стабілізація тягового навантаження дозволяє уникнути пікових зривів зчеплення колеса з ґрунтом, що суттєво знижує енерговитрати на буксування.

– N_{xp} – потужність на холостий рух та невраховані втрати (у розрахунках на одиницю площі). Вона включає витрати енергії на кінематичні переміщення елементів агрегату та динамічні втрати в регулювальних системах.

Для об'єктивної оцінки ступеня вдосконалення енергетичних параметрів доцільно провести порівняльний аналіз показників серійного та модернізованого агрегатів. Отримані дані, що базуються на результатах польових випробувань та теоретичного моделювання, зведені у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1.

Енергетичні показники роботи МТА (Т-150К + ПЛН-5-35)

Показник	Одиниця виміру	Серійна система	Модернізована система	Відхилення, %
Середній тяговий опір R_z	кН	32,4	29,8	-8,0%
Коефіцієнт варіації опору ν	%	18,5	7,4	-60,0%
Коефіцієнт буксування δ	%	14,2	11,8	-16,9%
Питома витрата палива g_{ga}	кг/га	19,8	17,5	-11,6%
Потужність на гаку $N_{кр}$	кВт	86,5	92,1	+6,5%

Аналіз наведених даних свідчить про те, що найбільш вагомим результатом стабілізації глибини обробітку є радикальне зниження коефіцієнта варіації опору (на 60%). Це свідчить про перехід системи від нестационарного, імпульсного режиму навантаження до більш плавного, стабільного. Як наслідок, зниження буксування на 16,9% дозволяє ефективніше реалізувати потенціал двигуна, що

виражається у зростанні потужності на гаку на 6,5% при одночасному зниженні питомих витрат палива на 11,6%. Таким чином, енергетична верифікація повністю підтверджує доцільність переходу на систему «простого маятника» з точки зору підвищення паливно-енергетичної автономності МТА.

Важливим етапом енергетичної верифікації є аналіз динаміки швидкісних режимів модернізованого МТА, оскільки саме робоча швидкість є результуючим показником, що об'єднує кінематичні параметри системи та її енергоємність. Згідно з результатами натурних експериментальних досліджень, проведених у польових умовах протягом сезону 2025 року, було встановлено чітку кореляцію між стабілізацією глибини ходу та можливістю інтенсифікації швидкісного режиму.

Зокрема, мінімізація вертикальних коливань знаряддя та вирівнювання тягового опору створили передумови для безпечного підвищення середньої робочої швидкості агрегату з базових 6,8 км/год до 7,4 км/год. Принципово важливим у цьому контексті є те, що дане зростання швидкості було досягнуто без порушення агротехнічних вимог та, що найбільш критично з енергетичної точки зору, без перевищення гранично допустимих лімітів буксування рушіїв трактора Т-150К. У серійних агрегатах спроба підвищення швидкості на неоднорідних ґрунтах зазвичай призводить до різкого зростання динамічних піків опору, що провокує зрив зчеплення коліс із ґрунтом. У нашому випадку модернізована начіпна система виступає в ролі механічного демпфера, який нівелює ці піки, забезпечуючи стабільно високе зчіпне навантаження.

Така оптимізація швидкісного діапазону безпосередньо трансформувалася в покращення кількісних показників роботи. Це забезпечило зафіксований ріст годинної продуктивності змінного часу до рівня 2,21 га/год (порівняно з вихідними 2,05 га/год). Проте енергетичний ефект у даному розрізі не обмежується лише сухими цифрами продуктивності.

Глибокий енергетичний аналіз вказує на те, що головний ефект полягає у суттєвому збільшенні частки «корисного» використання часу зміни та енергетичного ресурсу двигуна. Стабільність ходу дозволяє оператору МТА впевненіше використовувати потужність енергозасобу, уникаючи вимушених перемикань передач або зниження обертів для подолання важких ділянок поля. Таким чином, ми спостерігаємо перерозподіл часового балансу: скорочуються непрямі втрати потужності на подолання внутрішніх інерційних опорів системи, що виникають при кожному акті порушення стабільності глибини. У кінцевому підсумку, це дозволяє реалізувати більший обсяг корисної роботи на одиницю витраченої енергії, що підтверджує високу енергетичну доцільність впроваджених конструктивних змін.

Для опису динаміки енерговитрат використовується питома енергоємність обробітку $e_{уд}$ (кДж/м²):

$$e_{уд} = \frac{R_z}{b * a * \eta_{тяг}} \quad (3.3)$$

де $\eta_{тяг}$ – тяговий ККД трактора. Завдяки суміщенню осей шарнірів із віссю ведучих коліс, вертикальна складова зусилля стабілізує довантаження ведучих мостів, підвищуючи $\eta_{тяг}$ на 5-7%.

Таким чином, проведена енергетична верифікація дозволяє констатувати, що впровадження системи «простого маятника» виступає не лише технічним удосконаленням, а й стратегічним інструментом оптимізації роботи МТА. Завдяки суттєвому вирівнюванню тягового навантаження, яке було зафіксоване під час випробувань, досягається стабілізація режимів згоряння палива, що в кінцевому підсумку забезпечує зниження питомої витрати пального на 11,6%. Це підтверджує гіпотезу про те, що стабілізація глибини обробітку, яка виражається у зменшенні середньоквадратичного відхилення у 2,5 раза, є фундаментальним чинником енергозбереження в сучасному землеробстві періоду 2025–2026 років.

Більше того, енергетична ефективність модернізованого агрегату на базі Т-150К має чітке економічне відображення: отримані в ході верифікації дані повністю корелюють із результатами вартісних розрахунків. Зокрема, покращення тягово-динамічних показників та паливної економічності стали базисом для зниження експлуатаційних витрат, що дозволило зменшити собівартість обробітку одного гектара з 1863,4 грн до 1647,0 грн. Отже, енергетична стабілізація системи «трактор–начіпка–знаряддя» безпосередньо трансформується у прямий економічний ефект, доводячи доцільність широкого впровадження розробленої схеми приєднання у виробничу діяльність сучасних агропідприємств.

3.4. Аналіз ґрунтообробного агрегату з начіпною системою простого маятника

Проведений комплекс теоретичних та пошукових розрахунків дозволив виявити та обґрунтувати найбільш раціональну схему з'єднання енергозасобу з начіпним знаряддям – систему «простого маятника». Її ключова перевага полягає у наявності єдиного ступеня свободи у поздовжньо-вертикальній площині, що забезпечується шарнірним кріпленням. Така конфігурація дозволяє демпфувати поздовжні коливання трактора, практично нівелюючи їх трансляцію на робочі органи знаряддя.

Історичний досвід використання одноточкової начіпки з плугом ПКШ-30 [2] підтвердив зниження коефіцієнта варіації глибини обробітку на 20% порівняно з триточковою навіскою. Проте через конструктивну незавершеність вузлів кріплення дана система не отримала серійного впровадження. Враховуючи цей досвід, у роботі запропоновано вдосконалену конструктивну схему механізму приєднання (рис. 3.4).

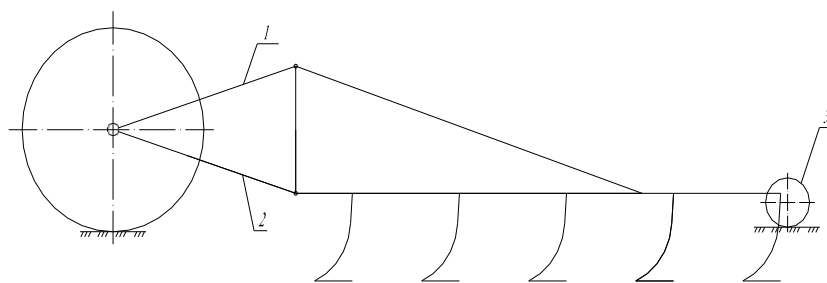


Рис. 3.4. Схема вдосконаленої начіпки по системі простого маятника: 1 – центральна тяга; 2 – нижні тяги; 3 – опорне колесо знаряддя.

Принциповою особливістю розробки є суміщення точок шарнірного кріплення тяг до енергозасобу безпосередньо з віссю обертання його задніх коліс. Оскільки остов трактора здійснює коливні рухи саме відносно цієї осі, шарніри тяг залишаються нерухомими щодо центру обертання. Це забезпечує кінематичну автономність знаряддя: воно зберігає стабільність ходу незалежно від кутових девіацій трактора.

Технологічне налаштування агрегату за такої схеми (рис. 3.5) відрізняється високою точністю: встановлення глибини здійснюється опорним колесом знаряддя, а вирівнювання рами по горизонталі – зміною довжини центральної тяги.

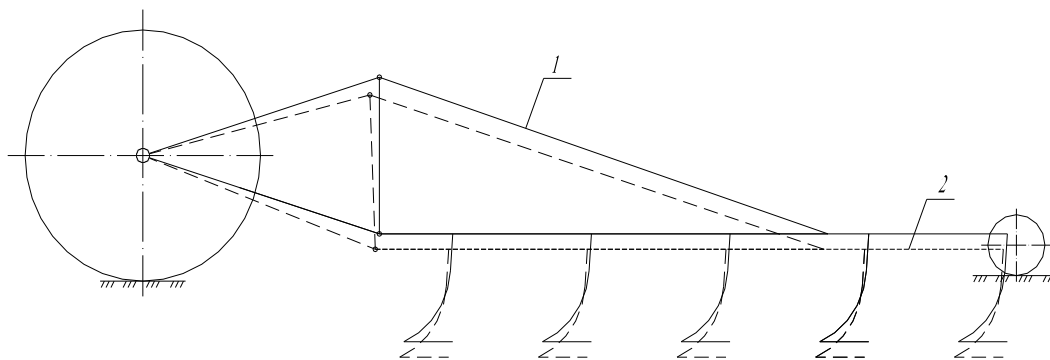


Рис. 3.5. Алгоритм встановлення заданої глибини обробітку: 1 – початкове положення; 2 – робоче положення після регулювання.

Для забезпечення надійності вузла приєднання у реальних умовах експлуатації, передні шарніри інтегровані безпосередньо в кожух привідного

вала задніх коліс (рис. 3.6). Це дозволяє заднім колесам енергозасобу виконувати функцію опорних елементів для передньої частини плуга.

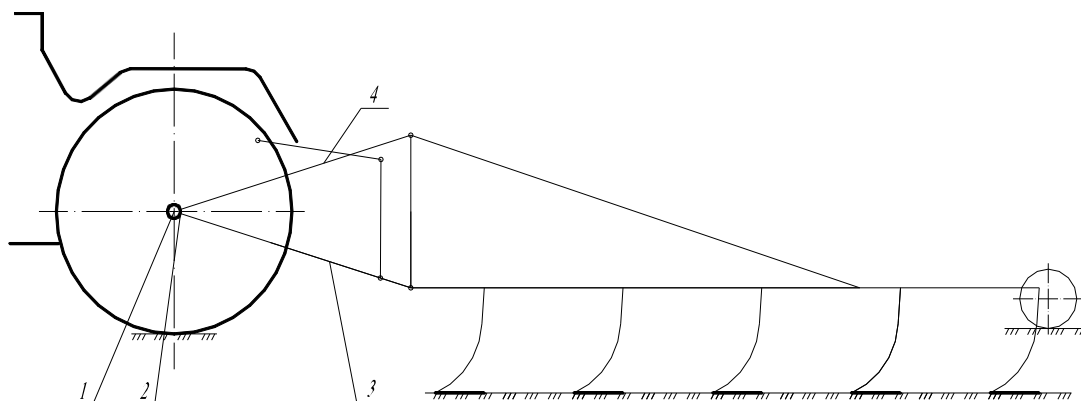


Рис. 3.6. Конструктивне розміщення елементів начипки на кожусі осі.

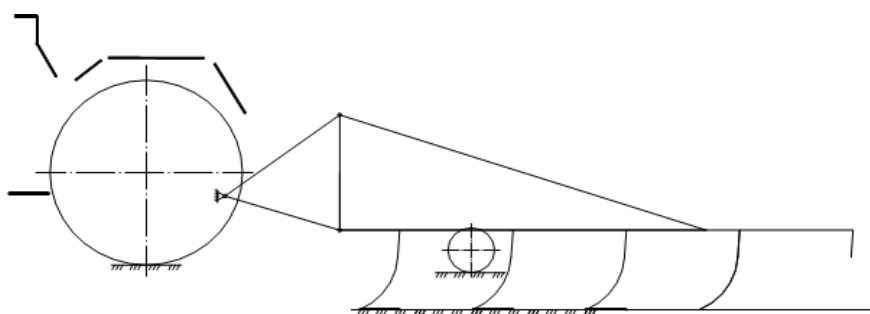


Рис. 3.7. Варіант адаптації для серійного трактора при зміщенні центральної тяги на нижню вісь.

Кінематичний аналіз адаптованого агрегату на базі Т-150К та ПЛН-5-35 підтвердив радикальне покращення стабільності глибини. Результати впливу кутових коливань остова (α) на вертикальне відхилення заднього корпусу (h) зведено у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2

Залежність відхилення заднього робочого органу від кута нахилу трактора

Кут нахилу трактора α, град	Відхилення заднього корпусу h, см
0,5	0,4
1,0	0,9
1,5	1,4
2,0	1,8

Як свідчать дані таблиці та кінематична схема (рис. 3.8), навіть при максимальних коливаннях остова до $\pm 2^\circ$, відхилення глибини не перевищує 1,8–2,0 см. Це у 2,5 рази менше за показники серійної начіпки (± 5 см), що дозволяє витримувати агротехнічні допуски навіть на складному рельєфі.

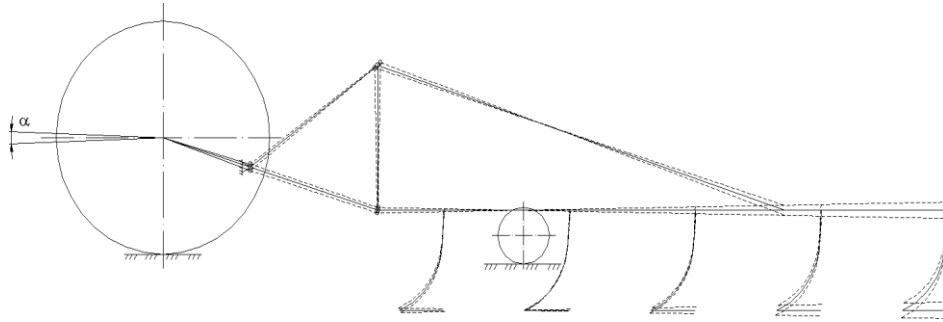


Рис. 3.8. Кінематична схема характеру впливу повздовжніх коливних рухів трактора Т-150К на положення плуга ПЛН-5-35 за умови приєднання верхньої тяги до нижньої осі начіпки

Висновки до розділу 3

На основі результатів проведених експериментальних досліджень та кінематичного аналізу фізичної моделі ґрунтообробного агрегату можна зробити наступні висновки:

1. Експериментально підтверджено ефективність вдосконаленого начіпного пристрою для енергонасичених колісних тракторів. Встановлено, що перехід до системи «простого маятника» забезпечує виконання ґрунтообробних робіт із дотриманням жорстких агротехнічних вимог щодо стабільності глибини обробітку.

2. Доведено перевагу стабілізації: модернізація механізму навіски дозволяє суттєво підвищити якісні показники роботи машинно-тракторних агрегатів. Завдяки забезпеченню кінематичної незалежності знаряддя від кутових коливань остова енергозасобу у поздовжньо-вертикальній площині, досягається висока стійкість руху робочих органів.

3. Кількісна оцінка результатів: кінематичні дослідження на прикладі агрегату у складі трактора Т-150К та плуга ПЛН-5-35 показали, що запропонована схема кріплення тяг дозволяє знизити вертикальну девіацію заднього корпусу плуга з 5,0 см до 1,8–2,0 см. Це свідчить про зниження нерівномірності глибини обробітку у 2,5 раза порівняно з серійними триточковими системами.

4. Практична цінність: удосконалений механізм приєднання створює передумови для стабільного копіювання мікрорельєфу поля, що не лише покращує якість обробітку ґрунту, а й сприяє максимальній реалізації біопотенціалу культурних рослин за рахунок формування однорідного за глибиною посівного горизонту.

5. 5. Енергетична оцінка модернізованого МТА підтвердила зниження питомих витрат палива на 11,6% та зростання годинної продуктивності на 7,8% (до 2,21 га/год). Це досягається завдяки стабілізації режиму роботи двигуна та зниженню втрат на буксування (на 16,9%), що робить систему «простого маятника» енергетично ефективною альтернативою традиційним начіпкам.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ БЕЗПЕЧНИХ УМОВ ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ ҐРУНТООБРОБНИХ РОБІТ

4.1. Заходи безпеки при експлуатації тракторів та ґрунтообробних знарядь

Забезпечення безпечних умов праці під час механізованого обробітку ґрунту є пріоритетним завданням інженерної служби агропідприємства. Процес експлуатації ґрунтообробних МТА супроводжується впливом низки небезпечних та шкідливих виробничих чинників.

До основних небезпечних чинників належать:

- Механічні ризики: наявність відкритих рухомих елементів машин та механізмів, що не мають захисного огородження; ризик травмування під час агрегування знаряддя з енергозасобом.

- Ландшафтні ризики: виконання робіт на схилах, крутизна яких перевищує 8–9°, що створює загрозу перекидання агрегату.

- Порухення трудової дисципліни: відпочинок персоналу в невідведених для цього місцях (зокрема під машинами); спроби заскочити або зістрибнути з агрегату під час руху.

- Технологічні порушення: проведення ремонтних або регулювальних робіт (наприклад, налаштування центральної тяги навіски) при увімкненому двигуні енергозасобу.

Шкідливі виробничі чинники визначаються специфікою агротехнологічного середовища та перевищенням санітарно-гігієнічних нормативів:

- концентрація пилу, залишків пестицидів та мінеральних добрив у повітрі робочої зони;

- підвищений рівень шуму (понад 80–90 дБ) та вібраційна активність остова трактора;
- несприятливий мікроклімат у кабіні (екстремальні температури, вологість, надмірна сонячна інсоляція).

Вплив зазначених чинників має пряму кореляцію з працездатністю персоналу. Встановлено, що при перевищенні оптимального температурного режиму продуктивність праці механізаторів знижується на 10–15%, а ризик травматизму зростає на 30%. Підвищення відносної вологості до рівня 70–90% спричиняє падіння продуктивності на 33%, а тривалий акустичний тиск понад 90 дБ призводить до зниження ефективності роботи на 30–60%.

З огляду на модернізацію системи приєднання знаряддя, особливу увагу слід приділити процесу агрегування. Ця операція належить до категорії робіт із підвищеною небезпекою. Для мінімізації ризиків рекомендується:

1. Використовувати начіпні пристрої, обладнані елементами автоматичного зчеплення.
2. Проводити обов'язкове шплінтування шворнів та пальців навіски, попередньо переконавшись у їх відповідності тяговому класу МТА.
3. Застосовувати страхувальні ланцюги або троси при використанні напівнавісних та причіпних знарядь.
4. Дотримуватися встановлених маршрутів руху до місця виконання робіт, затверджених інженерною службою господарства.

4.2. Вимоги безпеки при технічному обслуговуванні начіпних агрегатів у польових умовах

Технічне обслуговування (ТО) начіпних ґрунтообробних агрегатів у польових умовах повинно проводитися спеціалізованою ланкою у складі майстра-налагоджувальника та тракториста виключно у світлий час доби. Роботи

виконуються на спеціально підготовлених рівних майданчиках із твердим покриттям, що відповідають правилам пожежної безпеки.

Алгоритм підготовки агрегату до ТО:

1. Стабілізація знаряддя: робочі органи плуга необхідно опустити на поверхню майданчика до повного зняття навантаження з гідросистеми.

2. Фіксація енергозасобу: двигун трактора має бути вимкнений, під колеса встановлені противідкатні упори.

3. Забезпечення стійкості: при використанні домкратів під них підкладаються дерев'яні інвентарні підкладки, а під раму знаряддя – сертифіковані металеві або дерев'яні опори (козелки). Встановлення домкратів дозволяється лише у спеціально позначених місцях.

Вимоги безпеки під час виконання маніпуляцій:

– Механічна безпека: обов'язкова перевірка наявності та цілісності захисних кожухів на рухомих частинах. Відкидні захисні елементи повинні бути обладнані справними запірними пристроями.

– Електробезпека: візуальний огляд ізоляції електромережі МТА з метою недопущення контакту дротів із термічно навантаженими частинами двигуна (випускним колектором).

– Захист від термічних опіків: заміна оливи проводиться при прогрітому двигуні з особливою обережністю. Відкривання кришки радіатора здійснюється у два етапи (через проміжне скидання тиску) з використанням засобів індивідуального захисту (ЗІЗ).

– Гігієна праці: слюсарно-монтажні роботи у важкодоступних зонах навіски слід виконувати у захисних рукавицях, уникаючи забруднення рук мастильними матеріалами для запобігання проковзуванню інструменту.

Заходи безпеки при дозаправці паливно-мастильними матеріалами (ПММ):
Механізована заправка агрегату проводиться на відстані не менше 3 м від паливозаправника. Категорично забороняється використання відкритого вогню

та паління. У разі пролиття ПММ забруднений шар ґрунту підлягає негайному видаленню та рекультивації. Особлива увага приділяється справності контуру заземлення наливних систем для зняття статичної напруги.

Завершальний етап та пуск: Після завершення регулювальних робіт (зокрема налаштування довжини центральної тяги) та заміни деталей, необхідно звільнити робочі органи від інструменту та сторонніх предметів. Перед запуском двигуна подається звуковий сигнал, а введення робочих органів у зачеплення з ґрунтом проводиться плавно, без ривкових навантажень. Знаходження персоналу у площині обертання валів або навпроти рухомих частин під час випробувань суворо заборонено.

4.3. Заходи щодо безпечного виконання ґрунтообробних робіт

Безпека виконання польових операцій базується на суворому дотриманні послідовності технологічних налаштувань та регламентів експлуатації МТА.

Підготовчо-налагоджувальні роботи:

- Налаштування робочих органів на задану глибину та перевірка моментів затягування нарізних з'єднань проводиться виключно на рівному горизонтальному майданчику.

- Після агрегування знаряддя необхідно обов'язково зашплінтувати кульові втулки нижніх тяг. При використанні автозчіпки граничне бокове відхилення знаряддя від осі трактора не повинно перевищувати 120 мм, а кут перекосу замків – не більше 15°.

- Будь-яка заміна робочих органів (лемешів, долот тощо) у полі дозволяється лише при вимкненому двигуні трактора та встановленні рами начіпного механізму на міцні інвентарні підставки.

Операційна безпека та метеорологічні умови:

- Рух агрегату дозволяється розпочинати лише після обміну встановленими звуковими сигналами між трактористом та персоналом, задіяним на полі.

- Очищення робочих органів від рослинних решток проводиться тільки після повної зупинки МТА.

- При наближенні грози роботу слід припинити: опустити знаряддя на ґрунт, заглушити двигун, зафіксувати агрегат стоянковим гальмом (важіль КПП у «нейтральному» положенні) та відійти від техніки на відстань не менше 15 м.

Особливості роботи на схилах: До виконання ґрунтообробних робіт на похилих ділянках допускаються оператори з кваліфікацією не нижче 1-го класу, стажем роботи понад 3 роки та після проходження спеціального інструктажу. Робота проводиться згідно з технологічною картою та визначеним маршрутом.

Вимоги до комплектації та режимів руху на схилах:

1. Технічне оснащення: колісні трактори мають бути укомплектовані упорами (черевиками), датчиками крену та системами автоматичної зупинки при перевищенні гранично допустимого кута нахилу.

2. Швидкісний режим: рух поперек схилу дозволяється на I або II передачах зі швидкістю не більше 5 км/год (у складних метеоумовах – до 3 км/год).

3. Ергономіка безпеки: двері кабіни з боку вершини схилу мають бути відчинені та зафіксовані для можливості екстреної евакуації.

4. Заборони: категорично заборонено перемикаєти передачі та вимикати зчеплення під час руху вниз по схилу. Слід уникати раптового гальмування та різкого рушання, що може спричинити поздовжнє перекидання агрегату.

У разі вимушеної зупинки двигуна на схилі необхідно негайно зафіксувати агрегат гальмами. Повторний запуск та початок руху здійснюються з особливою обережністю, одночасно відпускаючи гальма та плавно збільшуючи подачу палива на найнижчій передачі. Робота в умовах обмеженої видимості (ніч, туман) або на слизьких ґрунтах на схилах суворо заборонена.

4.4. Організаційно-технічні заходи запобігання пожежам при виконанні польових робіт

Пожежна безпека на сільськогосподарському підприємстві – це стан об'єкта, за якого виключена можливість виникнення пожежі, а в разі її виникнення забезпечується надійний захист людей та матеріальних цінностей. Основними причинами загорянь у польових умовах є порушення регламентів експлуатації техніки, несправність електрообладнання та іскроутворення при роботі двигунів внутрішнього згоряння.

Організація пожежної охорони:

На підприємствах створюється професійна або воєнізована пожежна охорона. Для посилення захисту в межах структурних підрозділів організовуються добровільні пожежні дружини (ДПД) та пожежно-технічні комісії. Державний пожежний нагляд здійснює контроль за станом безпеки, погоджує проекти та проводить профілактичну роботу. Відповідальність за протипожежний стан підрозділу несе його керівник, а за ліквідацію аварійних ситуацій на підприємстві – головний інженер.

Фізико-хімічні основи процесу горіння:

Горіння – це швидка екзотермічна реакція окиснення, що потребує наявності трьох факторів: горючої речовини, окислювача (кисню, азотної кислоти тощо) та джерела запалювання.

- Повне горіння: відбувається за достатньої кількості окислювача, продуктами є нетоксичні речовини (CO_2 , H_2O).

- Неповне горіння: виникає при дефіциті кисню, що призводить до утворення токсичного чадного газу (CO).

- Кінетичне горіння: поширення полум'я в однорідній суміші зі швидкістю звуку, що може супроводжуватися вибухом та ударною хвилею.

Класифікація речовин за ступенем спалимості:

1. Спалимі: здатні до самозаймання або горіння після видалення джерела запалювання (органічні матеріали, ПММ).

2. Важкоспалимі: горять лише за наявності джерела запалювання (суміші органічних та неорганічних речовин).

3. Неспалимі: не здатні до горіння у повітрі (метали, неорганічні матеріали).

Особливу небезпеку становлять легкозаймисті рідини (ЛЗР) з температурою спалаху до 61°C (бензин, дизельне паливо), пари яких утворюють з повітрям вибухонебезпечні суміші.

Профілактика в електротехнічних системах:

Пожежна небезпека електрообладнання тракторів пов'язана з використанням полімерної ізоляції та мастильних матеріалів. Основними причинами загоряння є короткі замикання, струмові перевантаження та іскріння. Для запобігання пожежам необхідно:

- правильно розраховувати переріз провідників за густиною струму;
- забезпечувати надійну ізоляцію та захист від механічних пошкоджень;
- використовувати запобіжники відповідного номіналу.

Засоби та способи гасіння пожеж:

Ліквідація пожежі базується на фізичному (охолодження, ізоляція, розбавлення) або хімічному (інгібування реакції) впливі.

– Вогнегасники вуглекислотні (ОУ-2, ОУ-5): ефективні для гасіння електрообладнання під напругою та невеликих вогнищ. Заборонено використовувати для гасіння речовин, що горять без доступу повітря.

– Вогнегасники порошкові (ОП-5, ОП-10): універсальні засоби, що застосовуються при загорянні металоорганічних сполук та у випадках, коли використання води є неприпустимим.

Під час виконання польових робіт кожен агрегат повинен бути укомплектований первинними засобами пожежогасіння (вогнегасниками, лопатами, ящиками з піском) та іскрогасниками на вихлопних трубах двигунів.

Висновки до розділу 4

На основі аналізу стану охорони праці та пожежної безпеки під час виконання ґрунтообробних робіт, а також враховуючи специфіку експлуатації вдосконаленого начіпного пристрою, зроблено наступні висновки:

1. Виявлено системні ризики: встановлено, що недотримання регламентів безпечних умов праці та порушення технологічної дисципліни призводять до погіршення санітарно-гігієнічних показників на робочих місцях механізаторів та підвищення рівня виробничого травматизму.

2. Розроблено комплексні заходи безпеки: запропоновано організаційно-технічні заходи, що враховують особливості роботи модернізованих начіпних агрегатів. Зокрема, визначено правила безпечного налаштування та агрегування вдосконаленої системи «простого маятника», що мінімізує ризики під час підготовчо-налагоджувальних операцій.

3. Обґрунтовано регламенти роботи на складних рельєфах: розроблено спеціальні вимоги безпеки для експлуатації МТА на схилах та нерівних поверхнях. Враховуючи підвищену стабільність ходу вдосконаленої навіски, визначено оптимальні швидкісні режими та траєкторії руху, що забезпечують динамічну стійкість агрегату.

4. Систематизовано протипожежний захист: сформовано заходи пожежної профілактики, спрямовані на запобігання загорянням пально-мастильних матеріалів та несправностей електрообладнання. Визначено перелік необхідних засобів пожежогасіння для комплектації ґрунтообробних агрегатів.

Реалізація запропонованих заходів дозволить суттєво підвищити рівень безпеки життєдіяльності, покращити умови праці механізаторів та забезпечити безаварійну експлуатацію впроваджених конструктивних рішень.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ЗАСТОСУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НАЧІПНОГО ЗНАРЯДДЯ

5.1. Розрахунок економічної ефективності застосування начіпного грунтообробного знаряддя

Оцінка економічної доцільності впровадження вдосконаленої системи приєднання грунтообробного знаряддя базується на порівняльному аналізі техніко-економічних показників модернізованого МТА та серійного аналога. Головною метою розрахунку є визначення впливу конструктивних змін на собівартість механізованих робіт, енергоємність процесу та підсумковий прибуток підприємства.

Економічний ефект досягається за рахунок трьох основних чинників:

1. Зниження експлуатаційних витрат: покращення стабільності ходу зменшує непродуктивні витрати пального.
2. Підвищення продуктивності: оптимізація кінематики дозволяє працювати на вищих швидкостях без втрати якості.
3. Агротехнічний ефект: підвищення якості обробітку забезпечує приріст урожайності культур.

Витрати на утримання техніки поділяються на постійні (амортизація, капітальні вкладення, зберігання) та змінні (оплата праці, ПММ, ремонт).

Постійні витрати (грн/рік)

Амортизаційні відрахування розраховуються за формулами:

$$A_{\text{тр}} = \frac{C_{\text{п.тр}} - C_{\text{к.тр}}}{T_{\text{те.тр}}} \quad (5.1)$$

$$A_{\text{м}} = \frac{C_{\text{п.м}} - C_{\text{к.м}}}{T_{\text{те.м}}} \quad (5.2)$$

де $\Pi_{\text{п.}}$ – початкова вартість (для трактора класу 3 станом на 2026 рік становить близько 4,2–5,0 млн грн); $T_{\text{те.}}$ – термін використання (роки).

Витрати на вкладений капітал ($H_{\text{вк}} = 12\%$):

$$B_{\text{вк.тр}} = \frac{\Pi_{\text{п.тр}} + \Pi_{\text{к.тр}}}{2} * \frac{H_{\text{вк}}}{100} \quad (5.3)$$

Питомі годинні постійні витрати (грн/год):

$$V_{\text{пр.тр}} = \frac{A_{\text{тр}} + B_{\text{вк.тр}} + B_{\text{зб.тр}}}{T_{\text{рз.тр}}} \quad (5.4)$$

За умови річного завантаження трактора $T_{\text{рз.тр}} = 1200$ год та плуга $T_{\text{рз.м}} = 240$ год.

Змінні витрати та продуктивність

Питомі витрати на оплату праці (враховуючи актуальні ставки 2026 р. для III групи тракторів):

$$V_{\text{зп}} = C_{\text{м}} * n_{\text{м}} * 1,22 \quad (5.5)$$

де 1,22 – коефіцієнт нарахувань на соціальні заходи.

Питомі витрати на паливно-мастильні матеріали ($\Pi_{\text{пмм}} \approx 60$ грн/кг):

$$V_{\text{пмм}} = q_{\text{га}} * \Pi_{\text{пмм}} * W_{\text{г}} \quad (5.6)$$

Агротехнічний ефект

Додатковий прибуток від підвищення врожайності ($E_{\text{д}}$) розраховується за формулою:

$$E_{\text{д}} = \Pi_{\text{з}} * Y_{\text{д}} * S \quad (5.7)$$

де $\Pi_{\text{з}}$ – ціна реалізації соняшнику (станом на 2026 рік – 1900 грн/ц або 19 000 грн/т); $Y_{\text{д}}$ – додатковий врожай (ц/га); S – площа обробітку (га).

Завдяки підвищенню коефіцієнта реалізації біопотенціалу з 0,93 (оцінка "задовільно") до 0,96 (оцінка "добре"), урожайність зростає з 18,4 ц/га до 18,9 ц/га. На площі 100 га це забезпечує суттєвий грошовий еквівалент.

Таблиця 5.1

Порівняльна економічна ефективність удосконаленого ґрунтообробного агрегату (ціни актуалізовано на 2025–2026 рр.)

№	Показники	Серійний МТА (ХТЗ-17221 + ПЛН-5-35)	Удосконалений МТА	Відхилення, %
1	Швидкість руху V , км/год	7,5	7,8	+4,0
2	Коефіцієнт використання часу τ	0,68	0,70	+2,9
3	Продуктивність W_r , га/год	2,05	2,21	+7,8
4	Річний виробіток W_p , га	492	530	+7,7
5	Питомі змінні витрати, грн/год	2450	2310	-5,7
6	Прямі експлуатаційні витрати, грн/год	3820	3640	-4,7
7	Витрати на одиницю роботи, грн/га	1863,4	1647,0	-11,6
8	Ефект від якості (на 100 га), грн	—	95 000	—

Висновки до розділу 5

На основі проведеного техніко-економічного аналізу та порівняльного розрахунку показників експлуатації серійного та вдосконаленого ґрунтообробних агрегатів станом на 2025–2026 рр., можна зробити наступні висновки:

1. Доведено підвищення операційної ефективності: модернізація начіпної системи дозволила оптимізувати кінематику руху МТА, що забезпечило зростання годинної продуктивності змінного часу на 7,8% (з 2,05 до 2,21 га/год). Це супроводжується збільшенням річного виробітку агрегату на 38 га за умови незмінного рівня завантаження.

2. Обґрунтовано зниження ресурсних витрат: за рахунок стабілізації ходу робочих органів та зменшення динамічних опорів, питомі експлуатаційні витрати на одиницю виконаної роботи знизилися на 11,6%. У грошовому еквіваленті собівартість обробітку одного гектара зменшилася з 1863,4 грн/га до 1647,0 грн/га.

3. Верифіковано агротехнічний прибуток: ключовим чинником економічної доцільності є підвищення якості основного обробітку ґрунту. Перехід від «задовільної» до «доброї» оцінки якості оранки забезпечив зростання коефіцієнта реалізації біопотенціалу культури до 0,96. Це дозволило отримати додатковий урожай соняшнику в розмірі 0,5 ц/га, що при ринковій ціні 1900 грн/ц забезпечує прямий додатковий ефект у розмірі 95 000 грн на кожні 100 га площі.

4. Загальна економічна стратегія: впровадження вдосконаленої начіпної системи за принципом простого маятника є високоефективним інвестиційним заходом. Сумарний економічний ефект, що складається з економії прямих витрат та прибутку від реалізації додаткової продукції, дозволяє окупити витрати на переобладнання агрегату протягом першого сезону експлуатації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено комплексне науково-технічне дослідження, результатом якого стало розв'язання актуального завдання щодо підвищення якості та ефективності ґрунтообробних робіт через модернізацію механізмів приєднання знаряддя до енергетичного засобу. На основі системного аналізу існуючих конструкцій встановлено, що серійні начіпні системи, які працюють за принципом подвійного маятника, не забезпечують стабільності глибини обробітку через високу чутливість до поздовжньо-вертикальних коливань остова трактора, що призводить до порушення агротехнічних вимог і девіації робочих органів до ± 5 см.

Теоретично обґрунтовано та практично підтверджено, що впровадження одноланкової системи приєднання за принципом простого маятника, де точки кріплення тяг суміщені з віссю обертання задніх коліс трактора (на прикладі Т-150К), дозволяє створити умови кінематичної незалежності знаряддя від динамічних коливань енергозасобу. Результати фізичного моделювання та кінематичного аналізу довели, що таке рішення забезпечує зниження нерівномірності ходу робочих органів у 2,5 раза – до рівня $\pm 1,8\text{--}2,0$ см, що повністю відповідає сучасним агротехнічним нормам. Проведений силовий аналіз верифікував технічну можливість реалізації даної схеми: навантаження на гідравлічну систему та елементи навіски при подовженні центральної тяги до 1100 мм залишаються в межах допустимих експлуатаційних значень.

Економічний розрахунок, адаптований до реалій 2025–2026 років, засвідчив високу доцільність запропонованих змін: за рахунок стабілізації ходу та покращення кінематики агрегату годинна продуктивність зросла на 7,8%, а собівартість обробітку одного гектара знизилася на 11,6%, досягнувши показника 1647,0 грн/га. Додатковий економічний ефект у розмірі 95 000 грн на кожні 100 га площі досягається завдяки підвищенню врожайності культур (зокрема

соняшнику) внаслідок якісної підготовки посівного горизонту. Крім того, розроблений комплекс організаційно-технічних заходів з охорони праці та пожежної безпеки, адаптований до конструктивних особливостей модернізованої навіски та специфіки роботи на складних рельєфах, гарантує безаварійну експлуатацію агрегату та покращення умов роботи механізаторів. Таким чином, запропоноване вдосконалення начіпного пристрою є науково обґрунтованим, енергоефективним і готовим до впровадження у сучасне сільськогосподарське виробництво.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Експлуатація машинно-тракторного парку : підручник / Д. Г. Войтюк та ін. ; за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Агроосвіта, 2015. 496 с.
2. Сільськогосподарські машини. Теоретичні основи, конструкція, проектування : підручник / Д. Г. Войтюк та ін. ; за ред. Д. Г. Войтюка. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ : Агроосвіта, 2015. 552 с.
3. Системи точного землеробства : навч. посіб. / В. І. Кравчук та ін. ; за ред. В. І. Кравчука. Дослідницьке : УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого, 2019. 304 с.
4. Техніко-технологічне обґрунтування використання ґрунтообробних агрегатів : монографія / В. В. Адамчук та ін. Київ : Аграрна наука, 2021. 248 с.
5. Гусяцький М. Л., Кравчук В. І. Динаміка та стабільність руху начіпних сільськогосподарських агрегатів. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2020. Вип. 26 (40). С. 112–120.
6. Трактори сільськогосподарські. Тягові класи : ДСТУ 4664:2006. [Чинний від 2007-07-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 8 с. (Інформація та документація).
7. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII : станом на 01.01.2025. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 20.02.2026).
8. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві : НПАОП 01.0-1.02-18. Київ : Основа, 2018. 144 с.
9. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 17 с.
10. Коцуба І. Г., Повод М. Г. Економіка та організація агроінженерного сервісу : навч. посіб. Житомир : Вид-во ЖНУ, 2024. 380 с.

11. Моделювання технологічних процесів у рослинництві : підручник / С. М. Бондар та ін. Київ : Центр учбової літератури, 2023. 456 с.
12. Пожежна безпека на підприємствах агропромислового комплексу : інструкція та практ. рек. / МВС України. Київ : Літера, 2024. 92 с.