

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему

**Підвищення ефективності виконання просапних робіт шляхом
розробки системи позиціонування робочих органів
сільськогосподарських машин**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІз-1-22
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Череп Світлана Юріївна

Керівник: _____ Кабат Олег Станіславович

Рецензент: _____

Дніпро 2024

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

експлуатації машинно-тракторного парку

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Деркач О.Д.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Череп Світлані Юріївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності виконання просапних робіт шляхом розробки системи позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин

керівник роботи Кабат Олег Станіславович д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«26» грудня 2023 року № 4084

2. Строк подання студентом роботи 8.02.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Напрацювання науковців кафедри ЕМТП. Аналіз останніх наукових досліджень по обраній тематиці, літератури, патентів на винаходи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання і завдання досліджень. 2. Теоретичні дослідження. 3. Експериментальні дослідження. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна ефективність роботи. Висновки. Список використаних джерел

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (3 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (5 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (4 аркуші, А4) 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Кабат О. С., професор		
2	Кабат О. С., професор		
3	Кабат О. С., професор		
4	Кабат О. С., професор		
5	Кабат О. С., професор		
нормоконтроль	Кабат О. С., професор		

7. Дата видачі завдання: 24.12.2023р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 1.12.2023 р.	Виконано
2	Теоретичний	до 24.12.2023р.	Виконано
3	Експериментальний	до 16.01.2024 р.	Виконано
4	Охорона праці	до 22.01.2024 р.	Виконано
5	Економічний	до 2.02.2024 р.	Виконано
6	Демонстраційна частина	до 6.02.2024 р.	Виконано

Студент

_____ (підпис)

Череп С.Ю.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Кабат О.С.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Череп С.Ю. Підвищення ефективності виконання просапних робіт шляхом розробки системи позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

Дипломна робота присвячена підвищенню точності позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин шляхом удосконалення навісного механізму універсально просапних тракторів

Запропоноване удосконалення навісного механізму універсально-просапних тракторів зменшить навантаження на водія та кількість пошкоджених рослин підчас виконання просапних операцій.

Використавши вихідні дані для виконання кваліфікаційної роботи проведено удосконалення та розроблено схему навісного механізму універсально-просапних тракторів. Проведено обґрунтування конструктивних параметрів та встановлено габаритні розміри обладнання.

Розроблено програму та методику польових досліджень точності позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин за допомогою удосконаленого навісного механізму універсально-просапних тракторів.

За результатами проведених досліджень встановлено ефективність проведеного удосконалення підтвердженого економічними розрахунками.

Розроблено питання з охорони праці при проведенні просапних робіт.

Ключові слова: точність позиціонування, автоматичне водіння, тягове зусилля просапні культури, навісний механізм, робочі органи культиватора, тяговий опір.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	11
1.1 Аналіз машин з автоматичним водінням	11
1.2 Аналіз навісних механізмів з позиціонуванням робочих органів сільськогосподарських машин	17
1.3 Критерії оцінки точності позиціонування робочих органів	24
1.4 Висновки	26
1.5 Мета і завдання досліджень	27
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	28
2.1 Конструктивна схема и принцип роботи удосконаленого навісного механізму	28
2.2 Обґрунтування конструктивних параметрів удосконаленого навісного механізму	30
2.3 Обґрунтування габаритних розмірів удосконаленого навісного механізму	40
2.4 Розробка системи позиціонування робочих органів	47
2.5 Висновки	52
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	53
3.1 Програма та методика досліджень	53
3.2 Об'єкт досліджень	53
3.3 Експериментальні дослідження ущільнення та питомого зчеплення ґрунту	57
3.4 Методика та результати проведення тягових випробувань МТА	61
3.5 Методика та результати проведення польових досліджень УНМ	63
3.6 Висновки	72

	7
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	74
4.1 Вимоги з охорони праці під час експлуатації машино-тракторного агрегату при виконанні ґрунтообробних операцій	74
4.1.1 Загальні вимоги	74
4.1.2 Вимоги безпеки до початку роботи	75
4.1.3 Вимоги безпеки під час роботи	75
4.1.4 Заходи безпеки в аварійних ситуаціях	77
4.1.5 Вимоги безпеки після закінчення робіт	77
4.2 Висновки	77
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ	78
Висновки	87
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	90
ДОДАТКИ	94

ВСТУП

Актуальність роботи.

Сучасний мобільний агрегат став великою машинною системою, управління якою за своєю складністю та напруженістю праці перебуває на межі норм психофізичних навантажень оператора тракториста або комбайнера.

Водіння агрегату по заданій траєкторії з високою точністю, згідно агротехнічних вимог, систематичне маніпулювання робочими органами, контроль за перебігом виконуваного технологічного процесу, спостереження за станом вузлів та агрегатів – все це одночасно потрібно виконувати одному механізатору. З появою та подальшим розвитком цифрових технологій з'являється система точного землеробства, яка повністю чи частково звільнила людини від більшості виконуваних операцій, виконуючи їх у автоматичний режим.

Протягом останніх 20 років система точного землеробства є базовим елементом ресурсозберігаючих технологій. Одним із важливих критеріїв системи точного землеробства є точність вирощування сільськогосподарських культур з метою мінімізації ушкодження рослин під час проходження всього циклу технологічних операцій. Одним із способів реалізації даної задачі є управління рухом агрегату за допомогою навігації, у тому числі систем автопілотування, здатних коригувати траєкторію руху трактора під час виконання технологічних операцій. Однак цього недостатньо, тому що через наявність нерівномірності щільності ґрунту або ухилів, робочі органи сільськогосподарських машин прагнуть зійти з лінії обробки, що надалі призводить до пошкодження рослин у рядку. Щоб зменшити відхилення робочих органів застосовується система автоматичного водіння агрегату, яка в сукупності з навісним механізмом здійснює коригування руху агрегату та точне позиціонування робочих органів відносно оброблюваної площі в міжрядді. Практичне застосування систем автоматичного керування

агрегатами стримується малим вибором виконавчих механізмів та їх обґрунтованого технічного виконання.

У зв'язку з цим актуальним завданням є проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт з обґрунтування технічних характеристик та виявлення оптимальних режимів роботи удосконаленого навісного механізму універсально-просапного трактора.

Дослідженням точності позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин присвячені роботи Колісника Ф.І., Наконечного І.І., Зволінського Н.П., Сташкова В.В, Оснача В.К. Летвиненка Ю.І., Тарловського Д.М., Martina Holra, Махині Ю.З., Moniku Samer. Дані вчені зробили значний внесок у вивчення питання автоматизованого керування положенням робочих органів сільськогосподарських машин в агрегаті з трактором, але існуюча різноманітність конструктивно-технологічних схем не вичерпало можливості підвищення ефективності застосування даних пристроїв на різних технологічних операціях з обробітку ґрунту та збирання урожаю.

Мета і завдання дослідження.

Мета роботи – підвищення продуктивності праці та зниження травмування рослин шляхом точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин удосконаленим навісним механізмом універсально-просапного трактора.

Завдання досліджень:

- провести аналіз існуючих наукових праць та пристроїв з позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин;
- теоретично обґрунтувати схему удосконаленого керованого навісного механізму та його конструктивно-кінематичні параметри;
- встановити ефективні умови використання удосконаленого керованого навісного механізму за результатами проведених польових досліджень;
- розрахувати техніко-економічну ефективність впровадження запропонованого вдосконалення.

Об'єкт дослідження: технологічний процес міжрядного обробітку ґрунту на вирощуванні картоплі із удосконаленим керованим навісним механізмом.

Предмет дослідження: Конструктивно-кінематичні та технологічні параметри удосконаленого керованого навісного механізму

Наукову новизну роботи складають:

-теоретично обґрунтовані конструктивні та кінематичні параметри удосконаленого навісного механізму;

-теоретичне обґрунтування процесу відхилення знаряддя з удосконаленим навісним механізмом;

- алгоритм та програмне забезпечення управління положенням робочих органів сільськогосподарських машин.

Практична значущість роботи. Застосування удосконаленого навісного механізму дозволить підвищити якість виконання технологічних операцій посадки, міжрядної довсходової та подальшої культивуації картоплі за рахунок більш повного використання ширини захоплення знарядь, скорочення втрат під час виконання наступних технологічних операцій, забезпечить можливість роботи на схилах. За результатами досліджень встановлено бажані значення конструктивно-технологічних параметрів, виявлено найбільш ефективні режими роботи удосконаленого керованого навісного механізму при виконанні технологічної операції з культивуація міжрядь картоплі

Публікації. За результатами проведеної роботи опубліковано тези

1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз машин з автоматичним водінням

З появою системи точного землеробства та сучасних навігаційних систем, керування машинно-тракторним агрегатом дозволило значно підвищити якість оброблюваної культури, підвищити врожайність, знизити витрати протягом усього циклу технологічних операцій вирощування культури

Система точного землеробства – це комплексна високотехнологічна система сільськогосподарського менеджменту. Складається з технологій глобального позиціонування, географічних інформаційних систем, технологій оцінки врожайності, технологій змінного нормування, технологій дистанційного зондування землі та рішення технології «інтернет речей» [1-4]. Система керування машинно-тракторним агрегатом має недоліки. При виконанні операції здійснюється управління положенням тільки трактора, при цьому знаряддя, що агрегатується постійно змінює свою траєкторію, що призводить до появи необроблених ділянок ґрунту або перекриттів при суміжних проходах (рисунок 1.1а) [5-7].

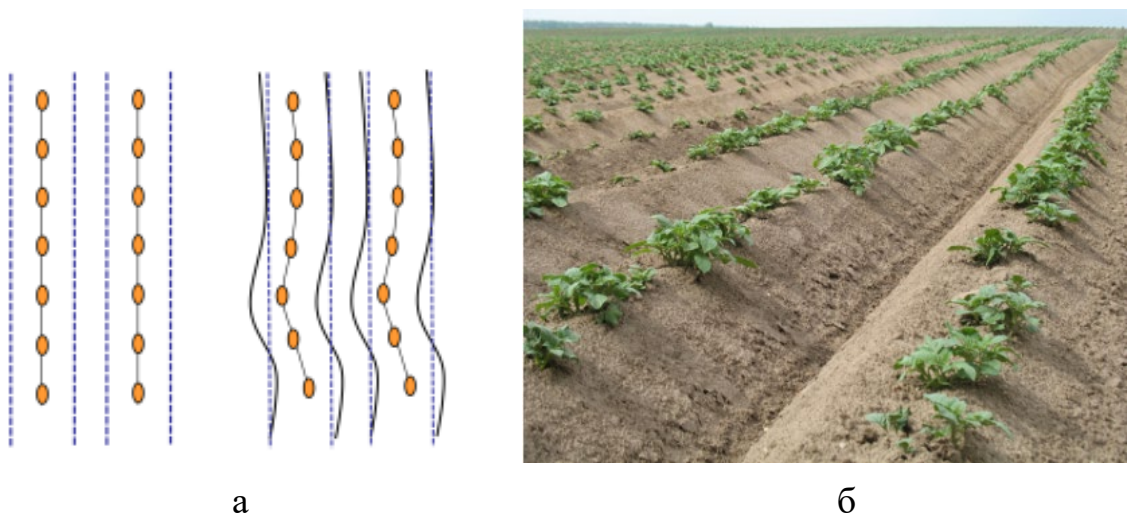


Рисунок 1.1 – Схема зміщення рядків картоплі від осьової лінії:

а – зміщення бульби при посадці ; б – зміщення сходів картоплі

Слід утворений борозноутворювачем посадкової машини є основним. При наступних операціях з догляду за посадками, утворюється новий слід відмінний від сліду борозноутворювача посадкової машини. Нерівномірне накладення траєкторій руху знярядь при наступних проходах призводить до порушення захисної зони бульб картоплі, а надалі зміщення бульбового гнізда ушкодження самих бульб картоплі (рис. 1.1б) [8-10]. Також при рухові машино-тракторного агрегату через нерівномірність щільності ґрунту, наявності ступенів свободи у навісному механізмі трактора, наявності ухилів відбувається зведення агрегату з траєкторії руху, що задається. У зв'язку з цим найбільш значущим напрямом у системі точного землеробства є автоматизована система паралельного водіння, яка дозволяє виключити перераховані вище недоліки, а також дозволяє виключити людський фактор, що виявляється при тривалій роботі у вигляді зниження концентрації уваги при водінні, відсутності комфорту управління агрегату [10-11].

Перелічені мінуси відсутні у системи автоматичного водіння. Крім цього, покращуються енергетичні показники у вигляді скорочення витрати паливно-мастильних матеріалів, економія витратних матеріалів (добрив, засобів хімічного захисту рослин), значно знижуються втрати часу на технологічні перерви, з'являється можливість виконувати технологічні операції навіть уночі. При цьому забезпечуються різні режими водіння за прямими та криволінійним траєкторіям.

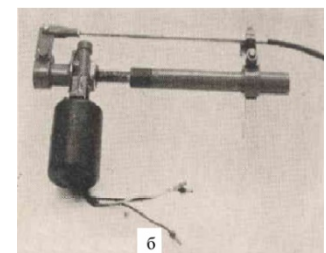
Система паралельного водіння реалізується у трьох варіантах:

- 1) управління положенням трактора оператором, що орієнтується на показання електронного або графічного слідовказівника встановленого в кабіні;
- 2) управління положенням трактора підрулюючим пристроєм з електродвигуном у монтованому в рульову колонку трактора;
- 3) керування положенням трактора виконавчим механізмом, вмонтованим у гідравлічну систему кермового керування.

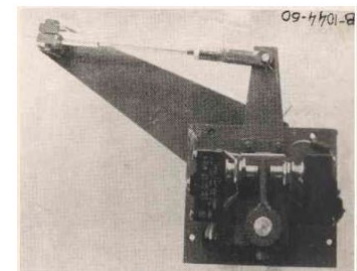
Питаннями з автоматизації процесів обробітку ґрунту сільськогосподарським знаряддям займалися ще на початку 60-х років. Загальним принципом процесу регулювання положення знаряддя в агрегаті було зміна робочим органом свого просторового положення чи кінематичного режиму, спрямоване на усунення неузгодженості між параметром регулювання та показанням датчика. 1958 року фірмою ФОРД (США) було розроблено механічне копіювальний пристрій для колісних тракторів (рис. 1.2) з культиватором, що монтується на раму трактора [12].



а



б



в

Рисунок 1.2 – Автоматична система позиціонування робочих органів культиватора

а - трактор з культиватором; б – електропривід; в – мікрореле
чутливого елемента системи позиціонування

Копіювальний пристрій був призначений для механічного копіювання рядка рослин при міжрядній обробці, але могло бути використано на оранці, збиранні, сінокосіння. Робочі органи культиватора були розташовані між задніми та передніми колесами трактора. Автоматичний пристрій фірми ФОРД є слідкувальною системою релейного типу з трипозиційним контактним пристроєм з механічними чутливими елементами та електромеханічним виконавчим механізмом. Культиватор розташовувався між передніми та задніми колесами трактора, що дозволило вибрати трактор за об'єкт регулювання Як

копіювального щупа застосовано два довгі легких прутки, встановлені по обидва боки копіювального рядка рослин. При відхиленні трактора від прямолінійного руху той чи інший пруток щупа наїжджав на рядок рослин відхиляється їм убік, повертаючись навколо центру. Разом з ним повертається важіль мікрореле (рис. 1.2 в)

При замиканні контактів одного із мікрореле включається відповідне пускове реле, що замикає реверсивний ланцюг електродвигуна (рис. 1.2 б) із постійним числом оборотів. Електродвигун обертає черв'як кермового механізму трактора, в результаті чого передні колеса повертаються убік. При ширині зони відхилення трактора, що дорівнює 100 мм, пристрій забезпечувало задовільну культивування за швидкості 9,5 км/год.

В 1964 році в Українському інституті механізації і електрифікації сільського господарства розроблено та випробувано автоматизовану просапну машину. Для прополювання використовувалися секції по 2 леза шириною 20 мм. та довжиною 120-150 мм, які встановлювалися на осі, що повертається, по одному з кожної сторони (рис 1.3).



Рисунок 1.3 – Автоматичний просапний культиватор на базі шасі Т-16

Вісь за допомогою важеля пов'язана з приводом зворотно-поступального руху. Привід робочих органів складався з голчастого колеса, сталевого шліфованого диска та підпружиненої електромагнітної муфти, пов'язаної через тягу з поворотною бритвою, що робить навколо осі колеса коливальний рух. Після заїзду до міжряддя тракторист включав електричний ланцюг приводу і відразу ж направляв керуючий спис до однієї з рослин у рядку, проти якого встановлений датчик включення коригувальної системи. За результатами випробувань автопросапна машина знижувала кількість бур'янів у 6 разів у порівнянні зі звичайною машинною технологією культивації міжрядь.

Подібні дослідження проводилися в Чехії. Автоматична система управління була змонтована на рамі культиватора КРН - 6А (рис 1.3) в агрегаті з трактором ZETOR – 25К .

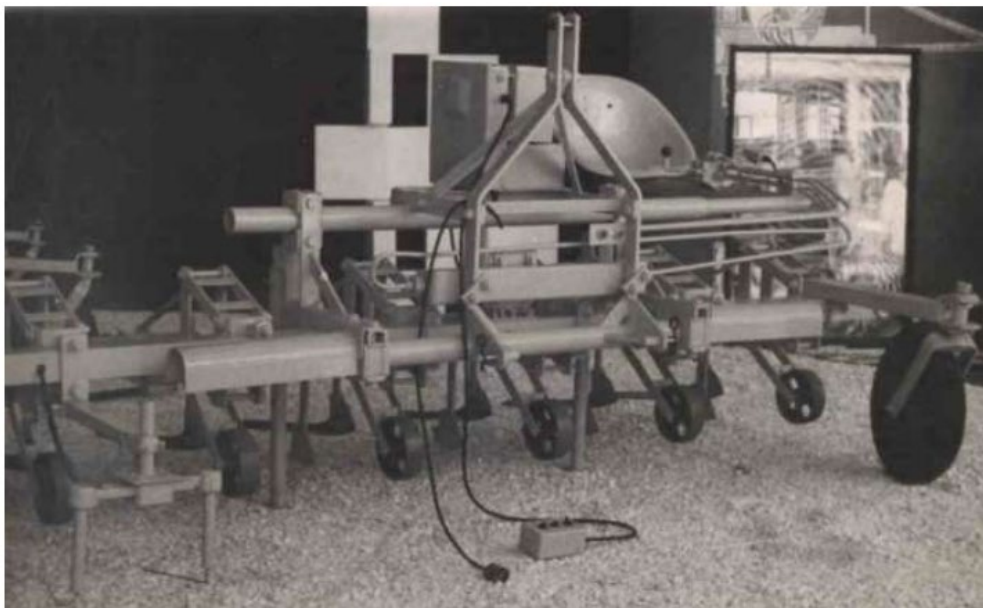


Рисунок 1.4 – Система автоматичного позиціонування робочих органів культиватора КРН-6А

Вона являла собою слідкуючу систему з електроконтактними або механічними щупами та електрогідравлічним виконавчим механізмом. Сигнал, що виникає внаслідок замикання ланцюга через рослина посилюється в ламповому підсилювачі та викликає спрацьовування проміжного реле,

контакти якого включають електромагніт гідрозолотника, що направляє масло від гідросистеми трактора в циліндр, встановлений на культиваторі.

Рама культиватора складалася з нерухомої частини, що з'єднується з заблокованим механізмом навішування трактора, та рухомої частини – бруса, до якого кріпляться секції робочих органів культиватора. Поперечне зміщення здійснюється за допомогою гідроциліндра, шток якого жорстко закріплено на нерухомій частині рами.

Також відомо технічне рішення для реалізації автоматичного водіння гичкозбиральної машини БМ-6Б (рис. 1.5).

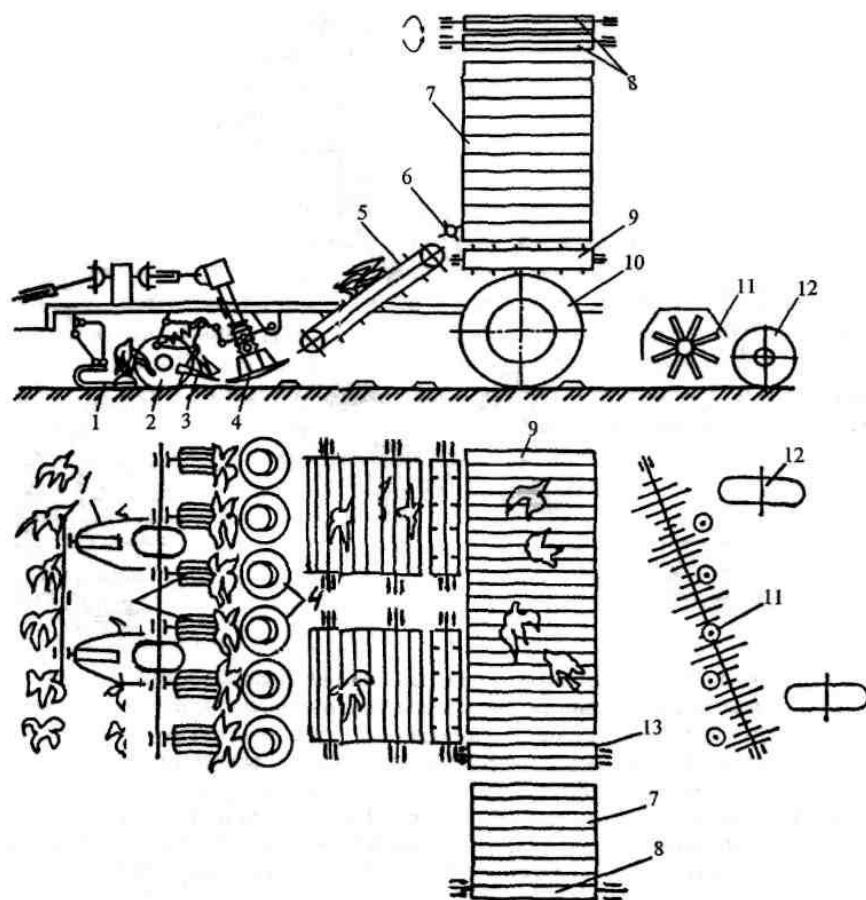


Рисунок 1.4 - Гичко збиральна машина БМ-6Б з системою автоматичного керування:

1 – механізм автоматичного водіння; 2 – опорне колесо; 3 – копір;
4 – гичкозрізувальний пристрій; 5 – повздовжній транспортер; 6 і 13 – бітерний механізм; 7 – вивантажувальний транспортер; 8 – барабан; 9 – поперечний транспортер; 10 – ходовий рушій; 11 – очисник; 12 – опорне колесо

Механізм водіння по рядках 1 забезпечує автоматичне спрямування активних робочих органів по вісі розміщення рядків. Механізм розроблено з застосуванням гідрофікованого слідкуючого механізму до складу якого входять два копір-водії, які мають шарнірне з'єднання з паралелограмним механізмом рами, силовим гідроциліндром, гідророзподільником, коромислом, та системою гідропроводів.

Робота механізму. Відхилення різального апарата від вісі розташування рядків призводить до зміщення головками коренеплодів копір-водіїв, які в свою чергу переміщують праворуч або ліворуч поперечну тягу, коромисло, що переводить золотник розподільника на подачу масла в одну із магістралей силового циліндра. Таким чином шток гідроциліндра коректує положення робочих органів машини відносно вісі рядків.

1.2 Аналіз навісних механізмів з позиціонуванням робочих органів сільськогосподарських машин

Навісний механізм призначений для надійного агрегування трактора з сільськогосподарськими та іншими навісними машинами. Керування навісним механізмом виконується за допомогою гідравлічного приводу трактора. При русі машинно-тракторного агрегату по лінії обробки культур, у зв'язку з нерівномірною щільністю ґрунту робочі органи сільськогосподарських машин постійно прагнуть зійти з лінії обробки по шляху з найменшим опором, що надалі призведе до пошкодження рослин в рядку [13-14].

З метою позиціонування робочих органів машин відносно лінії руху, створюються механізми для коригування руху знарядь [15]. Умовно системи позиціонування робочих органів машин можна розділити на 4 категорії (Рис. 1.5).

Механізм бічного зміщення (рис. 1.5, а) представляє собою додатковий пристрій або частину знаряддя, що дозволяє змістити робочі органи машини відносно вісі трактора у горизонтальній площині.

Механізм поворотного дишла (рис. 1.5, б) являє собою частину знаряддя або окремих механізм, що дозволяє відхиляти знаряддя від осьової лінії трактора в горизонтальній площині. Вісь повороту знаряддя знаходиться безпосередньо поряд із знаряддям. Механізми повороту опорних коліс(рис. 1.5, в) та повороту плоскими дисками (рис. 1.5, г) схожі за принципом дії з механізмом поворотного дишла, але вісь повороту знаряддя знаходиться біля задньої вісі трактора. Відповідно виконавчими механізмами зміщення знаряддя є опорні колеса та плоскі диски.

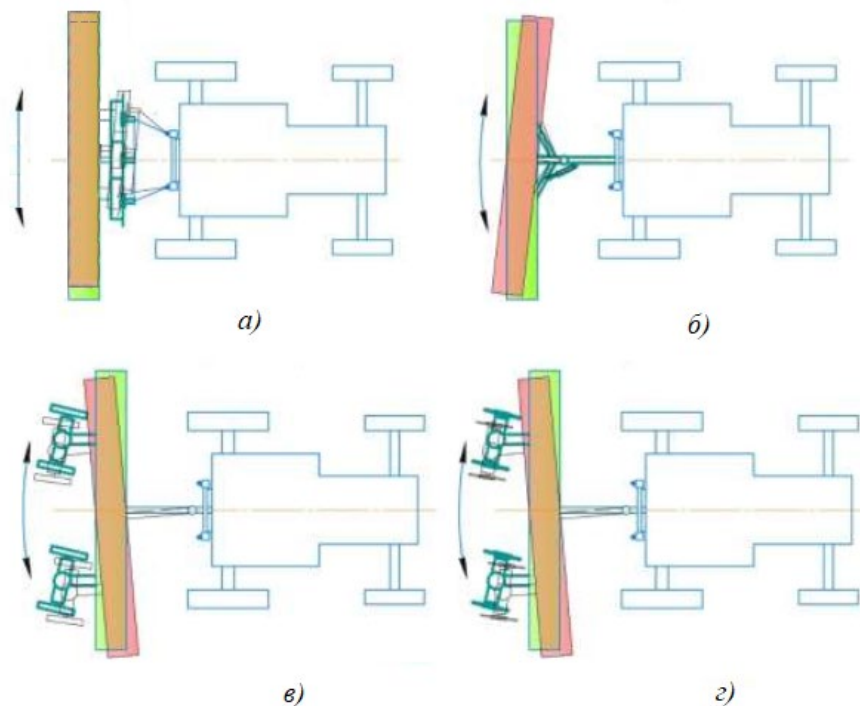


Рисунок 1.5 – Механізми позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин

а- механізм бокового зміщення; б – механізм поворотного дишла;
в – механізм поворотних опорних коліс; г – механізм поворотних дисків

Згідно особливостей механізмів позиціонування робочих органів знарядь на рисунку 1.6 приведено схему розробленої класифікації пристроїв для позиціонування положення робочих органів сільськогосподарських машин відносно вісі переміщення універсально-просапних тракторів.

Пристрої поділяються: за видом виконання технологічних операцій, по типу приводу, за місцем розташування, по типу навіски, за типом координатного переміщення, за типом системи керування та за числом степенів свободи.

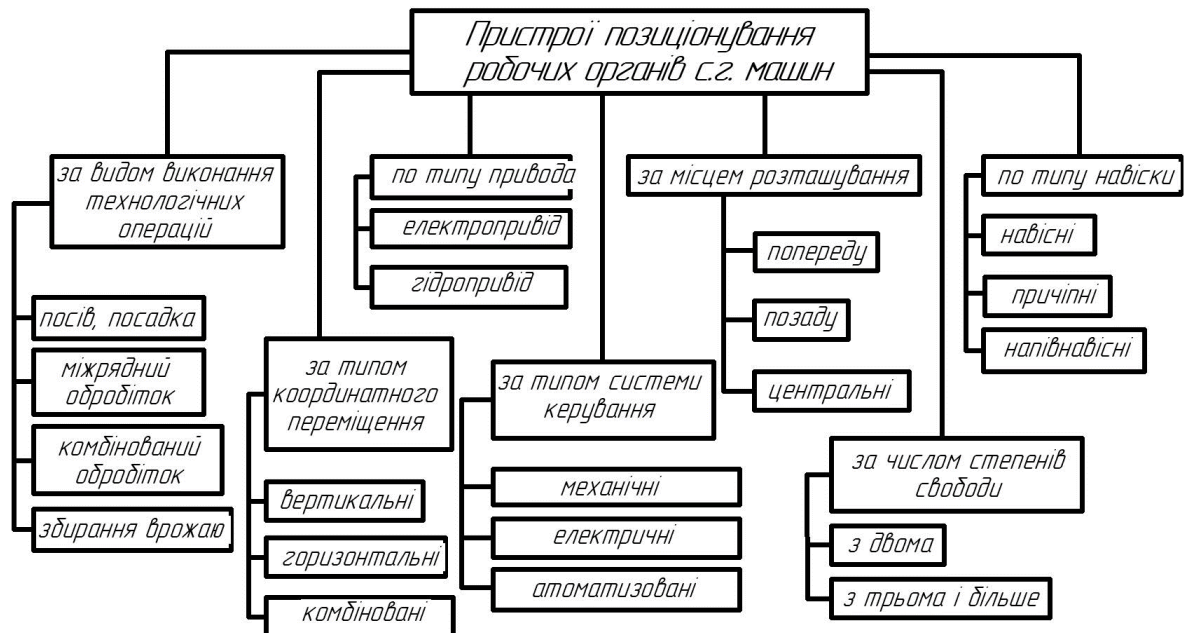


Рисунок 1.6 – Класифікація пристроїв позиціонування робочих органів машин

Механізм регулювання прямолінійного руху знаряддя з поворотним дишлом запропонувала компанія Pro Trakker [16]. Даний механізм (рис 1.7) здатний провести чітко позиціонування машин для садіння чітко по лінії посадки. Механізм складається з верхньої та нижньої плит 1, 2 між якими встановлені розпірні втулки 6. Рухома тяга 4 з пальцем, шарнірно з'єднується з верхньою та нижньою плитами. Гідроциліндр 5 шарнірно з'єднаний з рухомою тягою 4 забезпечує зміщення тяги щодо своєї осі повороту.

Основним недоліком цього механізму є малий робочий хід рухомої тяги, якого буде недостатньо під час руху машини на невеликих схилах, що призведе до сповзання знаряддя. При необхідності використання цього знаряддя на тракторі необхідно витратити час на монтаж та демонтаж обладнання, що негативно позначиться на продуктивності агрегату.

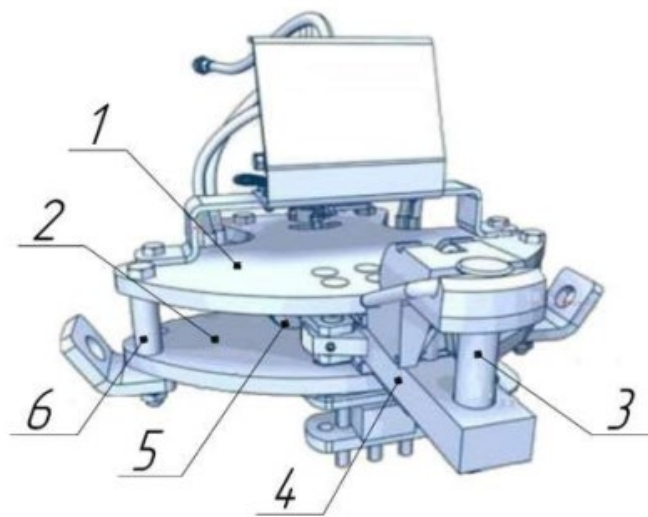


Рисунок 1.7 – Механізм поворотного дишла Pro Trakker:

1 – верхня плита; 2 – нижня плита; 3 – палець; 4 – рухома тяга;
5 – гідроциліндр; 6 – втулка

Розглянемо конструктивне рішення компанії SBG [17] з дисковим механізмом корегування. Компанія виробляє пристрої коригування напрямку руху для навісних сільськогосподарських машин (рис. 1.8) за допомогою стійки з плоскими дисками, що встановлюються на рамі машини.



Рисунок 1.8 – Механізм коригування напрямку руху зняряддя компанії SBG

Механізм має кронштейн, що з'єднує шарнірно обертову частину стійки і нерухому частину стійки гідроциліндром. Основним недоліком даної конструкції є застосування цього механізму тільки на навісних машинах, так як пристрій не в силах направити знаряддя на задану траєкторію руху причіпні машини.

Аналогічною схемою керування є підрулювання опорними колесами знаряддя. Такий механізм представила компанія Grimme [18] на причіпній картопляній саджалці (рис 1.9). Механізм представляє вісь 4 з поворотними кулаками 1, шарнірно з'єднані між собою поперечною тягою 3. Поворот коліс 5 відбувається за рахунок спрацьовування гідроциліндра 6. Недоліком цього механізму є перетин опорних коліс із суміжним обробленим проходом, що викликає переущільнення ґрунту, зменшення захисної зони, а надалі і зниження врожайності.



Рисунок 1.9 – Підрулюючий механізм картоплесаджалки Grimme:
 1 – поворотний кулак; 2 – поворотний важіль; 3 – поперечна тяга;
 4 – вісь; 5 – колесо

Відомі також пристрої корегування робочих органів сільськогосподарських машин розміщені на рамі знаряддя. На такій рамі можна розміщувати секції з різним інтервалом, що являється великим плюсом такої конструкції. На малюнку 1.15 приведено плаваючий навісний пристрій фірми Carre [19].

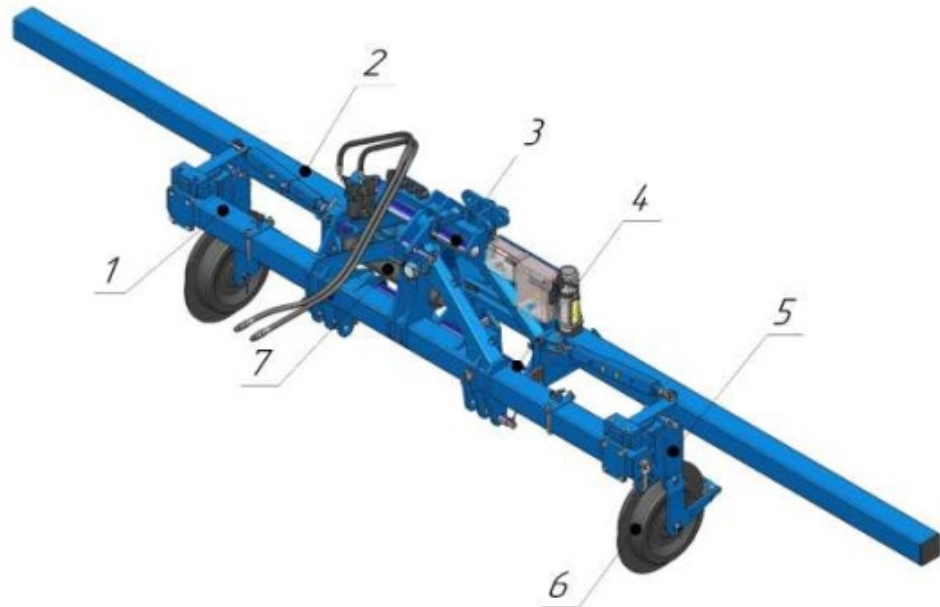


Рисунок 1.15 – Плаваючий навісний пристрій фірми Carre:
 1 – рухома балка; 2 – опорні колеса; 3 – рама; 4, 7 – напрямні;
 5 – стійка; 6 – опорне колесо; 7 – силовий гідроциліндр

Пристрій складається з рами 1 з трьох точковим кріпленням до навісного механізму трактора. За допомогою верхньої напрямної 3 і нижньої напрямної 4 до рами прикріплено рухомий брус 2. Глибина обробітку задається за допомогою стійки 5 та опорних металевих коліс 6, які підтримують заданий трактором курс. За допомогою гідроциліндра 7 відбувається корегування рухомого бруса з розміщеними на ньому секціями відносно рядків, що забезпечує точне позиціонування робочих органів при посіві чи догляді просапних культур.

Основним недоліком пристрою, являється його інтеграція в конструкцію рами, що звужує коло використання. Відсутність напівавтоматичних замків навішування ускладнює монтаж пристрою на навіску трактора.

На особливу увагу заслуговує розробка Robocrop (рис. 1.16) компанії Garford (Англія) [20]. Гідрофікована навіска в парі з камерами Kalman та інтелектуальним блоком керування забезпечує точне позиціонування активних робочих органів для рихлення і прополювання при догляді за сільськогосподарськими культурами.



Рисунок 1.16 – Керований навісний пристрій з активним культиватором Robocrop

За результатами інформації з камер відбувається корегування положення навіски з активними робочими органами частота обертання, яких задається в залежності з розміщенням культурних рослин в рядку. Дана розробка дозволяє забезпечити до 98 відсотків обробку поверхні поля та відмовитися від застосування гербіцидів. За рахунок автоматичного позиціонування робочих органів зменшується навантаження на механізатора пов'язане з постійним корегуванням машно-тракторного агрегату. До недоліків можна віднести велику вартість машини та відносно низьку продуктивність.

1.3 Критерії оцінки точності позиціонування робочих органів

В основі точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин в агрегаті з трактором лежать такі поняття, як стійкість та керованість.

Стойкість руху – це здатність протидіяти зовнішнім збурюючим силам [21]. При розгляді стійкості машино-тракторного агрегату необхідно враховувати стійкість руху знаряддя відносно трактора та знаряддя щодо загальної траєкторії руху, що задається трактором.

Стойкість складається з таких понять як керованість, курсова стійкість, чутливість управління, стійкість прямолінійного руху [22].

Курсова стійкості сільськогосподарських машин в агрегаті з трактором – це здатність знаряддя повторювати траєкторію руху, що задається тягачем (трактором).

Керованості – це здатність машино-тракторного агрегату рухатися точно по траєкторії, що задається за механізмом керуванням [23, 24].

Стойкість прямолінійного руху сільськогосподарських машин – це здатність знарядь протидіяти силам, що виникають при бічному зміщенні робочих органів [25].

Курсова стійкість машино-тракторного агрегату дозволяє забезпечити точне виконання технологічного процесу за необхідним курсом. Згідно умов якісного виконання технологічного процесу відхилення робочих органів машин не повинно виходити за агротехнічні вимоги.

Нижче приведено критерії за якими оцінюють стійкість та керованість машино-тракторного агрегату.

Запас стійкості руху [25] визначимо за рівнянням:

$$\rho = 1 - \frac{A_{B03} - A_{CO}}{A_{CT}} \quad (1.1)$$

де $A_{\text{ВОЗ}}$ – робота збурюючої сили;

$A_{\text{СТ}}$ – робота стабілізуючої сили;

$A_{\text{СО}}$ – робота сили опору.

З урахуванням моментів, що діють на робочі органи знаряддя, запас стійкості визначимо за рівнянням:

$$\rho = 1 - \frac{M_{\text{ВОЗ}} - M_{\text{СО}}}{M_{\text{СТ}}} \quad (1.2)$$

де $M_{\text{ВОЗ}}$ – момент збурюючих сил;

$M_{\text{СО}}$ - момент сил опору;

$M_{\text{СТ}}$ – моменти стабілізуючих сил.

Властивості стійкості виконані, якщо

$$1 > \rho > 0.$$

Якщо $\rho = 1$, це граничний випадок стійкості руху.

Якщо $\rho < 1$, рух виведено за межі стійкості, тобто система не стійка

Якщо $\rho > 1$, у цьому випадку рух стійкий, а система нечутлива.

Система вважається стійкою, якщо момент $M_{\text{СТ}}$ знаряддя встановленого на задньому навісному механізмі трактора, має велике значення при відхиленнях $\rho \ll M_{\text{СТ}}$. За таких умов зберігається властивість знаряддя повертатися на колишню траєкторію. Подібна оцінка дозволяє визначити кількісне співвідношення опорів з іншими факторами, що надалі враховується при складанні диференціальних рівнянь руху та дозволяє відсіяти малозначущі фактори.

У своїх роботах Гячев Л.В. [26] з метою оцінки ступеня стійкості руху причіпної машини пропонує оцінювати шлях, який пройшла машина у відхиленому стані протягом, якого кут відхилення робочих органів машини, виведеної з положення рівноваги, зменшується до значень, прийнятних для технологічного процесу.

Цей шлях виражаємо в частках основного розміру машини:

$$\sigma = \frac{H}{V_d \cdot t} \quad (1.3)$$

де H – довжина знаряддя;

V_d – швидкість руху;

t – час відхилення знаряддя.

Даний критерій використовують при розгляді руху навісних машин на задньому навісному механізмі трактора при відхиленнях його від осьової лінії. Даний критерій буде безпосередньо пов'язаний з видом виконання руху [25]. Критерій дозволяє попередньо вибрати оптимальні параметри навісної сільськогосподарської машини, у якої буде менший шлях, пройдений у відхиленому від заданої лінії стані. Для кількісної оцінки стійкості прямолінійно спрямованого руху Маховиковим А.Я запропоновано визначати коефіцієнт стійкості руху за рівнянням [27]:

$$K_y = 1 - \frac{\Delta}{l} \quad (1.4)$$

де Δ – величина відхилення агрегату від прямолінійного руху, м;

l – довжина ділянки шляху, на якому замірялося відхилення, м.

1.4 Висновки

Використання пристроїв автоматичного керування сільськогосподарським знаряддям за старими технологіями виявилось малоефективним через відсутність сучасних технологій управління знаряддям. З появою електроніки та систем супутникового позиціонування з'явилися нові способи вирішення проблем.

Стійкість і керованість являються основними факторами для забезпечення точного позиціонування робочих органів знарядь в агрегаті з трактором.

Аналіз пристроїв керування положенням знарядь в агрегаті з трактором довів їх широке конструктивне різноманіття. Врахувавши їх переваги та недоліки ми прийшли до висновку, що розробляти необхідно універсальний пристрій з гідравлічним приводом, та автоматизованою системою управління з GPS навігацією. Це дозволить забезпечити ефективно точне позиціонування робочих органів знаряддя відносно рядків.

1.5 Мета і завдання досліджень

Мета роботи – підвищення продуктивності праці та зниження травмування рослин шляхом точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин удосконаленням навісним механізмом універсально-просапного трактора.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз існуючих наукових праць та пристроїв з позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин;
- теоретично обґрунтувати схему удосконаленого керованого навісного механізму та його конструктивно-кінематичні параметри;
- встановити ефективні умови використання удосконаленого керованого навісного механізму за результатами проведених польових досліджень;
- розрахувати техніко-економічну ефективність впровадження запропонованого вдосконалення.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Конструктивна схема и принцип роботи удосконаленого навісного механізму

На основі проведеного аналізу врахувавши переваги та недоліки розглянутих пристроїв проведено удосконалення навісного механізму трактора для точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин приведенного на рисунку 2.1.

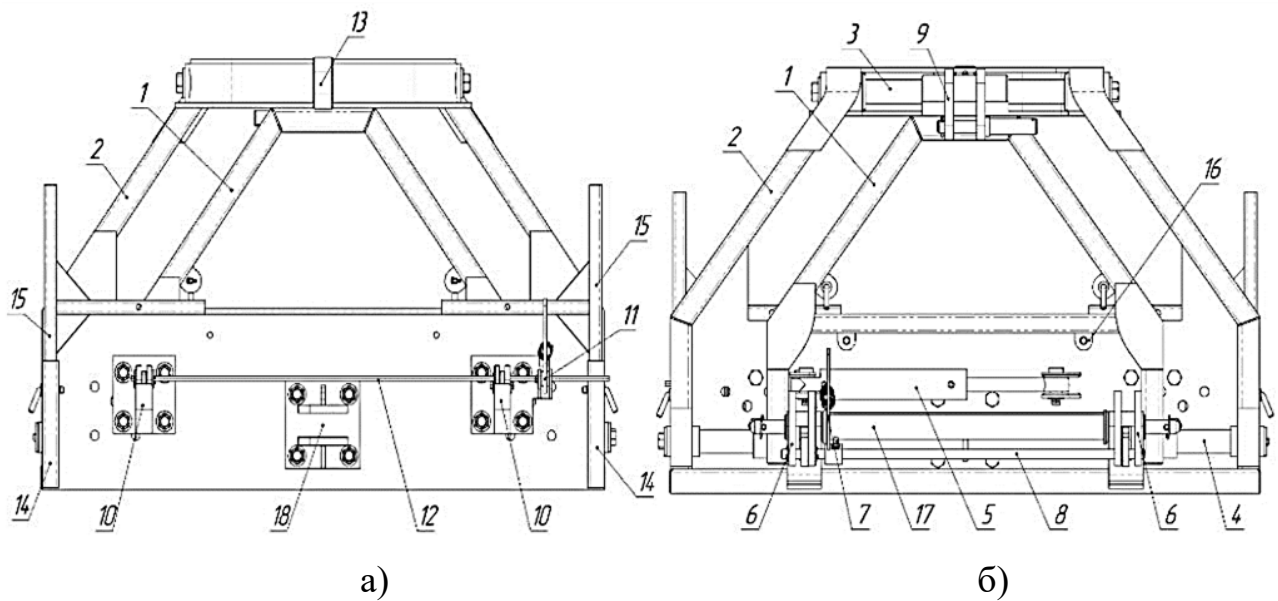


Рисунок 2.1 - Удосконалений навісний механізм трактора:

а) – вид із боку знаряддя; б) – вид з боку трактора

Удосконалений навісний механізм складається з внутрішньої 1 та зовнішньої 2 трапецеїдальної рамки, які встановлено з можливістю поперечного зміщення з'єднанням в верхній 3 і нижній 4 частинах за допомогою круглих труб. За допомогою гідروциліндра 5 виконується зміщення зовнішньої рамки 1 відносно внутрішньої 2.

Використовуючи нижні напівавтоматичні навісні гаки 6 на основній навісці забезпечується безпечне агрегування трактора з знаряддями. Керування гаками виконується за допомогою важеля 7, розміщеного з правого боку в найбільш зручному для виконання відмикання місці та автоматичного закривання замків. За допомогою центральної тяги основної навіски трактора

відбувається з'єднання з підвісною вилкою 8 удосконаленого механізму навіски. Верхні навісні гаки 9 з боку знаряддя, також з напівавтоматичними замками, вони мають можливість регулювання як по висоті так і по ширині для встановлення на різні за тяговим класом трактори в залежності від агрегатованого з трактором знаряддя. Серезка 10 має також має регулювання по висоті для забезпечення зручного приєднання до знаряддя. За допомогою підставок 12 з кронштейнами 11 розміщених на зовнішній рамці 2 полегшується агрегування удосконаленого керованого навісного механізму з основною навіскою трактора. В транспортному положенні знаряддя надійно блокується за допомогою фіксаторів 13, що виключають поперечне його зміщення.. Для зміни класу трактора застосовується змінна качалка 14. Використовуючи кронштейн 15 відбувається агрегування причіпних сільськогосподарських машин з трактором.

Робота удосконаленого навісного механізму УНМ відбувається за наступним алгоритмом. При зміщенні робочих органів сільськогосподарського знаряддя з лінії обробітку ґрунту відбувається обмін сигналами між GPS приймачем, контролером, RTK станцією (рис. 2.2).

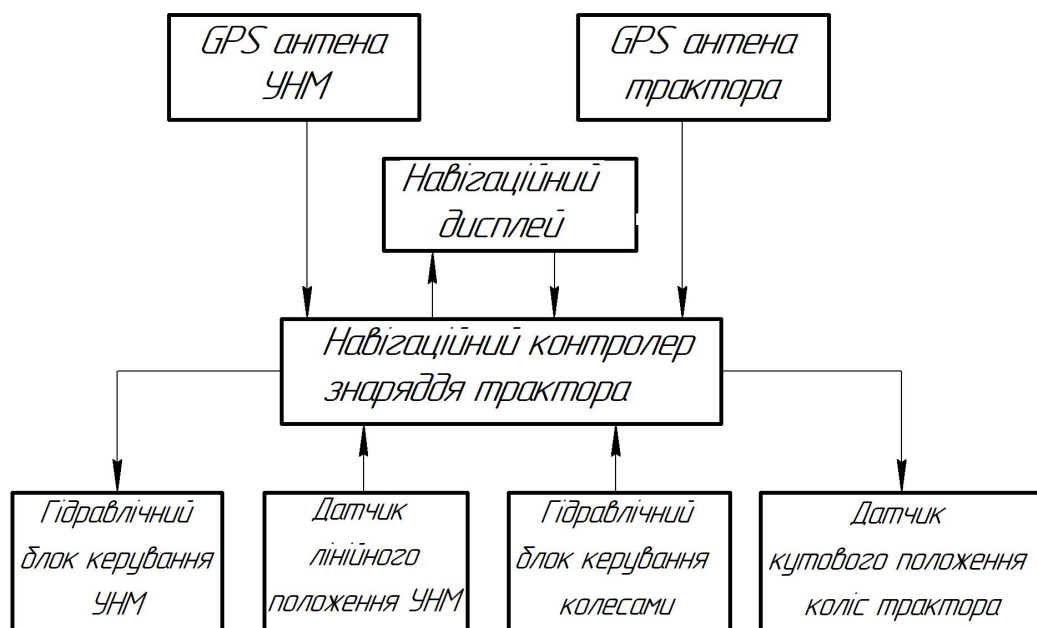


Рисунок 2.2 – Схема роботи керованого навісного пристрою

Контролер подає сигнал через підсилювач на електрогідорозподільник про подачу масла в ту чи іншу порожнину гідроциліндра механізму. Встановлений лінійний потенціометр, що з'єднує внутрішню та зовнішню рамки пристрою, вимірює значення величини зміщення центра зовнішньої рамки відносно внутрішньої. Після проведення коректування та збігу координат навігаційного контролера з заданими, зміщення рамок механізму припиняється.

2.2 Обґрунтування конструктивних параметрів удосконаленого навісного механізму

З метою забезпечення універсальності та функціональності навісного механізму була обрана трапецієподібна його форма. В порівнянні з прямокутною формою навісного механізму, трапецієподібний механізм має меншу металоємність без втрати міцності конструкції.

Удосконалений навісний механізм що використовується для точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин відносно рядків повинен відповідати наступним вимогам згідно стандартів: «Безпеки праці», «Механізм навісний задній тракторів класу 0,6-6», «Трактори і сільськогосподарські машини», «Приєднання знарядь за допомогою трьохточкових пристроїв навішування». [28-31]. Запропонована форма пристрої, забезпечує збільшення вільного простору між трактором та сільськогосподарською технікою, що знижує ризик травмування тракториста при проведенні агрегування чи роз'єднанні трактора з знаряддям.

Проведемо визначення конструктивних параметрів удосконаленого навісного механізму для цього розглянемо процес зміщення сільськогосподарської машини з робочими органами відносно осьової лінії руху трактора. Поперечне зміщення машини відбувається в випадку її сповзання (паралельно рядкам) або при виконанні маневрування агрегатом у

рядках. У першому випадку допустиму величину зміщення можна підрахувати.

Так за ширини міжряддя 45 см, захисна зона відносно рядків згідно агрономог становить 5 см, ширина коліс 26 см максимально допустиме зміщення агрегату складе: $(45 - (10 + 26)) / 2 = 4,5$ см на одну сторону. На підвищених швидкостях трактор може заїхати в зону розміщення рядків рослин. Для того, щоб робочі органи знарядь не пошкодили рослини сільськогосподарська машина повинна мати запас поперечного зміщення [32]. Необхідний запас можна розрахувати, як суму захисної зони та ширини рядка (5 см). Тоді поперечне зміщення дорівнюватиме $5 + 15 + 5 = 25$ см.

Розглянемо випадок коливанні агрегату у міжряддях за рахунок поворотів. При постійному радіусі повороту робочі органи знаряддя описують кола, центр яких розташований у центрі повороту трактора (рис. 2.3). В цьому випадку бокове зміщення робочих органів визначимо за рівнянням:

$$h = l \sin \varphi_{\Pi} - 2l \sin^2 \frac{\varphi}{2} \operatorname{ctg} \gamma, \quad (2.1)$$

де l – відстань робочих органів до задньої осі трактора, м;

φ_n – кут повороту при відхиленні від прямолінійного руху, град.;

γ – кут нахилу радіуса повороту будь-якої точки робочих органів у осі задніх коліс трактора, град.

Кути φ_n і γ залежать від радіусу повороту R . l – величина постійна, конструктивна. Вибір величини φ_n лімітується розташуванням трактора відносно рядків. Максимальне значення його можна визначити за умов маневрування трактора в міжряддях у межах, обмежених рядками рослин. Позначимо через R радіус повороту точки O трактора, а через R' – радіус повороту колеса (рис. 2.3), тоді:

$$R' = \sqrt{L^2 + (R - 0.5B)^2}; \quad (2.2)$$

$$\sin \beta = \frac{L}{R'} = \frac{L}{\sqrt{L^2 + (R - 0.5B)^2}}. \quad (2.3)$$

$$R' = \frac{L}{\sin \beta}. \quad (2.4)$$

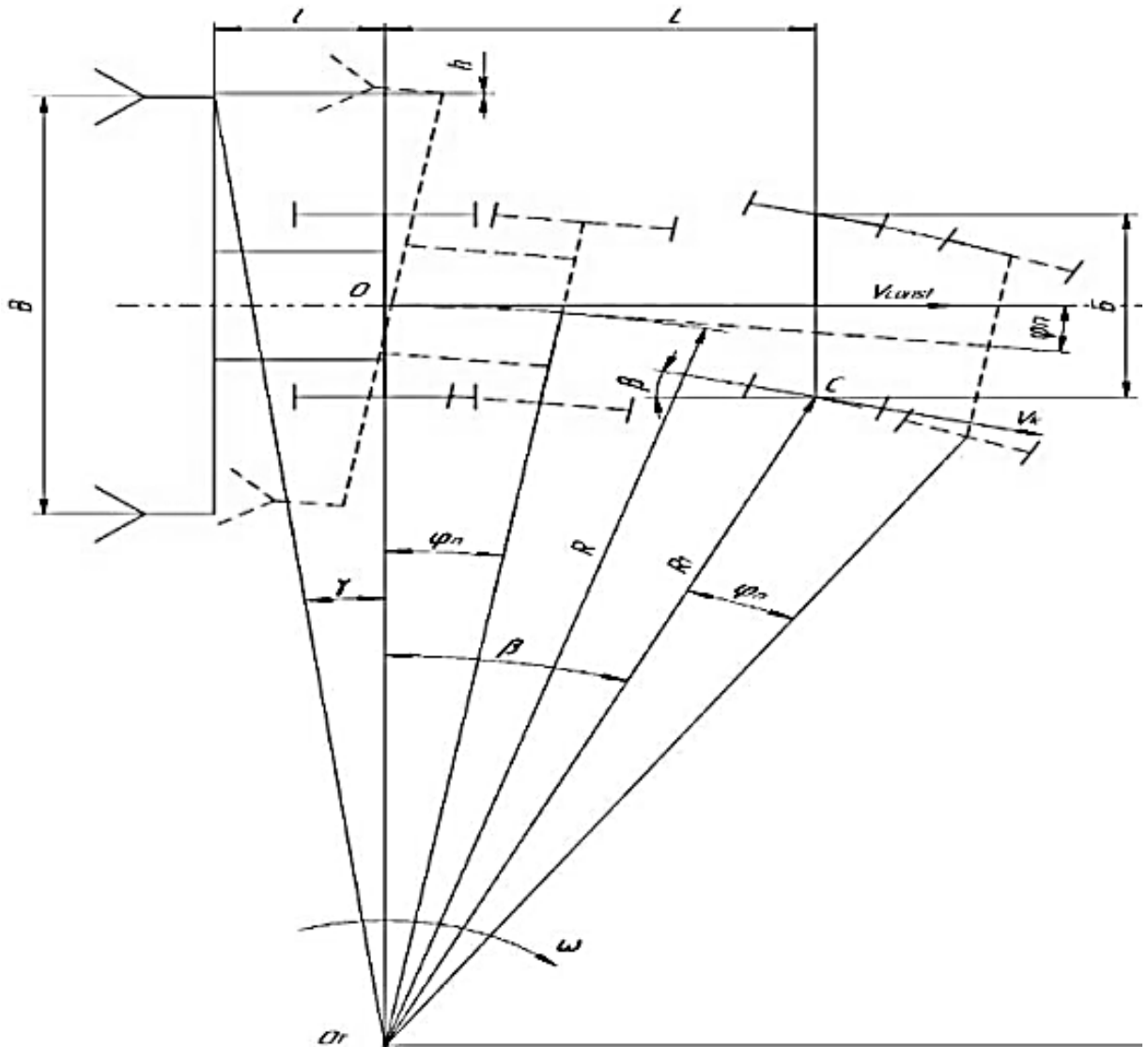


Рисунок 2.3 – Схема визначення радіусу повороту коліс трактора

Розглянемо, як відбувається поворот трактора в міжрядді. Зміна напрямку руху трактора відбувається з поворотом передніх напрямних коліс. За таких умов відбувається зміна величин радіусів і координат центрів повороту. Закон зміни кута повороту коліс залежить від конструктивних особливостей трактора, конкретних умов водіння та багатьох інших факторів [33]. Для визначення максимального переміщення робочих органів введемо кілька умов (рис. 2.4).

1. Передбачається рівномірне обертання передніх коліс навколо осі шворня, тобто $\beta = \varphi(t)$.

2. Задаємося мінімальним радіусом повороту $R_{min} = 20$ м. Більше круті повороти трактора в міжряддях зазвичай не відбуваються через постійне підрулювання за допомогою навігаційної системи трактора. Тоді маневрування центру переднього колеса представимо кривою на рисунку 2.4.

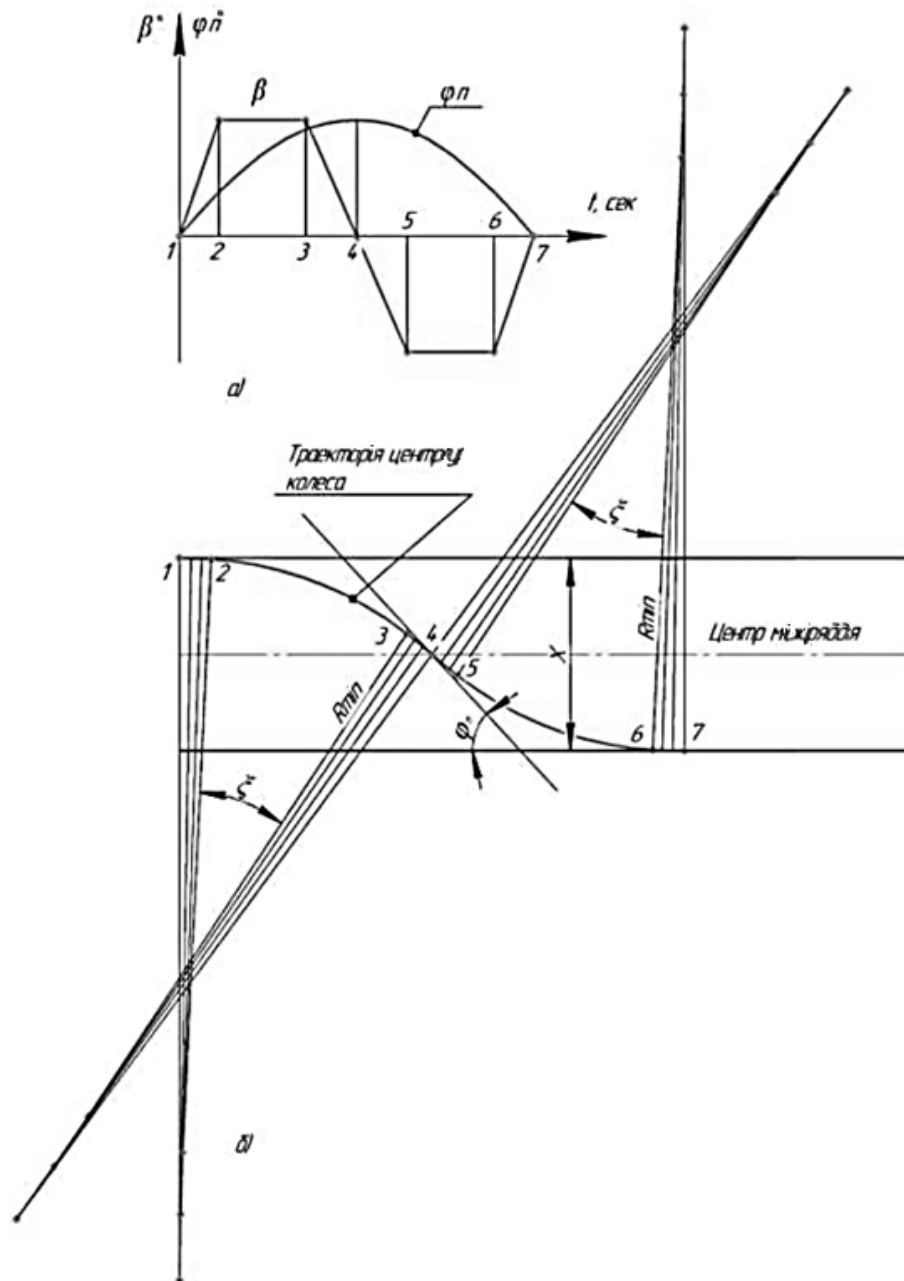


Рисунок 2.4 – Маневрування переднього колеса трактора

a) – криві зміни кутів β і φ_n по часу; *б)* – траєкторія центру переднього колеса

На ній можна виділити такі точки: від точки 1 до 2 відбувається рух колеса із поворотом навколо осі шворня. Від точки 2 до точки 3 відбувається рух колеса без повороту навколо осі шворня, тобто. із постійним радіусом. Точка 3 є місцем, з якого процес відбувається у зворотному порядку.

Розглянемо два варіанти:

1 Кут $\xi = 0$; 2 Кут $\xi \neq 0$.

В першому варіанті процес відбувається від точки 1 до 3 за умови руху колеса з поворотом навколо осі шворня.

Для другого варіанту величина поздовжньої швидкості руху становить $V = 1,5$ м/с. Мінімальний радіус повороту приймаємо рівним 20 м згідно рівняння:

$$R_{\min} = \sqrt{L^2 + (R - 0.5B)^2}. \quad (2.5)$$

Для трактора МТЗ 1523: $R'_{\min} = 8,25$ м; $\sin \beta = R'_{\min} / L = 0,142$; $\beta \approx 8^\circ$.

Розіб'ємо траєкторію повороту колеса на ділянки з кутом 1° , тоді:

$R'_1 = 158$ м; $R'_2 = 78,8$ м; $R'_3 = 53$ м; $R'_4 = 40$ м; $R'_5 = 31,7$ м; $R'_6 = 26,5$ м;
 $R'_7 = 22,8$ м; $R'_8 = 19,4$ м.

Швидкість руху переднього колеса залежатиме від кута його повороту (рис. 2.1).

$$V = \omega R, \text{ тоді } \omega = V/R, \quad (2.6)$$

де ω – кутова швидкість, рад / с.

$$V_k = \omega R'; \quad V_k = \frac{V}{R} \cdot R' \text{ або } R' = \frac{L}{\sin \beta} \text{ тоді } V_k = \frac{V \cdot L}{R \cdot \sin \beta} \cdot R' \quad (2.7)$$

$$\tan \beta = \frac{L}{R - 0.5B}, \text{ звідкіля } R = \frac{L}{\tan \beta} + 0.5B, \text{ м.} \quad (2.8)$$

В межах 8° , $\tan \beta \approx \sin \beta$, тоді $R = \frac{L}{\sin \beta} + 0,5B$, але так як $\frac{L}{\sin \beta} = R'$, тоді

$$R \approx R' + 0,5B \text{ м.} \quad (2.9)$$

Визначимо величину найбільшого поперечного зміщення центру колеса, за умови не пошкодження рядків:

$$X = 700 - (K + C)$$

де K – ширина рядка картоплі;

C – ширина колеса. При 11” ширину колеса приймемо 280 мм,

$$\text{тоді } X = 700 - (350 + 250) = 0,1 \text{ м.}$$

Позначимо бічне зміщення точки O через $[\Delta S]$ і бічне зміщення точки C через ΔS , (рис. 2.5).

Визначимо суму зміщень за рівнянням:

$$\Sigma \Delta S = LVt \left[\frac{2R_1 + Vt \cot \beta_1}{R_1^2} + \frac{1 + \frac{Vt}{R_1} \cdot A_1 \cot \beta_2}{R_2} + \frac{1 + \frac{Vt}{R_1} \cdot A_2 \cot \beta_3}{R_3} + \dots + \frac{1 + \frac{Vt}{R_1} \cdot A_{n-1} \cot \beta_n}{R_n} \right] \quad (2.10)$$

де t – час проходження трактором елементарної ділянки.

$$A_1 = 1 + \frac{R_1}{2R_2}; A_2 = 1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{2R_3}; A_{n-1} = 1 + \frac{R_1}{R_2} + \dots + \frac{R_1}{R_{n-1}} + \frac{R_1}{2R_n};$$

$$\Sigma[\Delta S] = \frac{(Vt)^2}{R^1} \left[\frac{1}{2} + A_1 + A_2 + \dots + A_{n-1} \right] \quad (2.11)$$

Задавшись бічним зміщенням $\Sigma \Delta S = 1/4X = 0,03$ м, визначимо значення t . Для трактора МТЗ 1523 при $V = 1,5$ м/с, $L = 2,76$ м, $t = 0,03$ сек.

Загальний час процесу становить $T = t \cdot n = 0,03 \cdot 8 = 0,24$ сек.

Визначимо кут нахилу осі трактора до осі міжряддя φ_{n1} на ділянці від точки 1 до точки 2:

$$\sin \varphi_{n1} = \frac{Vt}{R_1} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_3} + \dots + \frac{R_1}{R_n} \right), \quad (2.12)$$

Підставивши значення часу t та радіусів повороту отримаємо $\varphi_{n1} = 1^\circ 01'$

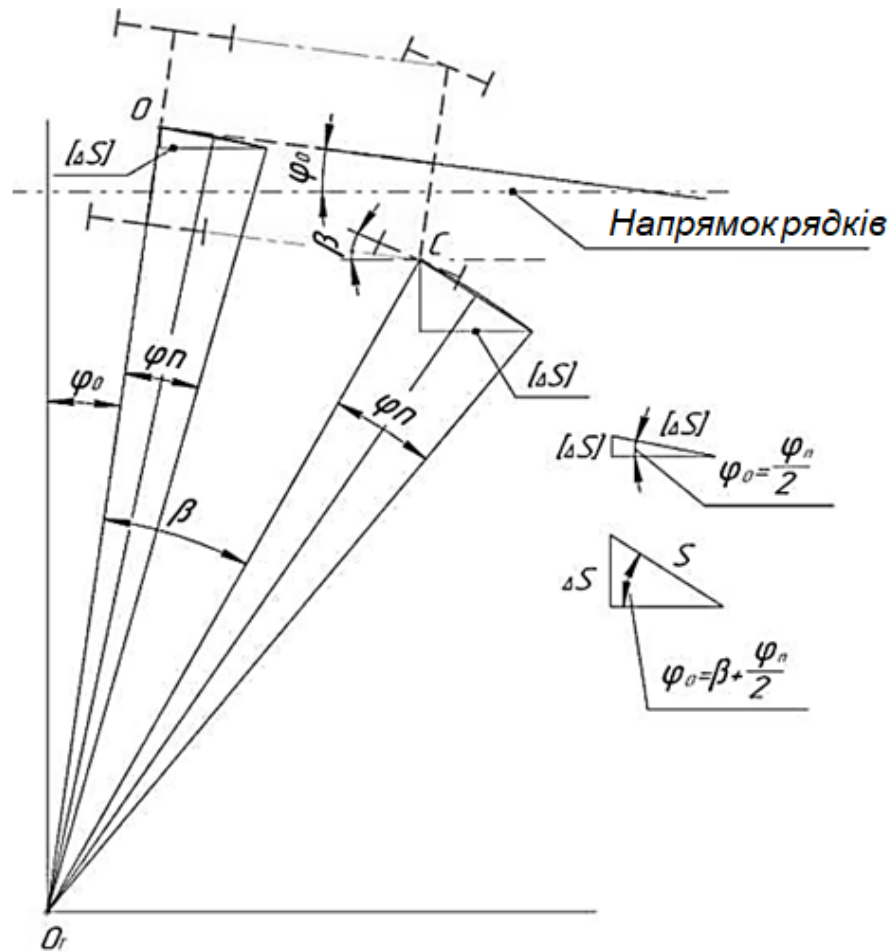


Рисунок 2.5 – Кут нахилу осі трактора до осі міжряддя

На ділянці від точки 3 до 4 (при $\xi = 0$) відбудеться зміна кутів:

$$\sin \varphi_{n1} = \frac{Vt}{R_n} \left(1 + \frac{R_8}{R_{n-1}} + \frac{R_8}{R_{n-2}} + \dots + \frac{R_8}{R_{n-(n-1)}} \right), \quad (2.13)$$

$$\varphi_{n2} = 1^\circ 04'$$

$$\varphi_n = \varphi_{n1} + \varphi_{n2} = 2^\circ 05'$$

Визначимо бічне зміщення точки O підставивши відомі значення в рівняння (2.11), отримали зміщення в 9 мм на ділянці від точки 1 до 4.

На рисунку 2.6 представлено рух із змінним радіусом повороту колеса трактора.

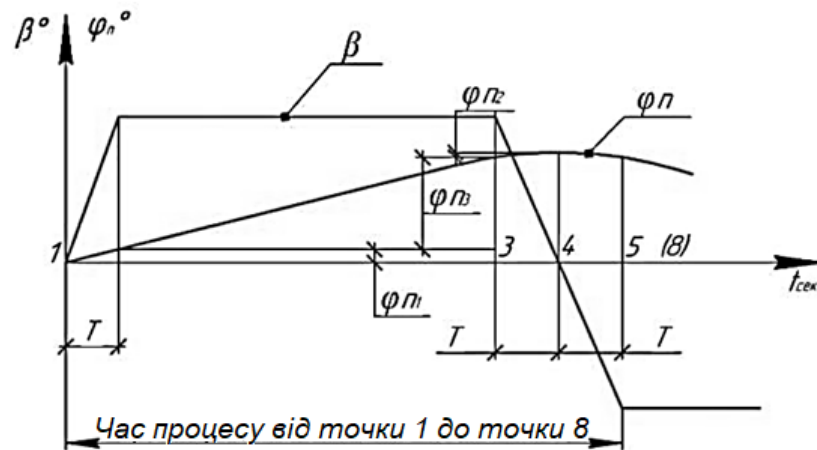


Рисунок 2.6 – Рух із змінним радіусом повороту колеса трактора

Дане завдання зводиться до визначення:

$$\varphi_{\Pi} = \varphi_{\Pi 1} + \varphi_{\Pi 2} + \varphi_{\Pi 3} \quad (2.14)$$

T – час проходження $\sum \Delta S$.

Користуючись виразами 2.12 та 2.13 визначили φ_{n1} та φ_{n2} для МТЗ 1523:

$$\varphi_{n1} = 35', \varphi_{n2} = 35'.$$

Розрахунок φ_{n3} зводиться до визначення кута на який повернеться вісь трактора за постійного радіусу повороту. Межі цього повороту обмежуються величиною $A = X - 3\sum \Delta S$ (рис. 2.7), яка для МТЗ 1523 дорівнює 34 мм.

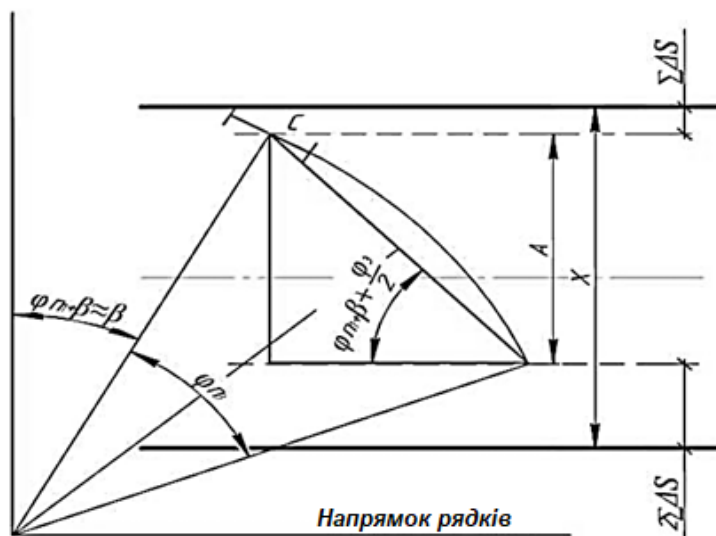


Рисунок 2.7 - Траєкторія повороту при постійному радіусі

При розрахунку φ_{n3} величиною φ_n , можна знехтувати:

$$\sin \varphi_{n3} = \frac{(R-0.5B) \cdot \sqrt{L^2 - (R-0.5B)^2 - [R-(0.5B+A)]^2} - L \cdot [R-(0.5B+A)]}{L^2 + (R-0.5B)^2} \quad (2.15)$$

При парній кількості посівних секцій або симетричному розташуванні робочих органів культиватора

$$B = 2,1 \text{ м}; R = 20 \text{ м}; L = 2,76; \varphi_{n3} = 0^\circ 24'; A = 0,094 \text{ м, кут } \varphi_{n3} = 2^\circ 40'$$

$$\varphi_n = 35' + 35' + 2^\circ 40' = 3^\circ 26'$$

Переміщення точки O та зміни β в цьому випадку визначаємо за рівнянням (2.11).

$$2 \sum[\Delta S] = 2 \text{ мм для МТЗ 1523.}$$

При $\beta = const$, приймаємо значення довжини дуги рівним довжині хорди

$$\sum[\Delta S] = \frac{\varphi_{n3} \cdot \pi \cdot R_{\min}}{180} \cdot \sin\left(\varphi_{n1} + \frac{\varphi_{n2}}{2}\right) = 0,0031 \quad (2.16)$$

Загальне переміщення точки $O \approx 5$ мм.

Розглянемо початок руху трактора з повернутими колесами кут $7-9^\circ$.

(рис. 2.8).

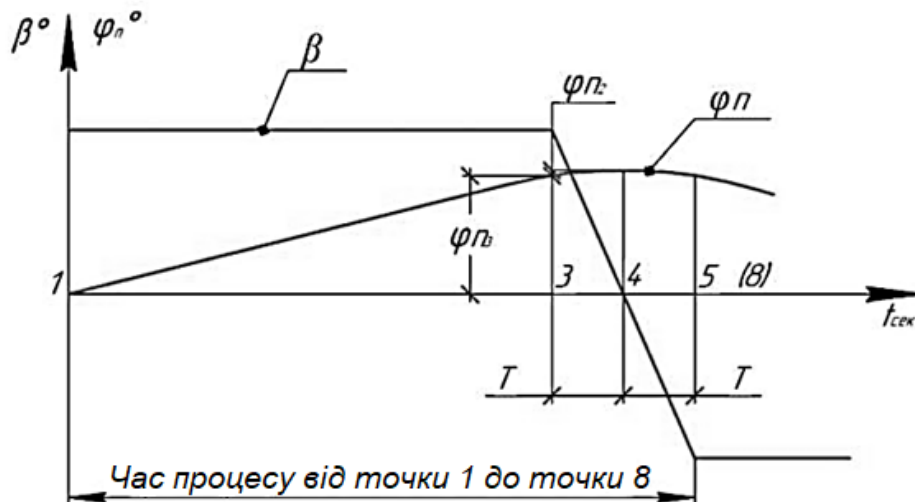


Рисунок 2.8 – Зміна кутів φ_n та β при повороті коліс на початку руху
 Зміна кута повороту коліс трактора відбувається за швидкості $V = 1,5$ м/с.

$$A = X - 2\sum\Delta S = 56 \text{ мм.} \quad \varphi_n = \varphi_{n2} + \varphi_{n3} \approx 5^\circ 05';$$

φ_{n2} дорівнює аналогічному куту у попередньому випадку $36'$.

φ_{n3} підраховуємо за формулою 2.15 і дорівнює $24'$.

Зміщення точки O при $\beta = \text{const}$

$$[\Delta S] = \frac{\varphi_{n3} \cdot \pi \cdot R_{\min}}{180} \cdot \sin \frac{\varphi_{n3}}{2} = 6 \text{ мм} \quad (2.17)$$

Переміщення точки O при $\beta \neq \text{const}$

$$[\Delta S] = V \cdot t \cdot \sin (\varphi_{n3} + \varphi_{n2}/2) = 0,0049 \text{ м} = 5 \text{ мм.} \quad (2.18)$$

Таким чином, загальне зміщення точки O при досягненні значення $\varphi_{n\max}$ для МТЗ 1523 становить 11 мм.

Дані з трьох розібраних випадків зведено до Таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Розрахункові дані φ_n і $\sum[\Delta S]$

Випадок, №	Показники	
	$\varphi_n, ^\circ$	$\sum[\Delta S], \text{ мм}$
1	$2^\circ 05'$	9
2	$3^\circ 50'$	5
3	$4^\circ 30'$	11

Підраховуємо бічне зміщення робочих органів [34]:

$$h = l \sin \varphi_n - 2l \cdot \sin^2 \frac{\varphi}{2} \text{ctg} \gamma \quad (2.19)$$

$$\text{ctg} \gamma = \frac{R_{\min} + 0.5B}{l} = 10.3 \quad (2.20)$$

Отримані значення заносимо до таблиці 2.2. Для МТЗ-1523 із удосконаленим навісним механізмом та культиватором Kassmos HL-8 $l=2$ м.

Таблиця 2.2 – Бокове зміщення точки O

Випадок, №	Показники	
	$2h$, мм	$2h - 2 \sum[\Delta S]$
1	80	62
2	120	110
3	153	131

2.3 Обґрунтування габаритних розмірів удосконаленого навісного механізму

Недоліком більшості посівних та садильних машин являється недостатня керованість їх відносно лінії посадки чи посіву, що в подальшому при виконанні операцій з догляду може призвести до пошкодження рослин. При виконанні маневрування трактором з навісними знаряддями у робочому положенні виникають моменти, які необхідно подолати, щоб вивести агрегат на необхідну траєкторію руху. Додаткові ступені свободи знаряддя відносно трактора ускладнюють повернення їх на лінію обробки [35]. Поява різного питомого опору ґрунту на робочих органах знаряддя призводить до появи крутного моменту та відхилення вершин гребнів утвореного робочими органами знаряддя (рис. 2.11).



Рисунок 2.11. Зміщення гребенів від лінії посадки картоплі

Для мінімізації відхилення осі робочої секції знаряддя від лінії посадки необхідно врахувати такі кінематичні параметри удосконаленого навісного механізму: хід штока гідроциліндра механізму; швидкість переміщення штока гідроциліндра механізму в залежності від швидкості руху трактора. Нижче описані кінематичні параметри характерні для навісного механізму, що виконує наступні умови (рис. 2.12) :

$$a < c; \quad \angle ab \geq 90^\circ$$

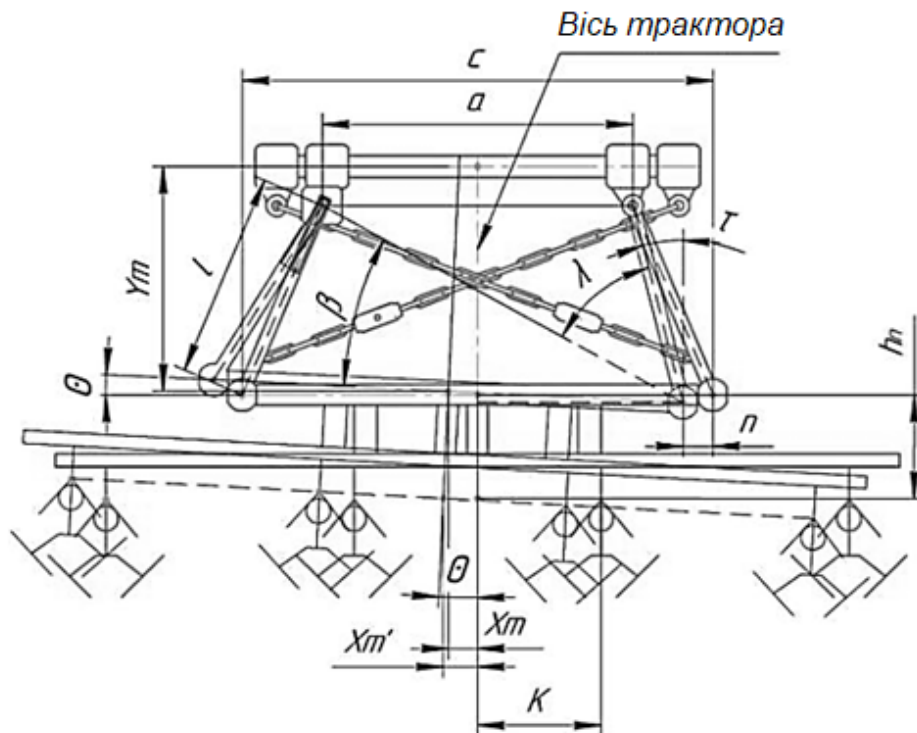


Рисунок 2.12 – Схема відхилення нижніх тяг трактора з знаряддям

Відповідно до заявлених показників навігаційної системи [36], відхилення МТА може становити максимум до 20 мм.

При цьому навісний механізм трактора має відхилення більше на величину:

$$x_m = n + \frac{c}{2} \cos \theta - \frac{c}{2} \quad (2.21)$$

Де n – відстань між центральним та крайнім положенням поперечки навішування трактора; c – відстань між шарнірами нижніх тяг.

Хід штока гідроциліндра визначимо за умовою:

$$L \geq L_m + X'_m, \quad (2.22)$$

де X'_m – відхилення робочих органів посівної чи посадкової машини на ухилі; L_m – відхилення трактора від лінії посіву чи посадки.

Кутове відхилення поперечки (рис. 2.13) навісного механізму трактора визначимо за рівнянням:

$$\theta = 90^\circ - (\tau + \lambda + \beta) \quad (2.23)$$

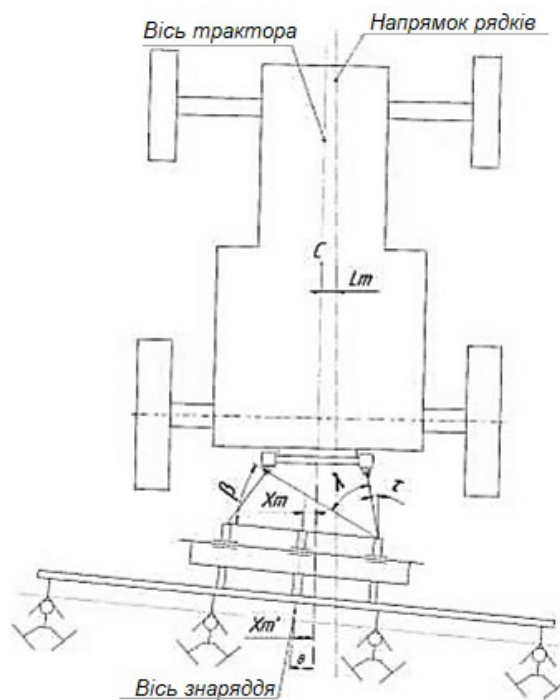


Рисунок 2.13 – Відхилення МТА від курсової лінії

Відхилення гребнів від заданої лінії посадки чи посіву X'_m залежить від відстані розміщення робочих органів відносно осі з'єднання нижніх тяг трактора з знаряддям (h):

$$X'_m = h_{\Pi} \cdot \sin \theta + X_m + K, \quad (2.24)$$

де h_{Π} – відстань від осі поперечки навіски трактора до робочого органу знаряддя у поздовжньому напрямі;

K – відстань від осі знаряддя до робочого органу в поперечному напрямку,

θ – кут відхилення навішування від осьової лінії трактора.

Для визначення залежності швидкості зміщення рамки удосконаленого навісного механізму від швидкості руху трактора необхідно враховувати такі фактори, як відхилення трактора від лінії обробки L_m , відхилення навісного механізму трактора від осьової лінії трактора X_m , відхилення робочих органів від осьової лінії трактора X'_m .

Враховавши принцип роботи удосконаленого навісного механізму та особливості приєднання до нього сільськогосподарських машин, визначимо довжину зовнішньої рамки (рис. 2.14), за умовою:

$$D_{н.р.} > D_{в.р.} + S + 2B, \quad (2.25)$$

де $D_{в.р.}$ – довжина внутрішньої рамки;

S – хід штока гідроциліндра;

B – ширина профілю нижнього ребра зовнішньої рамки.

Висоту удосконаленого навісного механізму визначимо за умовою:

$$B_{н.р.} > B_{в.р.} + l, \quad (2.26)$$

де $B_{в.р.}$ – висота внутрішньої рамки пристрою; l – відстань від осі нижнього напрямного валу до поверхні нижнього бруса зовнішньої рамки.

Ширину удосконаленого навісного механізму визначаємо з урахуванням підвищення стійкості трактора. Для цього необхідно максимально наблизити точки зачеплення знаряддя та трактора (рис 2.14):

$$Ш_v = H_1 + H_2 + H, \quad (2.27)$$

де H – відстань між осями нижніх підвісів; H_1 – відстань від центру осі до заплечика кронштейна; H_2 – відстань від центру осі до заплечика кронштейна.

Універсальність удосконаленого навісного механізму (УНМ) дозволяє його швидко перелаштувати з агрегування з тракторами 3 класу на

агрегування з тракторами 2 класу та навпаки. При цьому верхня сережка пристрою рухома і має два отвори діаметрів D_1 , зазначених у таблиці 2.3.

Для безперешкодного з'єднання верхньої тяги УНМ зі знаряддям необхідно виконати таку умову:

для 2 класу тракторів $R_1' \geq 60$; мм; для 3 класу тракторів $R_1'' \geq 80$, мм

де R_1' і R_1'' – зона вільного простору навколо верхньої приєднувальної тяги.

Для забезпечення універсалізації УНМ верхня серга має діапазон регулювань $L = 50$ мм.

Діаметр отворів у сережці відповідає класу агрегатованого трактора та визначається за ДСТУ 10677-2001 [28].

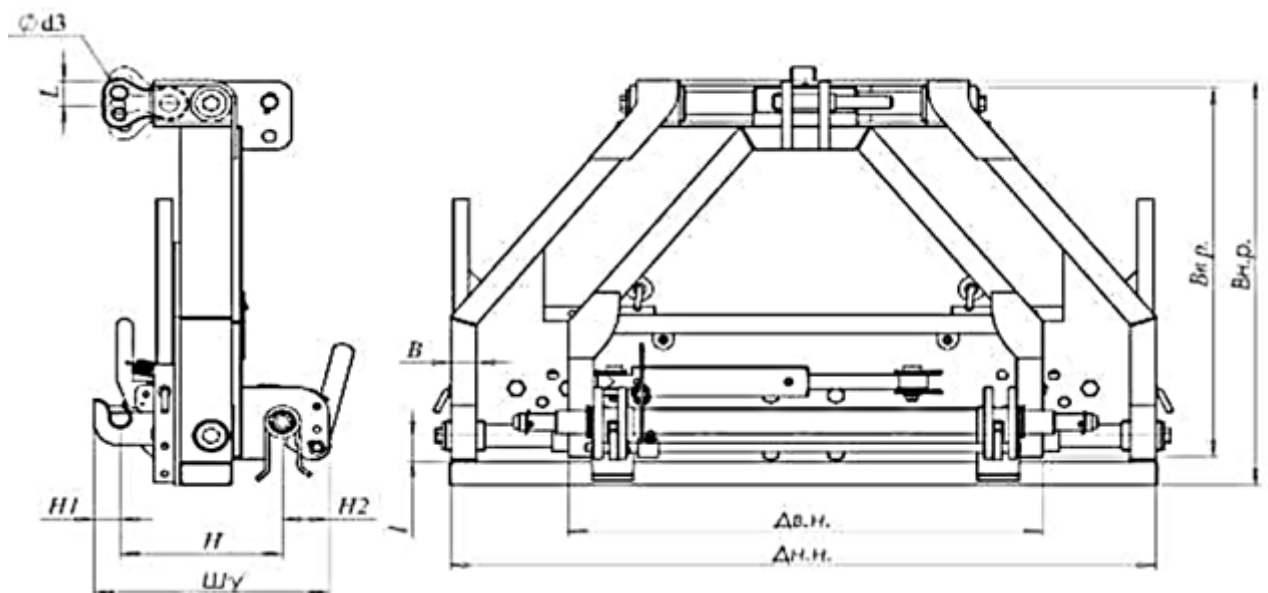


Рисунок 2.14 - Удосконалений навісний механізм

Для прискорення процесу навішування УНМ на трактор використовувалися напівавтоматичні замки, що дозволяють приєднати нижні тяги УНМ до трактору за допомогою валу навішування. Вал навішування знімний і змінний для 2 і 3 класи трактора, що агрегується.

Довжину валу навішування визначимо за рівнянням:

$$K = N + 2t_2 + 4d_3, \text{ мм} \quad (2.28)$$

Одним з основних параметрів для агрегування удосконаленого навісного механізму з трактором є зона вільного простору навколо тяг трактора. При проектуванні зчіпного механізму удосконаленого навісного механізму необхідно виконати наступні умови:

$$R_1 = R_2 \geq 80, \text{ мм,}$$

де R_1 і R_2 – радіус вільного простору навколо верхньої та нижніх тяг трактора;

$$\beta_1 \geq 20^\circ, \beta_2 \geq 65^\circ, \beta_3 \geq 30^\circ, \beta_4 \geq 45^\circ,$$

де β_1 - β_4 кут зони вільного простору навколо нижніх тяг трактора.

Проектування точок кріплення механізму до трактора виконуємо з урахуванням стандарту [28].

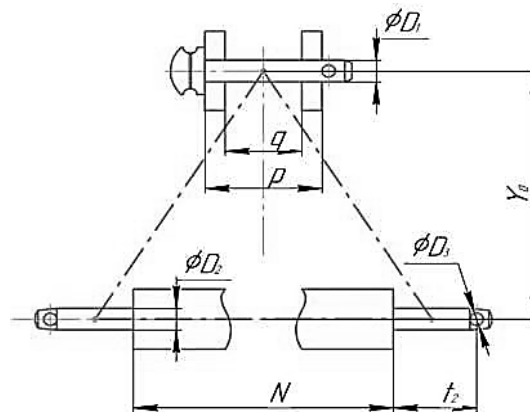


Рисунок 2.15 – Розміри приєднувальних елементів удосконаленого навісного механізму

Таблиця 2.3 – Розміри приєднувальних елементів трактора

Найменування параметру	Значення для типорозміру навісного пристрою	
	УНМ-2	УНМ-3
1	2	3
Верхня приєднувальна точка: діаметр отвору в вилці для пальців верхньої тяги D_1 , мм	25,7+0,2	32+0,25

Продовження табл. 2.3

1	2	3
відстань між внутрішніми поверхнями вилки стійки q , мм не менше	52	52
відстань між зовнішніми поверхнями вилки p , мм не більше	86	95
Нижні приєднувальні точки: діаметр нижніх пальців d_2 , мм	28-0,2	36,6-0,2
відстань від заплечика нижнього пальця до осі отвору під чеку t_2 , мм не менше	49	52
відстань між заплечиками нижніх пальців	825±1,5	965±1,5
Висота стійки, мм	610	685-700
Діаметр отвору в нижніх пальцях під чеку d_3 , мм не менше	12	17

В таблиці 2.4 наведено основні технічні данні удосконаленого навісного механізму

Таблиця 2.4 – Технічна характеристика УНМ

Показник	Значення
1	2
Поперечне зміщення рамок в горизонтальній площині, мм.	250±5
Маса, кг	240 ± 5
Габаритні розміри (ДхШхВ), мм	562x1433x883
Агрегатується з тракторами, клас	2 і 3

Продовження таблиці 2.4

1	2
<p>Відстань від осі підвісу зчипки до осі повороту верхньої тяги трактора, мм:</p> <p>- трактор класу 2</p> <p>- трактор класу 3</p>	<p>610..635</p> <p>685..700</p>
<p>Відстань між крюками, мм</p> <p>- трактор класу 2</p> <p>- трактор класу 3</p>	<p>1005</p> <p>1130</p>

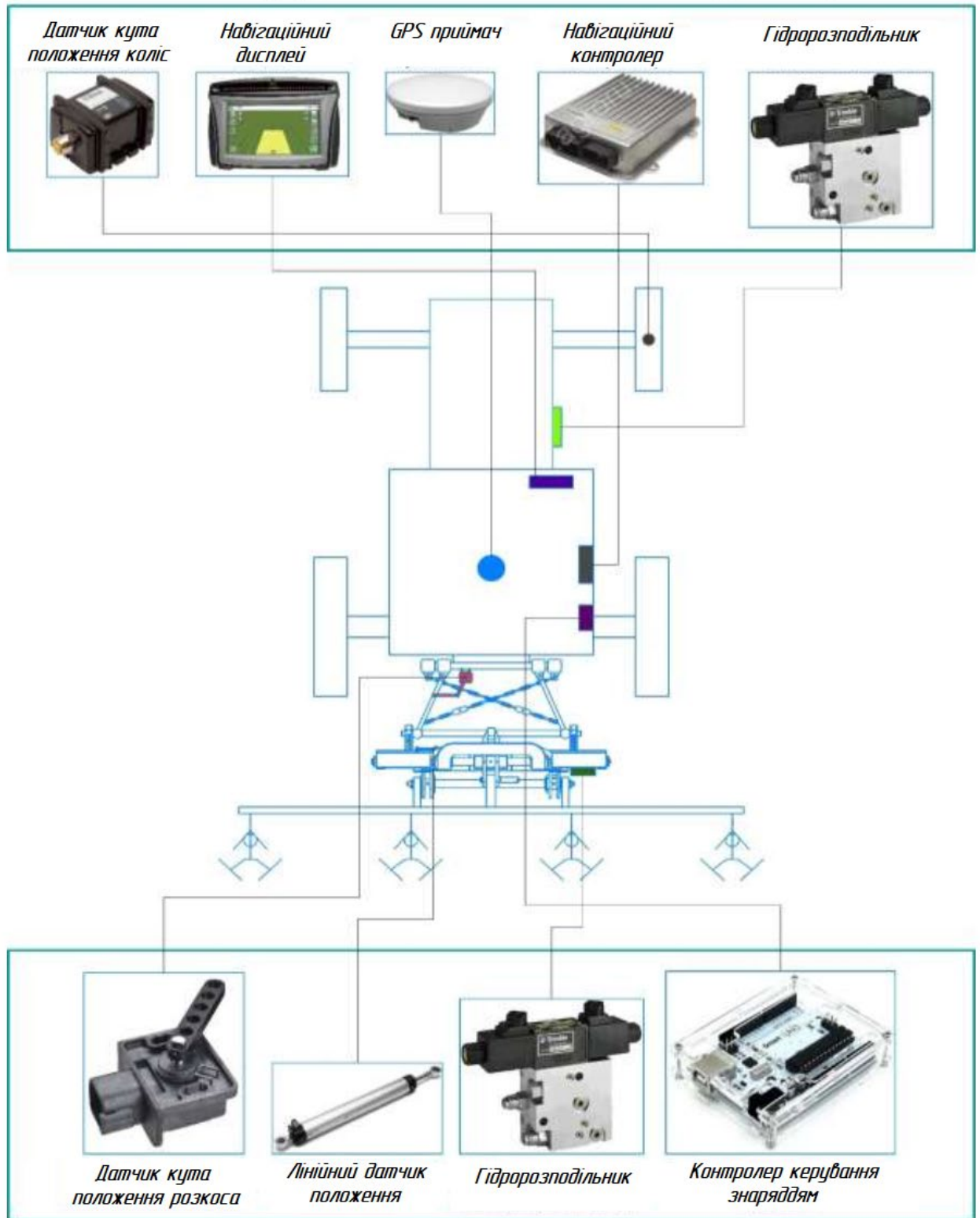
2.4 Розробка системи позиціонування робочих органів

Система позиціонування робочих органів знаряддя є сукупність підсистем керування положенням трактора і безпосередньо робочих органів знаряддя. На рисунку 2.16 представлено схему розміщення основних елементів системи позиціонування. Основним елементом системи позиціонування являється навігаційне обладнання контролю переміщення трактора в просторі. Обладнання дозволяє з точністю до 2 см визначати траєкторію руху трактора. Саме використання RTK станцій дозволяє забезпечити таку точність систем позиціонування техніки [37].

Система позиціонування складається з RTK станції, дисплея, навігаційного контролера, антени приймача, електрогідорозподільника, датчиків акселерометра та кута встановлення коліс.

За допомогою GPS антени (приймач) трактора RTK станція обмінюється координатами з контролером. Встановлені датчики кута положення передніх коліс та акселерометр коригують координати поточного положення трактора. Потім ці координати порівнюються з координатами лінії прямого руху.

Система керування положенням трактора



Система керування положенням знаряддя

Рисунок 2.16 – Схема системи позиціонування

За допомогою контролера надходить команда на електрогідорозподільник управління гідроциліндром повороту передніх коліс.

Підсистема позиціонування робочих органів знаряддя відносно рядків складається з контролера положення знаряддя, електрогідорозподільника управління штоком гідроциліндра удосконаленого навісного механізму, потенціометром лінійного положення зовнішньої рамки пристрою і кутовим потенціометром кутового положення розкосу навісного механізму трактора. Для контролера управління знаряддям розроблено програмне забезпечення, що дозволяє аналізувати отримані дані з навігаційного контролера трактора, лінійного датчика положення рамок пристрою і кутового датчика положення нижнього розкосу навісного механізму трактора і надалі давати команду на коригування поздовжнього положення.

Робота підсистеми здійснюється наступним чином (рис. 2.17): навігаційний контролер системи управління положенням трактора передає координати положення трактора, кута положення його коліс і координати лінії руху, що задається на контролері розташування робочих органів знаряддя. Мікроконтролер знаряддя оцінює положення навісного пристрою трактора щодо осі трактора і порівнює їх з координатами лінії руху трактора, що задана. При різниці цих координат контролер знаряддя дає команду про подачу масла в ту чи іншу порожнину гідроциліндра удосконаленого навісного механізму. Порівняння координат, отриманих від навігаційного контролера трактора та координат положення навісного пристрою трактора відбувається постійно.

За розробленим алгоритмом роботи системи позиціонування описана регулятивна функція системи управління (рис. 2.18).

У загальному вигляді функція має вигляд:

$$y = f(x_1, x_2, x_3), \quad (2.29)$$

де y – відхилення центру осі знаряддя у горизонтальній площині від лінії заданої навігаційним контролером, мм:

x_1 – ухил поля, %;

x_2 – різниця щільності ґрунту під робочими органами знаряддя, кг/см³;

x_3 – відхилення трактора в горизонтальній площині від лінії, заданої навігаційним обладнанням, мм.

Відповідно:

$$x_1 = \frac{\Delta h}{L} \cdot 100\%, \quad (2.30)$$

де Δh – різниця між відмітками, мм, l – відстань, мм.

$$x_2 = \frac{m}{V_s}, \quad (2.31)$$

де m – маса сухого ґрунту, г, V_s – об'єм ґрунту см³.

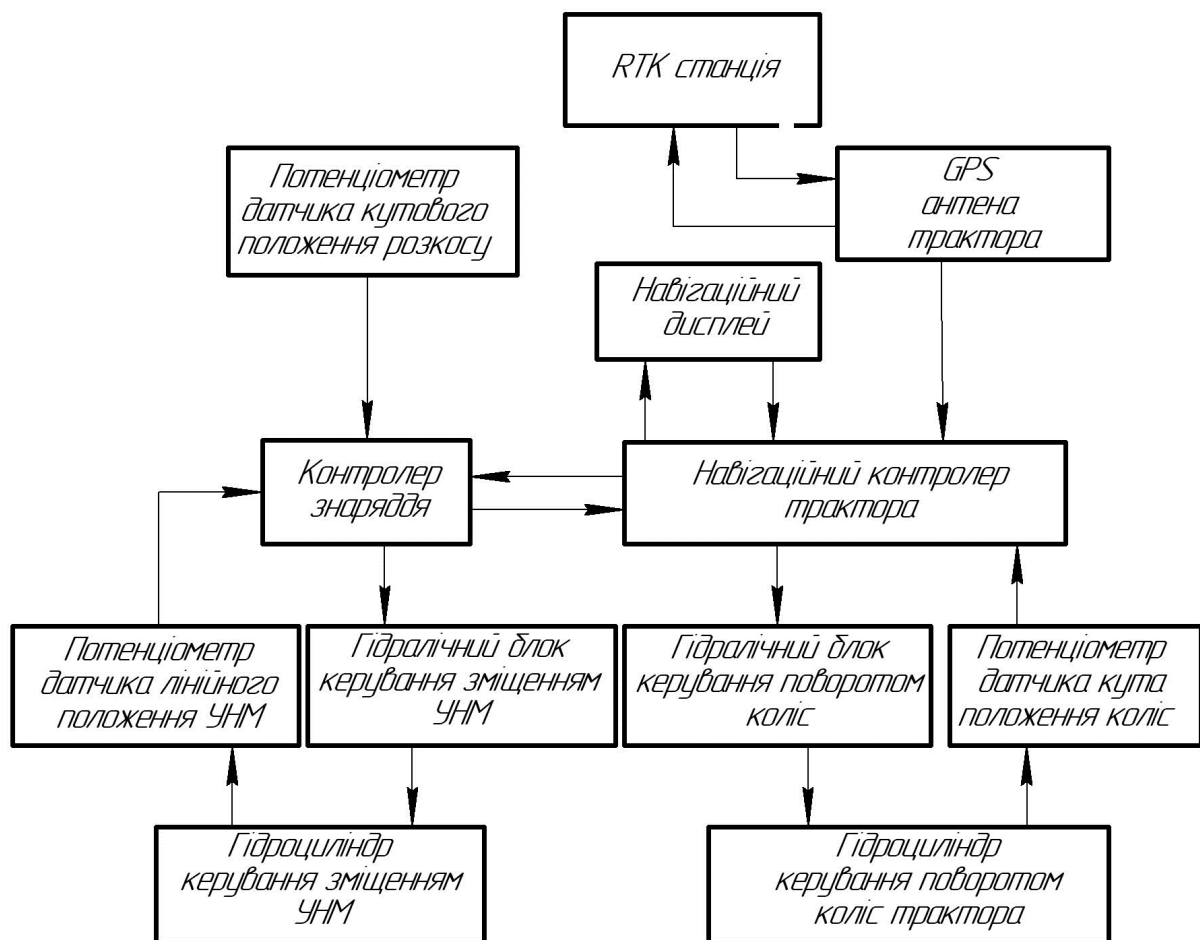


Рисунок 2.17 – Схема взаємодії елементів системи позиціонування

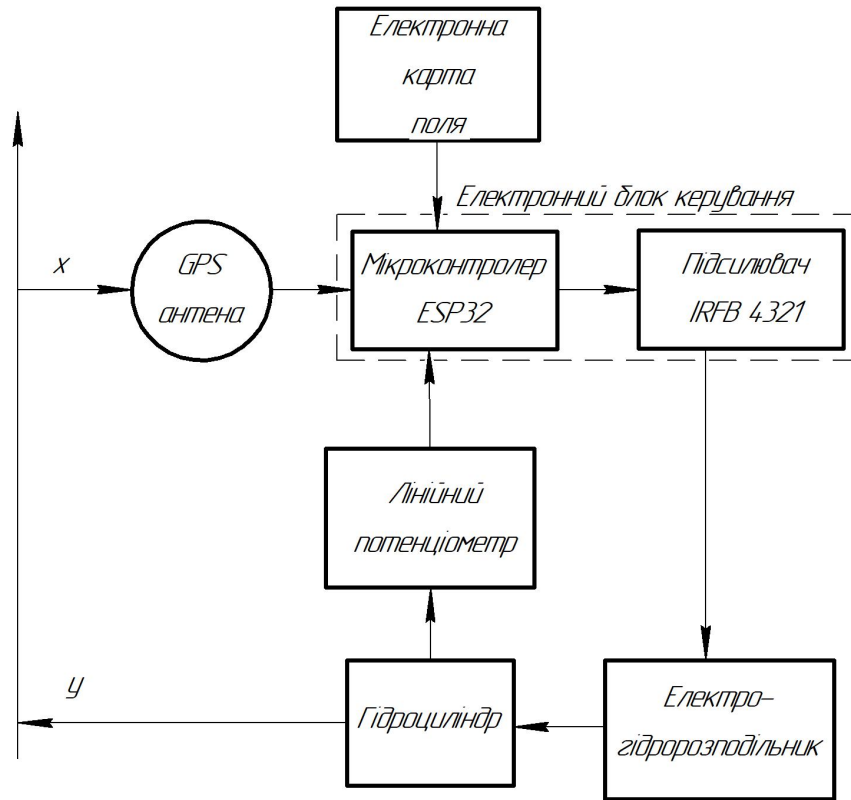


Рисунок 2.18 – Регулятивна функція системи позиціонування

$$x_3 = \frac{(Vt)^2}{R_1} \cdot \left[\frac{1}{2} + A_1 + A_2 \cdots + A_{n-1} \right], \quad (2.32)$$

де V – швидкість руху трактора, м/с, t – час проходження елементарної ділянки, с, A – відстань пройденої елементарної ділянки колії, м, R – радіус повороту трактора, м.

Підставивши рівняння 2.30, 2.31, 2.32 у функцію загального виду отримаємо її у розгорнутому вигляді:

$$y = f \left(\frac{\Delta h}{L} \cdot 100\%, \frac{m}{V}, \frac{(Vt)^2}{R_1} \cdot \left[\frac{1}{2} + A_1 + A_2 \cdots + A_{n-1} \right] \right), \quad (2.33)$$

GPS антена, встановлена на знарядді, являється сприймаючим датчиком. Збурюючими факторами (x) являється різниця щільності ґрунту під робочими органами машин, ухил поля, відхилення трактора в горизонтальній площині від лінії заданої навігаційним обладнанням. З антени сигнал

надходить на елемент порівняння мікроконтролер ESP32 електронного блока керування. Також на мікроконтролер надходить сигнал від датчика, в ролі якого виступає електронна карта поля. В результаті порівняння сигналів формується керуючий сигнал, який надходить на виконавчі пристрої.

У зв'язку з тим, що вихідний сигнал має низький рівень, його підсилюють підсилювачем IRFB4321 вмонтований в електронному блоці керування. Після чого сигнал надходить на виконавчий пристрій електрогідорозподільник. Встановлений лінійний потенціометр також виступає в ролі датчика, що сприймає задане зміщення рамки пристрою, сигнал передає мікроконтролеру електронного блоку управління.

2.5 Висновки

1. Виходячи з аналізу пристроїв керування положенням знаряддя, було проведено удосконалення навісного механізму, що здійснює позиціонування робочих органів знарядь відносно рядків.

2. Обґрунтовано форму механізму в вигляді трапеції, що дозволяє знизити загальну металомісткість.

3. Проведено обґрунтування кінематичних параметрів керованого навісного пристрою, а саме визначено величину зміщення рамки механізму від крайнього правого положення до крайнього лівого. Встановлено, що поперечне зміщення рамки механізму становить 250 мм.

4. Розроблено систему позиціонування робочих органів знарядь відносно рядків та лінії руху трактора. Розглянуто алгоритм роботи запропонованого електронного блоку управління знаряддям, що передбачає порівняння координат, отриманих від навігаційної системи трактора та координат, отриманих кутовим потенціометром, встановленим на нижньому розкосі навісного механізму трактора і подальше коригування рамки удосконаленого навісного механізму на лінію, задану навігаційним контролером.

5. Згідно алгоритму роботи описана регулятивна функція системи позиціонування.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Програма та методика досліджень

Метою польових досліджень керованого удосконаленого навісного механізму є:

- порівняння точності позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин з використанням УНМ та без нього;
- встановлення залежності факторів, що варіюються, на обраний критерій оптимізації, а саме відхилення поздовжньої осі робочої секції ґрунтообробної машини (культиватора) від лінії, що задається навігаційним обладнанням.

Завданням польових досліджень керованого удосконаленого навісного механізму у складі МТА є перевірка гіпотези впливу УНМ на точність позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин. Польові дослідження проводилися агрегатом, що складається з трактора МТЗ-1523, навісного пристрою УНМ-3, і культиватор Kassmos HL-8 (рис 3.1) згідно розроблених методик проведення польових досліджень [38, 39].

Підготовчий етап проведення досліджень передбачає:

- визначення щільності ґрунту;
- визначення питомого зчеплення часток ґрунту;
- визначення тягового опору агрегатованої машини.

Основний етап польових досліджень передбачає:

- визначення величин відхилення культиватора у складі МТА з навігацією, встановленою на тракторі та знарядді;

3.2 Об'єкт досліджень

Об'єктом дослідження являється керований удосконалений навісний механізм у складі МТА (рис. 3.1), а саме МТЗ-1523+УНМ-3+ Kassmos HL-8 (культиватор) (додаток А і Б)



Рисунок 3.1 – Керований удосконалений навісний механізм УНМ-3 з культиватором Kasmos HL-8 в агрегаті з трактором МТЗ-1523

Загальний вигляд удосконаленого навісного механізму представлено на рисунку 3.2, технічна характеристика УНМ-3 приведена в таблиці 3.1.

Керування УНМ-3 здійснюється за допомогою розробленої в попередньому розділі системи керування положенням робочих органів сільськогосподарських машин (рис. 2.16), що складається з датчика кутового положення нижнього розкосу трактора, лінійного датчика положення рамки удосконаленого навісного пристрою, гідророзподільника, електронного блоку керування та керованого удосконаленого навісного механізму. Запропонований керований механізм встановлюється на універсально-просапних тракторах 2 та 3 тягового класу.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд удосконаленого навісного механізму УНМ-3

Основні технічні параметри удосконаленого навісного механізму наведено в таблиці 3.1. Розроблений керований навісний механізм УНМ-3 агрегується з тракторами та знаряддями 2 або 3 класу тяги. Повна вага механізму становить 248 кг.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика УНМ-3

Показники	Значення
Маса, кг	240 ± 5
Поперечне зміщення рамок в горизонтальній площині, мм.	250±5
Агрегування з тракторами, класу	2 и 3
Габаритні розміри (ДхШхВ), мм	562x1433x883
Відстань між кріпильними крюками, мм	
- трактор класу 2	1005
- трактор класу 3	1130
Відстань осі підвісу зчепки до осі повороту верхньої тяги трактора, мм:	
- трактор класу 2	610..635
- трактор класу 3	685..700

Культиватор Kassmos HL 8 призначений для міжрядної обробки просапних культур. Агрегується із тракторами 2 та 3 класу. Споряджена маса культиватора із бункером рідких добрив 1350 кг. Культиватор дозволяє одночасно з обробіткою міжрядь ґрунту виконувати підживлення культур за рахунок внесення рідких добрив. Загальний вигляд культиватору наведено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Загальний вигляд культиватора-підживлювача Kassmos HL 8

В таблиці 3.2 наведено основні показники культиватора-підживлювача Kassmos HL 8. Культивация міжрядь виконується на глибину 9-13 см.

Таблиця 3.2 – Технічна характеристика культиватора HL 8 Kassmos

Показники	Значення
Маса, кг	1350
Тиск на ґрунт, кг	65 - 85
Потужність трактора, кВт	60 - 100
Кількість робочих секцій, шт	8
Кількість рядів, шт	9
Міжряддя, см	70
Продуктивність, га/год	~ 3.1
Місткість бункера для добрив, л	2x300

3.3 Експериментальні дослідження ущільнення та питомого зчеплення ґрунту

Будь-який ґрунт здатен до ущільнення. Основними чинниками ущільнення ґрунту являються рушії і робочі органи які сприяють утворенню «плужної підшви». Виникнення стиснення на ґрунту призводить до ущільнення частинок ґрунту та витінення повітря із пор, що утворилися при виконанні механічного впливу чи за рахунок впливу природних факторів (зміна вологості, температури, тощо). Ущільнення ґрунту призводить до перешкоджання волого та газообміну, порушується нормальне формування кореневої системи вирощуваних культур, що призводить до зниження врожайності сільськогосподарських культур.

Визначення впливу робочих органів ґрунтообробних машин та ходових систем енергетичних засобів на ущільнення ґрунту виконували за допомогою твердоміра Wile [40] рис. 3.4. Вимірювач щільності ґрунту Wile Soil складається із щупа, вимірювача-індикатора тиску та двох наконечників: для твердого ґрунту діаметр наконечника 1,27 см, для м'якого ґрунту діаметр наконечника 1,91 см.

Для кожного наконечника на індикаторі нанесено відповідну шкалу вимірювань.

Перевірку ґрунту на ущільнення виконуємо ранньою весною перед культивацією, а також восени за достатньої вологості ґрунту. Методика визначення ущільнення ґрунту:

1. Твердомір рівномірно, з постійним зусиллям вводимо в ґрунт.
2. За шкалою вимірювача визначаємо тиск в psi (фунт на квадратний дюйм=0,07 кг/см²), що дозволяє визначити глибину розташування плужної підшви і її щільність.
3. Фіксується сила тиску при її збільшенні і наступному зменшенні.

Для отримання точних даних дослідження проводимо з трикратною повторністю в різних точках поля. Результати заносимо до протоколу досліджень додаток В.



Рисунок 3.4 –Визначення щільності ґрунту

На рисунку 3.5 приведено результати досліджень щільності ґрунту в вигляді графічної залежності тиску твердоміра від глибини його занурення в ґрунт.

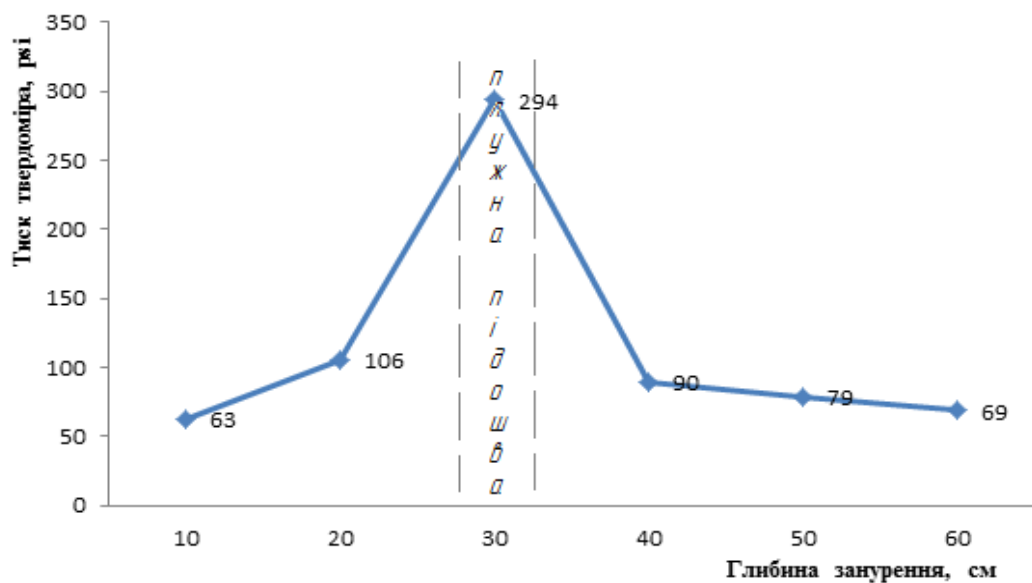


Рисунок 3.5 –Залежність тиску твердоміра від глибини занурення в ґрунт

Питоме зчеплення шару ґрунту визначаємо за допомогою твердоміра ДОРНДІ рис.3.6. Прилад дозволяє визначити питоме зчеплення часток ґрунту після проведених ґрунтообробних операцій (оранка, культивуація, дискування, тощо).

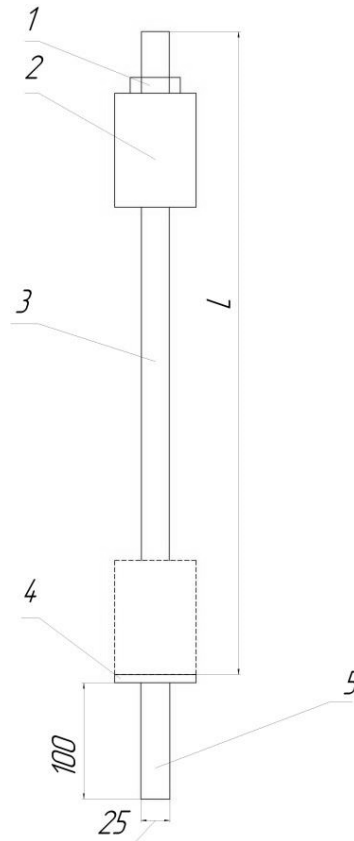


Рисунок 3.6 – Твердомір ДОРНДІ

Визначення зчеплення частинок ґрунту виконували шляхом занурення наконечника 5 приладу на глибину до 100 мм [41]. Занурення відбувається за рахунок ударів вантажем 2 по обмежувачу 4. Хід вантажу на максимальну висоту L по трубці 3 обмежується за допомогою гайки 1. Маса вантажу підбирається з урахуванням висоти його падіння для забезпечення прикладення зусилля в $1 \text{ кг}\cdot\text{м}$. За маси вантажу в 2,5 кг висота падіння повинна становити $L=0,4 \text{ м}$.

Використавши наведену методику проведено польові дослідження питомого зчеплення ґрунту (рис. 3.7) по культивуації, оранці, дискуванню та

слідах ходових систем енергетичних засобів. Результати досліджень наведено в додатку Г. Значення питомого зчеплення часток ґрунту визначали за графічною залежністю рис. 3.8.



Рисунок 3.7 – Польові дослідження питомого зчеплення часток ґрунту

На рис. 3.8 наведено графічну залежність питомого зчеплення часток ґрунту від поверхні ґрунту.

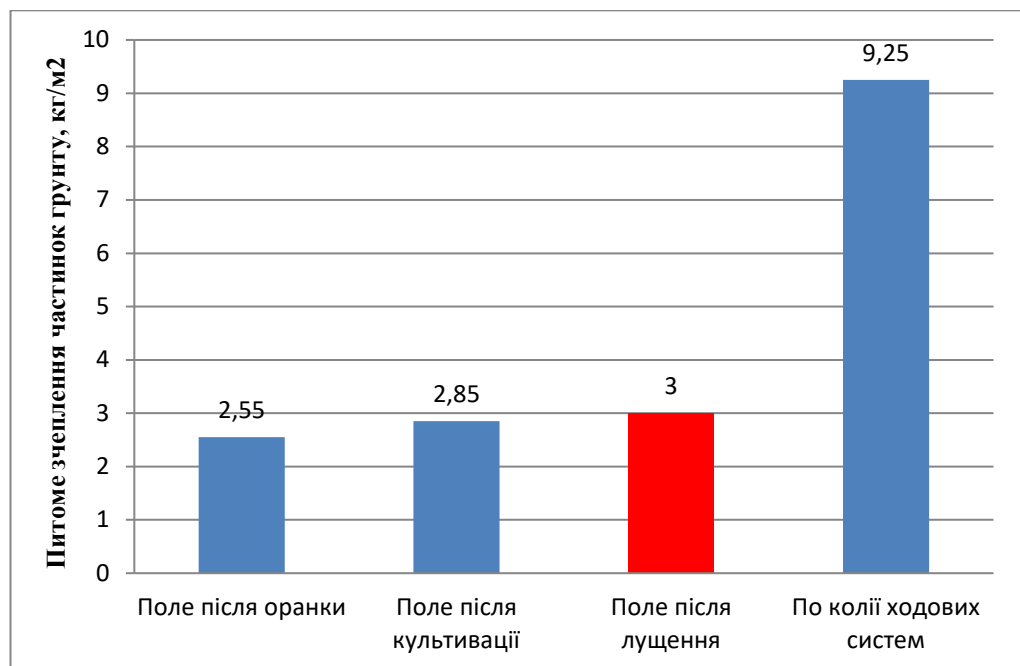


Рисунок 3.8 – Графічна залежність питомого зчеплення часток ґрунту

3.4 Методика та результати проведення тягових випробувань МТА

Тягові випробування МТА проводились для уточнення умов проведення польових досліджень МТА у складі з керованим удосконаленим навісним механізмом та навігаційним обладнанням, встановленим на тракторі та культиваторі за загально прийнятою методикою [42].

Для визначення тягового зусилля культиватора використовуються ведучий та ведений трактори, з'єднані між собою тросом з динамометром ЕВК10Р з похибкою вимірювання 0,5% (рис 3.9).



Рисунок 3.9 – Визначення тягових навантажень за допомогою електронного динамометра ЕВК-10Р

На ведений трактор навішено культиватор Kassmos HL 8 з бункерами рідких добрив, при цьому трансмісію веденого трактора перебувала в нейтральному положенні, а культиватор у робочому положенні. Виконуємо попередню натяжку тросів, на табло динамометра встановлюється 0 значення, після чого ведучий трактор розпочинає рух на швидкостях, встановлених дослідженнями. Рух здійснювався на залізкових ділянках, розмічених по 50 м. Повторність дослідів 3-х кратна відповідно до матриці планування експерименту.

Далі відбувався прохід ведучого та веденого трактора з культиватором у транспортному положенні з розімкнутою трансмісією веденого трактора, при цьому також фіксувалися показання динамометра. У зв'язку з тим, що культиватор, що агрегується, має опорні колеса, беремо до уваги той факт, що при русі на задню вісь трактора в робочому положенні, сила тяжіння з боку культиватора не діє, тобто дорівнює 0.

Визначення тягового зусилля культиватора в робочому положенні виконуємо за формулою:

$$P_c = P_1 - P_2, \text{ Н} \quad (3.1)$$

де P_1 - тягове зусилля на гаку веденого трактора з культиватором в робочому положенні, Н;

P_2 – тягове зусилля на гаку веденого трактора, Н;

Тяговий опір культиватора визначалося на швидкостях, що відповідають плану експерименту (табл. 3.5).

За результатами проведених експериментів отримано графічні залежності (рис. 3.10) середнього тягового опору культиватора від швидкості руху $V_{\text{мта}}$ м/с.

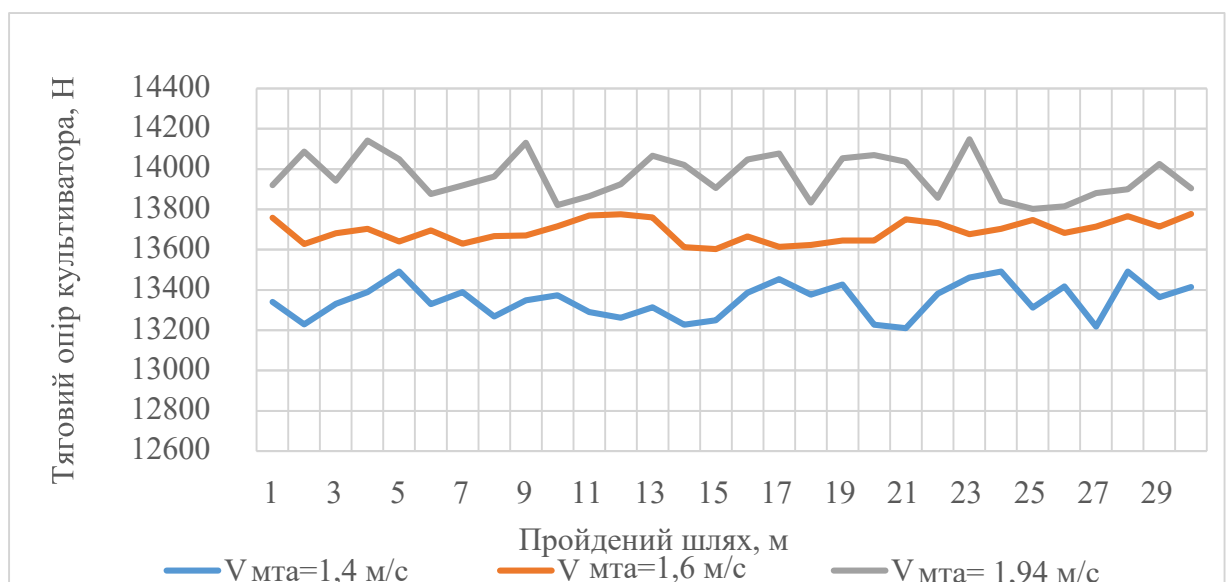


Рисунок 3.10 – Залежність середнього значення тягового опору культиватора від швидкості руху

Проведені дослідження середнього значення тягового опору культиватора в агрегаті показали, що найбільший опір досягається під час руху зі швидкістю 1,94 м/с і становить 14152 Н, але з урахуванням проходу на всіх швидкостях відхилення не значне і становить 13227 Н на швидкості 1,4 м /с.

3.5 Методика та результати проведення польових досліджень УНМ

Польові дослідження проводилися на полях господарства «Відродження» Магдалинівського району Дніпропетровської області на виконанні прополювання міжрядь картоплі з використанням запропонованого керованого удосконаленого навісного механізму у складі трактора МТЗ-1523 та культиватора Kassmos HL-8.

Умови проведення польових досліджень керованого удосконаленого навісного механізму УНМ-3 відображено в таблиці 3.3. Також у таблиці представлені основні параметри налаштування навігаційного обладнання Precision IQ за допомогою дисплея ТМХ 2050, при яких проводилися виміри відхилення знаряддя від лінії обробки.

Таблиця 3.3 - Умови проведення польових досліджень УНМ-3

Показники	Значення
1	2
Вид роботи	Культивація міжрядь картоплі
Склад агрегату	МТЗ 1523+УНМ-3+ +Kassmos HL8
Режим роботи: -Робоча швидкість, км/год -Ширина захвату агрегату, м	5, 6, 7 5,6

Продовження табл. 3.3

1	2
Робоча глибина робочих органів культиватора, см	12
Продуктивність культиватора, га/год	4,8
Маса культиватора, кг	1350
Вологість ґрунту, %	16
Твердість ґрунту, кг/см ²	14
Щільність ґрунту, г/см ³	1,36
Налаштування навігаційного дисплею ТМХ 2050	
Тип	культивачія
Тип навіски	з фіксованим кріпленням
Від зчіпки до точки прикладення, м	1,86
Фізична довжина культиватора, м	2,6
Ширина агрегату, м	5,6
Фізична ширина агрегату, м	6
Ширина смуги, м	5,6
Зміщення вліво/вправо, м	0
Джерело поправок	CenterPoint RTK

Для оцінки теоретично обґрунтованих параметрів та режимів роботи механізму передбачається проведення його експериментальних досліджень.

Відповідно до літературних джерел та результатів досліджень фізико-механічних властивостей ґрунту, а також виходячи із завдання досліджень, визначено фактори, що найбільше впливають на процес точності культивачії: x_1 – швидкість руху МТА, м/с ($V_{\text{мта}}$), x_2 – швидкість зміщення рамки пристрою (V_p , м/с). Врахувавши результати попередньо-проведених досліджень встановлено межі варіювання основних факторів, а саме $x_1 = 1,4 \dots 1,94$, $x_2 = 0,02 \dots 0,09$.

Для кожного фактору було обрано три рівні – нижній, нульовий та верхній, у межах яких фактор змінювався в експерименті (табл. 3.5).

Для забезпечення постійно заданої швидкості зміщення рамки пристрою, його гідравлічну систему між гідравлічним блоком і гідроциліндром на канал висування штока і втягування були встановлені регулятори витрати гідравлічної рідини RPC1-T3 з кроком регулювання 0,035 л/хв. Попередньо в лабораторних умовах за допомогою мірної тари шляхом поступового загвинчування регулювальної шайби регулятора визначено витрату гідравлічної рідини, що відповідає швидкості висування та втягування штока гідроциліндра. Результати досліджень наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Витрата гідравлічної рідини Q в залежності від швидкості зміщення V_{op}

V_{op} , м/с	Витрата на висування штока Q_1 , л/мин	Витрата на втягування штока Q_2 , л/мин
0,02	2,4	1,5
0,05	5,9	3,8
0,08	9,5	6,8

Таблиця 3.5 – Фактори та область їх дослідження

Фактор	Позначення	Рівень реального значення фактору			Код	Рівень кодованого значення фактору		
		Нижній	Нульовий	Верхній		Нижній	Нульовий	Верхній
Швидкість руху МТА, м/с	$V_{мта}$	1,4	1,7	1,94	x_1	-1	0	1
Швидкість зміщення рами УНМ, м/с	V_p	0,02	0,05	0,08	x_2	-1	0	1

Значення факторів приймалися відповідно до агротехнічних вимог до культивування міжрядь картоплі.

Метою дослідження було встановлення впливу параметрів факторів, що варіюються на критерій оптимізації, тобто, отримання залежностей між відхиленням поздовжньої осі робочої секції культиватора від лінії, що задає навігаційне обладнання і прийнятими факторами.

В якості математичної моделі процесу були прийняті функції:

$$K = f \cdot (V_{\text{мта}}, V_p). \quad (3.2)$$

Така кореляційна залежність була подана у вигляді:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \dots + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2, \quad (3.3)$$

де y – критерій оптимізації (відгук);

b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коефіцієнти регресії;

i, j – номери факторів.

Для апроксимації аналізованого процесу використовували лінійну частину кореляційної залежності:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2, \quad (3.4)$$

а за її адекватності – квадратичну:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{12} x_1 x_2. \quad (3.5)$$

Для визначення області оптимуму проводимо експеримент за планом 2-го порядку Бокса-Бенкіна [43, 44]. Матриця некомпозиційного плану другого порядку для двох факторів в кодованому вигляді представлена в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Матриця плану та рівня варіювання факторів

№ досліду	x ₁	x ₂	y
1	-1	-1	y ₁
2	0	0	y ₂
3	1	1	y ₃
4	-1	0	y ₄
5	0	1	y ₅
6	1	-1	y ₆
7	-1	1	y ₇
8	0	-1	y ₈
9	1	0	y ₉

Адекватність моделі другого порядку перевіряли за допомогою критерію Фішера F :

$$F = \frac{S_{LF}^2}{S_y^2} \leq F_{таб}, \quad (3.6)$$

де S_{LF}^2 – дисперсія адекватності математичної моделі;

S_y^2 – дисперсія помилки дослідів.

Дисперсію адекватності математичної моделі визначали за формулою [44]:

$$S_{LF}^2 = \frac{m \sum_{u=1}^{N_0} (\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2}{N_0 - k - 1}, \quad (3.7)$$

m – число повторності дослідів ($m = 3$); \bar{y}_u – середнє значення критерію оптимізації за результатами дослідів u -му рядку, %; \hat{y}_u – розрахункове значення критерію оптимізації в u -му рядку, %; N_0 – кількість дослідів ($N_0 = 9$); k – число факторів у матриці плану ($k = 2$).

Дисперсію помилки дослідів визначали за такою формулою:

$$S_y^2 = \frac{m \sum_{u=1}^{N_0} \sum_{i=1}^m (y_{iu} - \bar{y}_u)^2}{N_0 \cdot (m - 1)}, \quad (3.8)$$

де y_{iu} - значення критерію оптимізації в i -му досліді, в u -му рядку, відс.

Значимість коефіцієнтів регресії розраховували за критерієм шляхом знаходження довірчого інтервалу для кожного коефіцієнта регресії за формулою:

$$\Delta b_i = \pm \frac{t \cdot S_y}{\sqrt{N_i}}. \quad (3.9)$$

При отриманні адекватної математичної моделі другого порядку визначали координати оптимуму, і вивчали властивості поверхні в межах оптимуму [43, 44].

$$Y - Y_S = B_{11} \cdot x_1^2 + B_{22} \cdot x_2^2, \quad (3.10)$$

де Y – значення критерію оптимізації; Y_S – значення критерію оптимізації в оптимальній точці; x_1, x_2 – нові осі координат; B_{11}, B_{22} – коефіцієнти регресії у канонічній формі.

Для визначення коефіцієнтів у канонічній формі вирішували характеристичне рівняння [44]:

$$f(B) = \begin{vmatrix} (b_{11} - B) \cdot \frac{1}{2} \cdot b_{12} \\ \frac{1}{2} \cdot b_{12} (b_{22} - B) \end{vmatrix} = B^2 - (b_{12} + b_{22}) \cdot B + (b_{11} \cdot b_{12} - \frac{1}{4} \cdot b_{12}^2) = 0 \quad (3.11)$$

Кут повороту старих осей координат визначали з виразу [44]:

$$\operatorname{tg} 2a = \frac{b_{ij}}{b_{ii} - b_{jj}} \quad (3.12)$$

Результати експериментальних досліджень режимів роботи МТА з керованим навісним механізмом. Для визначення зміщення робочого органу культиватора від траєкторії заданої навігацією трактора використовувався навігаційний дисплей трактора, що відображав відхилення трактора та знаряддя (рис. 3.11).



Рисунок 3.11 – Відхилення осі секції культиватора від заданої траєкторії навігаційної системи

В результаті проведення польових досліджень щодо визначення впливу швидкості руху агрегату та швидкості зміщення рами навісного механізму з культиватором, були отримані наступні дані середнього відхилення осі робочої секції культиватора від заданої траєкторії системи навігації (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 – Результати досліджень МТА з керованим навісним механізмом

№ дослідю	Швидкість руху МТА, м/с	Швидкість зміщення рами УНМ, м/с	Середнє відхилення осі робочої секції культиватора від заданої траєкторії, м
1	1,4	0,02	0,006
2	1,7	0,05	0,003
3	1,94	0,08	0,016
4	1,4	0,05	0,004
5	1,7	0,08	0,01
6	1,94	0,02	0,017
7	1,4	0,08	0,009
8	1,7	0,02	0,006
9	1,94	0,05	0,012

Після обробки результатів повнофакторного експерименту в програмному середовищі STATISTIKA 10 [45] отримано рівняння регресії другого порядку, що описує залежність відхилення поздовжньої осі робочої секції культиватора від лінії, що задається навігаційним обладнанням від обраних факторів Δ

$$Y = 7,24 - 8,7x_1 + 1,14x_2 + 3,29x_1^2 + 422,2x_2^2 - 27x_1x_2 \quad (3.13)$$

Розкодоване рівняння регресії має вигляд:

$$\Delta_{op} = 0,052 - 0,037 \cdot x_1 - 0,124 \cdot x_2 + 0,056 \cdot x_1^2 + 2,06 \cdot x_2^2 - 0,563 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (3.14)$$

Бажані значення факторів, що забезпечують мінімальне відхилення поздовжньої осі культиватора від лінії, що задається навігаційним обладнанням, визначимо за рівнянням при $x_1 = 0$:

$$\frac{dy}{dx_2} = -0,13 x_2 + 5,33 x_2^2. \quad (3.15)$$

Бажані значення факторів, за яких відхилення не перевищують 0,5 %, занесені до таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Бажані значення факторів

Фактор	Позначення	Код	Бажані значення факторів	
			в закодованому виді	в розкодованому виді
Швидкість руху МТА, м/с	V_{MTA}	x_1	0,022	1,66
Швидкість зміщення рамки УНМ, м/с	V_{op}	x_2	-0,0015	0,054

Після розрахунку коефіцієнтів рівняння регресії в канонічній формі, отримали: $B_{12} = 2,067$; $B_{22} = -1,48$; $\alpha = -7,4^\circ$.

Тоді рівняння регресії у канонічній формі матиме вигляд:

$$Y - 0,58 = -0,026x_1^2 - 1,48x_2^2 \quad (3.16)$$

За результатами проведених розрахунків отримано двомірний переріз поверхні відгуку (рис. 3.12).

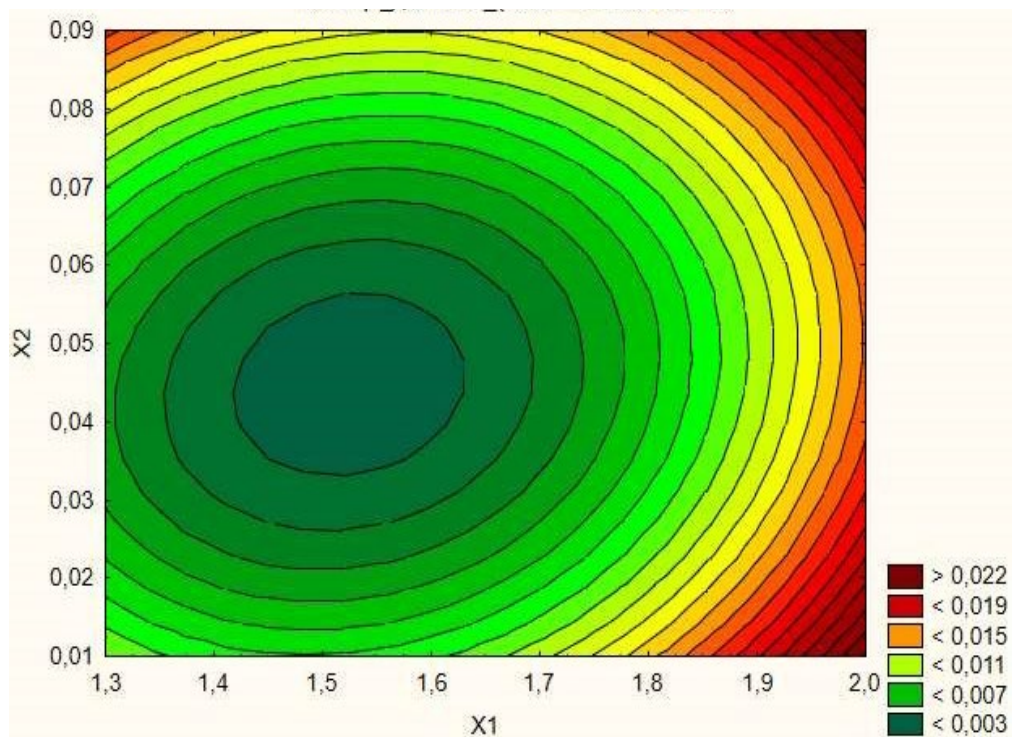


Рисунок 3.12 – Перетин поверхні відгуку, що характеризує залежність швидкості руху агрегату V_{MTA} від швидкості зміщення рамки УНМ V_{op}

Графік залежності критерію оптимізації, отриманого при русі МТА з УНМ-3 при встановленій швидкості $V_{MTA} = 1,6$ м/с і змінній швидкості V_{op} наведено на рисунку 3.13. З графіка видно, що оптимальна швидкість відхилення рамки УНМ-3 становить 0,05 м/с.

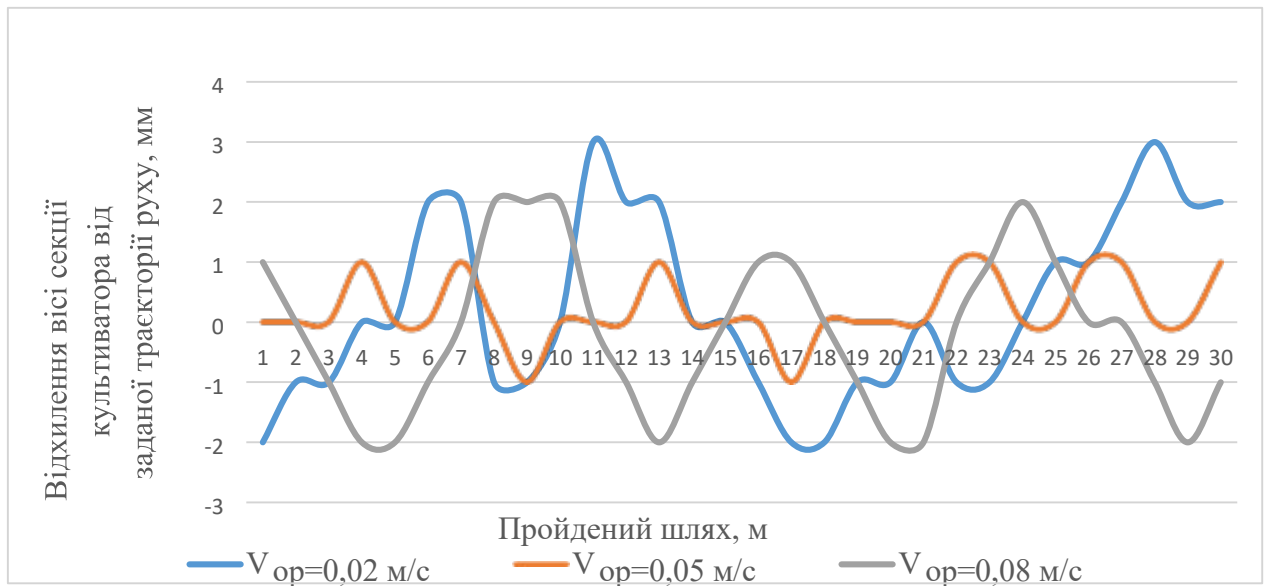


Рисунок 3.13 – Графік залежності відхилення поздовжньої осі культиватора від лінії обробки за різних швидкостей зміщення рами УНМ при швидкості руху МТА 1,66 м/с.

Відповідно до обробки результатів проведених польових досліджень встановлено, що середнє значення відхилення критерію оптимізації швидкості руху агрегату 1,66 м/с і швидкості зміщення рамки пристрою 0,05 м/с становить 3 мм. Необроблена площа становить 0,1641 м², що в 2,5 рази менше, ніж при швидкості руху 1,94 м/с та швидкості зміщення рамки пристрою 0,02 м/с. Максимальне відхилення становило 1 см.

Без використання УНМ значення необробленої площі становило 0,4 м², максимальне відхилення становило до 7 см.

3.6 Висновки

1. Розроблено програму та методику експериментальних досліджень МТА з керованим удосконаленим навісним механізмом з навігаційним обладнанням на знарядді.

2. Визначено умови проведення польових досліджень УНМ, а саме:

- визначено твердість ґрунту та коефіцієнт питомого зчеплення часток ґрунту;

- проведено тягові випробування для визначення тягового опору сільськогосподарської машини на заданій глибині обробки в діапазоні швидкостей, встановлених планом експерименту.

3. При вирішенні задачі визначення режимів роботи керованого навісного пристрою, як критерій оптимізації обрано відхилення поздовжньої осі культиватора від лінії, що задається навігаційним обладнанням. В якості факторів, що варіюються, обрані швидкість руху МТА (V_{MTA} , м/с) та швидкість зміщення знаряддя (V_p , м/с).

4. Проведено польові випробування керованого навісного механізму УНМ-3 у складі з трактором МТЗ 1523 та культиватором Kassmos HL8.

5. В результаті проведеного польового експерименту встановлено, що при використанні УНМ-3, розмах варіацій чисельних значень відхилення осі культиватора від лінії заданої навігаційним обладнанням при швидкості руху агрегату від 1,39 до 1,94 м/с склав від 0,004 до 0,009 м, що менше ніж без використання пристрою у 4-6 рази відповідно. Коефіцієнт варіації при використанні керованого навісного механізму при бажаній швидкості руху агрегату 1,8 м/с і швидкості зміщення рамки пристрою склав 8% (без використання пристрою 27%), що позитивно впливає на зменшення відхилення осі культиватора від траєкторії заданої навігаційним обладнанням.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Вимоги з охорони праці під час експлуатації машино-тракторного агрегату при виконанні ґрунтообробних операцій [45]

4.1.1 Загальні вимоги

1. Виконання операції обробітку ґрунту виконується як колісними так і гусеничними тракторами класу 14-50 кН. До виконання даної роботи допускаються трактористи-машиністи, які мають категорію "А1" і "А2" які пройшли відповідні інструктажі з охорони праці і не мають протипоказань з боку стану здоров'я.

2. Працівникам, що допущені до роботи забезпечуються необхідним спецодягом: рукавицями, костюмом з пилонепроникної тканини, захисні окуляри.

3. Склад машинно-тракторного агрегату повинен мати задовільний технічний стан та відповідати вимогам інструкції з охорони праці.

4. Категорично заборонена присутність сторонніх осіб при виконанні роботи машино-тракторним агрегатом, під час його переїздів.

5. Оператор-тракторист ознайомлений з наданням першої медичної допомоги. В кабіні трактора повинна знаходитися аптечка №1 з усіма необхідними медикаментами.

6. Категорично забороняється відпочинок на оброблювальній ділянці за межами кабіни (в борозні, біля скирт, у кабіні трактора при працюючому двигуні).

7. За погіршення загального стану тракторист-машиніст повинен негайно припинити роботу, повідомити про стан здоров'я керівника і звернутися до медичної установи (медпункт).

4.1.2 Вимоги безпеки до початку роботи

1. Перед початком роботи механізатор одягає спецодяг заправивши всі його звисаючі частини.
2. Агрегатування з причіпними машинами відбувається за розміщення допоміжного персоналу на відстані не менш як 1,4 м до техніки. Агрегатування виконується за повної зупинки трактора.
3. Запуск енергетичної установки трактора виконуємо за умови проведеної перевірки вимкненого стану важелів керування трансмісією та справності блокуючих пристроїв.
4. Початок роботи виконується за умови, що проведена ретельна перевірка всіх складових машино-тракторного агрегату.
5. Категорично забороняється запуск двигуна за межами кабіни трактора.
6. Переміщення трактора дозволяється тільки за умови, що це нікому не загрожує, за переміщення заднім ходом обов'язково необхідно подати звуковий сигнал для попередження про небезпеку.
7. Операції по агрегатуванню трактора з навісними машинами необхідно бути особливо обережним.

4.1.3 Вимоги безпеки під час роботи

1. Керування навісним знаряддям, виконання маневрування з знаряддям виконується за умови що такі дії не створюють небезпеку для інших робітників та транспортних засобів.
2. Категорично забороняється залишати кабіну чи сідати до кабіни трактора під час його переміщення.
3. Категорично забороняється знаходження чи виконання ремонтних та регулювальних робіт під піднятим обладнанням навісного знаряддя.

4. Заборонено залишати в піднятому стані навісне знаряддя при тривалих стоянках трактора.
5. Заборонено обладнувати посадочними місцями причіпні знаряддя, які не передбачені заводом-виробником.
6. Заборонено експлуатацію машино-тракторного агрегату в нічний час за не справного обладнання освітлення.
7. З'єднання передплужників, відвалів, стояків корпусів виконуємо з використанням бородків.
8. Очищення поверхні плугів та інших робочих органів від налипшого ґрунту, бур'янів виконується за умови повної зупинки трактора. Зубці борін очищають за допомогою спеціальних гачків
9. Для виконання самоочищення зубців борін при боронуванні поля, встановлюємо зубці скосами в бік руху машино-тракторного агрегату.
10. Під час зберігання зубові борони розміщуємо так щоб унеможливити травмування гострими елементами зубів борін.
11. Використання дискових борін та луцильників здійснюється за правильного розміщення чистиків. Чистик повинен встановлюватися з зазором близько 2 мм.
12. Категорично забороняється на ходу регулювати глибину ходу дисків, або сидіти на баластних ящиках.
13. Всі регулювання робочих органів навісних культиваторів виконуються за умови встановлення дерев'яного бруса під опорні колеса рівній робочій глибині культивації.
14. Заправка добривами культиваторів-підживлювачів виконується тільки за умови повної зупинки машино-тракторного агрегату.
15. Заточування робочих органів культиваторів, зубців борін дисків луцильників, виконується з використанням захисних окулярів та рукавиць.
16. Категорично забороняється залишати трактор з ввімкненим двигуном під час виконання регулювальних чи ремонтних операцій.

4.1.4 Заходи безпеки в аварійних ситуаціях

1. При виникненні аварійної ситуації чи несправності машино-тракторного агрегату необхідно негайно зупинити агрегат.

2. Негайно повідомити про нещасний випадок адміністрацію (керівника). Надати першу медичну допомогу потерпілому, місце нещасного випадку огородити та зберегти все на своїх місцях до виконання повного розслідування.

4.1.5 Вимоги безпеки після закінчення робіт

1. Згідно встановленого маршруту повернутися до місця стоянки машино-тракторного агрегату в господарстві. Вимкнути енергетичну установку, злити воду з системи охолодження в холодний період.

2. Провести огляд (за потреби усунути недоліки), очистку елементів агрегату від рослинних решток, пилу і бруду.

3. Зняти спецодяг та відати в прання, прийняти душ.

4.2 Висновки

Розроблені вимоги з охорони праці під час експлуатації машино-тракторного агрегату на виконанні ґрунтообробних операцій дозволять зменшити травматизм при виконанні технологічного процесу ґрунтообробки на вирощуванні сільськогосподарських культур та підвищить рівень працездатності персоналу.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ

Проведено економічну оцінку виконання технологічної операції культивування картоплі за допомогою удосконаленого навісного механізму УНМ-3. Відповідно до загальноприйнятої методики економічної оцінки розроблених технологій та сільського господарської техніки [46] розраховано витрати на виробництво удосконаленого навісного механізму УНМ-3. Результати розрахунку наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Витрати на виготовлення удосконаленого навісного механізму УНМ-3

Витрати на виготовлення деталей, грн	9940
Вартість стандартних деталей, грн	31176
Загальні виробничі витрати на виготовлення механізму, грн	26 656
Витрати на оплату праці, грн	8433,3
Загальні витрати, грн	76205,3

Економічну ефективність від впровадження удосконаленого навісного механізму УНМ-3 на вирощуванні картоплі розраховуємо для двох варіантів базового з використанням класичного навісного механізму та проектного з використанням УНМ-3 [46]. В таблиці 5.2 наведено дані для проведення розрахунку ефективності використання удосконаленого навісного механізму. Розрахунок виконуємо в цінах на 2023 рік.

Розрахунок економічної ефект за рахунок зниження експлуатаційних витрат виконаємо за рівнянням:

$$E_e = (B_1 - B_2) \cdot B_p \quad (5.1)$$

де E_e – економічний ефект впровадження удосконаленого навісного механізму, грн;

B_1 та B_2 – приведені витрати на одиницю роботи, виконаної з використанням удосконаленого та базового навісного механізму на культивації;

B_p – річний обсяг роботи, виконаної навісним механізмом на культивації.

Приведені витрати на культивації розрахуємо за рівнянням:

$$B_n = B_e + H_n \quad (5.2)$$

де B_e – експлуатаційні витрати, грн/га;

H_n – нормативний прибуток від капітальних вкладень, грн/га.

Таблиця 5.2 – Вихідні дані

Показники	Базовий	Проектний
1	2	3
Склад машино-тракторного агрегату	МТЗ 1523 + Kassmos HL8	МТЗ 1523 +УНМ-3+ Kassmos HL8
Технологічна операція	пропюлювання картоплі	пропюлювання картоплі
Балансова вартість, грн	238000	314000
Кількість робочих секцій, шт	8	8
Максимальна швидкість пропюлювання, км/год	4,8	6,5
Ширина захвату культиватора, м	5,6	5,6
Вартість дизельного палива, грн/кг	49	49
Витрата палива на культивації, кг/га	14,3	11,5

Продовження табл. 5.2

1	2	3
Наробіток культиватора за рік, га	200	200
Коефіцієнт використання змінного часу	0,85	0,85
Тривалість зміни, год	8	8
Тарифна ставка, грн/год	84	84
Кількість працівників, люд	1	1
Площа посіву картоплі, га	40	40
Врожайність, т/га	25,2	26,7
Вартість продукції, грн/т	5500	5500
Валовий збір, т	1008	1068
Прибуток від реалізації продукції, грн	5544000	5874000

Продуктивність культиватора на прополюванні [46]:

$$W_{\tau} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau \quad (5.3)$$

де V_p – швидкість культиватора, км/год; τ – коефіцієнт зміни, 0,85; B_p – ширина захвату культиватора, м.

Базовий варіант:

$$W_{\tau} = 0,1 \cdot 5,6 \cdot 4,8 \cdot 0,85 = 2,28 \text{ га/год,}$$

Проектний варіант:

$$W_{\tau} = 0,1 \cdot 5,6 \cdot 6,5 \cdot 0,85 = 3,09 \text{ га/год.}$$

Наробіток культиватора за рік, год:

$$t_p = \frac{W_p}{W_r}, \text{ год}, \quad (5.4)$$

де W_p – наробіток культиватора за рік, га.

Базовий варіант:

$$t_{pБ} = \frac{200}{2,29} = 87,35 \text{ год},$$

Проектний варіант:

$$t_{pЕ} = \frac{200}{3,09} = 64,64 \text{ год}.$$

Експлуатаційні витрати за рік [46].

$$B_{екс} = B_{оп} + A + T + B_{рес} + IB, \text{ грн/га} \quad (5.5)$$

де: $B_{екс}$ - витрати на експлуатацію культиватора, грн/га

A - амортизаційні відрахування на культиватор, грн/га;

$B_{оп}$ – витрати та нарахування на оплату праці грн/га;

$B_{рес}$ – витрати енергоресурсів на культивації, грн/га;

T – витрати на поточні ремонти культиватора, грн/га.

IB – інші витрати на культиватор, грн/га;

Оплата праці:

$$B_{оп} = З + H_з, \text{ грн/га} \quad (5.6)$$

де: $З$ – фонд заробітної оплати праці задіяних працівників, грн/га.;

$H_з$ – відрахування в фонд оплати праці, грн/га.

Відрахування в фонд оплати праці задіяних працівників:

$$H_3 = 0,22 \cdot 3. \quad (5.7)$$

Розрахунок фонду оплати праці працівників:

$$З = \frac{H_{mp} \cdot C_{mp}}{W_\tau}, \text{ грн/га} \quad (5.8)$$

де H_{mp} - кількість працівників, задіяних на культивуації, чол.;

C_{mp} - годинна ставка працівників, задіяних на культивуації, грн/год.

Базовий варіант:

$$З = \frac{1 \cdot 84}{2,28} = 36,8 \text{ грн/га};$$

Проектний варіант:

$$З = \frac{1 \cdot 84}{3,09} = 27,15 \text{ грн/га.}$$

Тоді

Базовий варіант:

$$H_3 = 0,22 \cdot 36,8 = 8,08 \text{ грн/га,}$$

Проектний варіант:

$$H_3 = 0,22 \cdot 27,15 = 5,97 \text{ грн/га.}$$

Тоді:

Базовий варіант:

$$B_{on} = 36,8 + 8,08 = 44,88 \text{ грн/га,}$$

Проектний варіант:

$$B_{on} = 27,15 + 5,97 = 33,12 \text{ грн/га.}$$

Амортизаційні відрахування на культиватор :

$$A = \frac{B_c \cdot a_c}{100 \cdot W_\tau \cdot t_{pc}} \text{ грн/га} \quad (5.9)$$

де: t_{pc} – тривалість роботи культиватора за рік, год ;

W_τ – продуктивність культиватора, га/год.

B_c – балансова вартість культиватора, грн.;

a_c – річні амортизаційні відрахування на культиватор, 12 %.

Базовий варіант:

$$A = \frac{238000 \cdot 12}{100 \cdot 2,28 \cdot 87,53} = 142,8 \text{ грн/га,}$$

Проектний варіант:

$$A = \frac{314000 \cdot 12}{100 \cdot 3,09 \cdot 64,64} = 188,4 \text{ грн/га.}$$

Витрат на поточний ремонт і обслуговування культиватора:

$$T = \frac{B_c \cdot b_c}{100 \cdot W_\tau \cdot t_p} \text{ грн/га} \quad (5.10)$$

де: b_c – відрахування на технічне обслуговування і поточний ремонт, культиватора 10 %.

Базовий варіант:

$$T = \frac{238000 \cdot 10}{100 \cdot 2,28 \cdot 87,53} = 119 \text{ грн/га,}$$

Проектний варіант:

$$T = \frac{314000 \cdot 10}{100 \cdot 3,09 \cdot 64,64} = 157 \text{ грн/га.}$$

Вартість енергоресурсів витрачених на культивуацію:

$$B_{pec} = B_{пмм}, \text{ грн/га} \quad (5.11)$$

де $B_{пмм}$ – вартість дизеля, грн/кг;

Вартість дизельного пального $B_{пмм}$:

$$B_{пмм} = Z_{пмм} \cdot Ц_{пмм}, \text{ грн/га} \quad (5.12)$$

де $Z_{пмм}$ - витрати пального на культивуації, кг/га;

$Ц_{пмм}$ – вартість дизельного палива, 49 грн/кг.

Базовий варіант:

$$B_{пмм} = 14,3 \cdot 49 = 700,7 \text{ грн/га,}$$

Проектний варіант:

$$B_{пмм} = 11,5 \cdot 49 = 563,5 \text{ грн/га.}$$

Тоді:

Базовий варіант:

$$B_{pec} = B_{пмм} = 700,7 \text{ грн/га,}$$

Проектний варіант:

$$B_{pec} = B_{пмм} = 563,5 \text{ грн/га.}$$

Розрахуємо інші витрати:

$$IB = \frac{B_{on} + A + T + B_{pec}}{100} \cdot 5, \quad (5.13)$$

Базовий варіант:

$$IB = \frac{44,88 + 142,8 + 119 + 700,7}{100} \cdot 5 = 50,36 \text{ грн/га,}$$

Проектний варіант:

$$IB = \frac{33,12 + 188,4 + 157 + 563,5}{100} \cdot 5 = 47,10 \text{ грн/га.}$$

Виконаємо розрахунок експлуатаційних витрат:

Базовий варіант:

$$B_{екс}^B = 44,88 + 142,8 + 119 + 700,7 + 50,36 = 1057,72 \text{ грн/га}$$

Проектний варіант:

$$B_{екс}^E = 33,12 + 188,4 + 157 + 563,5 + 47,1 = 989,12 \text{ грн/га}$$

Річний економічного ефекту від зниження експлуатаційних витрат на культивуванні:

$$E_{EP} = B_{екс}^B - B_{екс}^E, \text{ грн,} \quad (5.14)$$

$$E_{EP} = 1057,72 - 989,12 = 68,59 \text{ грн/га}$$

Використання удосконаленого навісного механізму знизило кількість знищених культурних рослин картоплі культиватором під час прополовання, що дозволило отримати приріст врожаю близько 1500 кг/га.

Виконаємо розрахунок економічного ефекту з урахуванням приросту врожайності на вирощуванні картоплі:

$$E_P = (E_{EP} + E_{Bp}) = 68,59 + 8250 = 8318,59, \text{ грн/га,} \quad (5.15)$$

де E_{Bp} – прибуток від приросту врожаю картоплі, 8250 грн

Загальний річний економічного ефекту з урахуванням загальної площі вирощування картоплі:

$$E_{зр} = E_p \cdot S_o = 8318,59 \cdot 40 = 332743,9 \text{ грн,}$$

де S_o – загальна площа вирощування картоплі, га.

Термін окупності удосконаленого навісного механізму:

$$T_o = \frac{B_c}{E_{зр}} = \frac{314000}{332743,9} = 0,94 \text{ року} \quad (5.16)$$

Результати розрахунку економічної ефективності зведено в таблиці 5.3

Таблиця 5.3 – Економічні показники проекту

Показник	Варіанти		Проектний варіант в грн(+/-) до базового
	Базовий	Проектний	
1	2	3	4
Склад машино-тракторного агрегату	МТЗ 1523 + Kassmos HL8	МТЗ 1523 +УНМ-3+ Kassmos HL8	-
Технологічна операція	прополювання	прополювання	-
Площа вирощування картоплі, га	40	40	-
Балансова вартість агрегату, грн	238000	314000	76000
Витрати палива, кг/га	14,3	11,5	-2,8

Продовження табл. 5.3

1	2	3	4
Експлуатаційні витрати , грн/га	1057,7	989,12	-68,58
У тому числі: оплата праці з нарахуваннями, грн/га	44,88	33,12	-11,76
Амортизаційні відрахування на агрегат, грн/га	142,8	188,4	45,6
Витрат на поточний ремонт і обслуговування агрегату, грн/га	119	157	38
Витрати на енергоресурси, грн/га	700,7	563,5	-137,2
інші витрати, грн/га	50,36	47,1	-3,26
Річний економічний ефект з урахування прибутку від приросту врожаю, грн/га	8318,59		
Термін окупності проекту, років	0,94		

Висновки:

За результатами проведеного розрахунку встановлено економічну ефективність запропонованого удосконаленого навісного механізму для позиціонування робочих органів культиватора на прополюванні картоплі. Використання УНМ-3 забезпечило точне положення робочих органів культиватора, що дозволило зменшити кількість пошкодженої вегетаційної частини картоплі та знизило витрату палива за рахунок підвищення продуктивності агрегату. Річний економічний ефект від застосування УНМ в агрегаті з культиватором Kassmos HL8 склав 8318,59 грн з гектара, а термін окупності 0,94 року.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Стійкість і керованість являються основними факторами для забезпечення точного позиціонування робочих органів знарядь в агрегаті з трактором.

Аналіз механізмів керування положенням знарядь в агрегаті з трактором довів їх широке конструктивне різноманіття. Врахувавши їх переваги та недоліки проведено удосконалення навісного механізму шляхом розробки пристрою з гідравлічним приводом, та автоматизованою системою керування положенням робочих органів просапних машин відносно рядків з використанням GPS навігації.

2. Провівши теоретичні дослідження обґрунтовано форму механізму в вигляді трапеції, кінематичні параметрів керованого навісного механізму, а саме величину зміщення рамки механізму від крайнього правого положення до крайнього лівого, яка становить 250 мм.

Розроблено систему позиціонування робочих органів знарядь відносно рядків та лінії руху трактора. Розглянуто алгоритм роботи пропонованого електронного блоку управління знаряддям, що передбачає порівняння координат, отриманих від навігаційної системи трактора та координат, отриманих кутовим потенціометром, встановленим на нижньому розкосі навісного механізму трактора і подальше коригування рамки удосконаленого навісного механізму на лінію, задану навігаційним контролером. Згідно алгоритму роботи описана регулятивна функція системи позиціонування.

3. За результатами експериментальних досліджень:

- визначено твердість ґрунту та коефіцієнт питомого зчеплення часток ґрунту;
- проведено тягові випробування для визначення тягового опору сільськогосподарської машини на заданій глибині обробки в діапазоні швидкостей, встановлених планом експерименту.

- встановлено, що при використанні УНМ-3 в агрегаті з трактором МТЗ 1523 та культиватором Kassmos HL8, розмах варіацій чисельних значень відхилення осі культиватора від лінії заданої навігаційним обладнанням при швидкості руху агрегату від 1,39 до 1,94 м/с склав від 0,004 до 0,009 м, що менше ніж без використання пристрою у 4-6 рази відповідно. Коефіцієнт варіації при використанні керованого навісного механізму при бажаній швидкості руху агрегату 1,8 м/с і швидкості зміщення рамки пристрою склав 8% (без використання пристрою 27%), що позитивно впливає на зменшення відхилення осі культиватора від траєкторії заданої навігаційним обладнанням.

4. Розроблені вимоги з охорони праці під час експлуатації машино-тракторного агрегату на виконанні ґрунтообробних операцій дозволять зменшити травматизм при виконанні технологічного процесу ґрунтообробки на вирощуванні сільськогосподарських культур та підвищить рівень працездатності персоналу.

5. Запропоноване удосконалення дозволило збільшити продуктивність машино-тракторного агрегату в складі з трактором МТЗ 1523+УНМ-3+культиватором Kassmos HL8 за рахунок зменшення часу на виконання корегування робочих органів ґрунтообробних машин відносно рядків та підвищити технологічну швидкості з 4,8 км/год базовий варіант до 6,5 км/год при збереженні високої кості роботи. Річний економічний ефект від застосування УНМ в агрегаті з культиватором Kassmos HL8 склав 8318,59 грн з гектара, а термін окупності 0,94 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Басалаєв, С. М. Точне землеробство: застосування навігаційного обладнання, використання супутникових технологій/С. М. Басалаєв, І.І. Голдіна // Молодь та наука. – 2016. – № 11. – С. 32. – EDN YZJFUB.
2. Надикто В.Т., Улексін В.О. Колійна та мостова системи землеробства: монографія. Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок «ММД». 2008. 270 с.
3. Палац, Є.Ф. Дослідження факторів, що визначають точність копіювання рядка рослин робочими органами навісного агрегату: дис. канд. техн. наук 05.20.01 / Палац Євген Федорович. – Ташкент, 1960. – 163 с.
4. Аніскевич Л.В., Войтюк Д.Г., Захарін Ф.М., Пономаренко С.О. Система точного землеробства. /Підручник/ – К: - НУБіП України, 2018, - 566 с.
5. <https://agrico.com.ua/327-formuvannya-grebeniv.html>
6. Мельник, А.Т. Дослідження збурюючих впливів на широкозахватний агрегат/А.Т. Мельник // Автоматизований електро-і гідропривід широкозахватних сільськогосподарських агрегатів – Л., – 1985. – С. 70-77.
7. Наконечний, І.І. Розробка пристроїв положення широкозахватних посівних агрегатів для забезпечення заданої величини стикового міжряддя/І.І. Наконечний//Звіт на тему 15.625-82. - М. ВІСХОМ, 1982. - 60 с
8. Семічев, С. В. Аналіз вітчизняних та зарубіжних технічних засобів для обробітку картоплі та топінambuру на грядках / С. В. Семічев // Електротехнології та електрообладнання в АПК. - 2020. - Т. 67. - № 4 (41). - С. 144-150. - DOI 10.22314/2658-4859-2020-67-4-144-150.
9. Яцкевич, В. В. Вплив траєкторії руху машинно-тракторного агрегату на ерозію ґрунту / В. В. Яцкевич, П. В. Зелений //Наука і техніка. - 2013. - № 6. - С. 49-56.
10. Семічев, С. В. Підвищення курсової стійкості зброї при обробітку просапних сільськогосподарських культур / С. В. Семічев, І. Г. Смірнов, М. А. Мосяков // Наука і техніка. - 2019. – № 3(91). – С. 4-8.

11. Martin Holpp, Monika Samer, Thomas Anken. Utilite de systemes de guidage automatique // Agroscope. 2012. Vol. 756. Pp. 1-7.
12. <https://www.yesterdaystractors.com/cgi-bin/viewit.cgi?bd=nboard&th>
13. Д. В. Мелконян. Фізико-механічні властивості ґрунтів: метод. вказівки до практичних занять з дисципліни "Ґрунтознавство" для студентів ІІІ курсу спец. 103 "Науки про Землю" спеціалізації "Інженерна геологія та гідрогеологія" / Д. В. Мелконян; Одес. нац. ун-т імені І. І. Мечникова, Геологогеографічний ф-т. – Херсон: Видавничий дім "Гельветика", 2019. – 24 с.
14. Ґрунтознавство: практикум. Для студентів за спеціальністю 6.040106 «Екологія. Охорона навколишнього природного середовища та збалансоване природокористування» освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр». / Укладач: О.В. Рибалова. – Х: НУЦЗУ, 2013. 69 с.
15. <https://agrobusiness.com.ua/yuvelirna-kulyvatsiia-lemken>
16. <http://www.protrakker.com>
17. <http://www.sbg.nl/en/products/sbguidance-twin-disc/>
18. <https://www.grimme.com/ru/products/legetechnik/gb-330/>
19. <http://www.carre.fr/entretien-des-cultures-et-prairies/bineuse/65-econet-sgi.html>
20. <https://garford.com/products/robocrop-inrow-weeder/>
21. Євтухов В. М. Стійкість за Ляпуновим лінійних диференціальних рівнянь. Одеса : Астропринт, 2001. – 117 с.
22. Теорія стійкості руху: курс лекцій / С. А. Щоголев. – Одеса : Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, 2017. – 148 с
23. Мельник, А.Т. Дослідження збудованих впливів на широкозахватний агрегат/А.Т. Мельник // Автоматизований електро- та гідропривід широкозахватних сільськогосподарських агрегатів – Л., – 1985. – С. 70-77.
24. Носенко, М.А. Управляемость и устойчивость автомобиля/ М.А. Носенко, М.М. Бахмутский, Л.Л. Гинцбург. - М.: НИИНавтопром, 1981. – 48

25. Поспелов, Ю.А. Оцінка стійкості тракторів та тракторних поїздів/Ю.А. Поспелов, Р.А. Левін, А.В. Галаган // Трактори та сільськогосподарські машини. 2003. – № 1. – С. 20-21.

26. Гячев Л.В. Устойчивость движения сельскохозяйственных машин и агрегатов. - М.: Машиностроение, 1981. - 206 с.

27. Маховиков, А.Я. Дослідження стійкості прямолінійного руху колісного агрегату/А.Я. Маховиков // Експлуатація та ремонт будівельних та меліоративних машин / Зб. наук. праць Біл. с.-г. акад. -. - 1983. - Вип. 108. - С. 52-54.

28. ДСТУ 10677-2001 Пристрій навісний задній сільськогосподарських тракторів 0,6-8. Типи, основні параметри та розмір. – Київ: Видавництво стандартів, 2002.

29. ДСТУ 12219-2015 Система стандартів безпеки праці. Трактори та машини самохідні сільськогосподарські. Загальні вимоги безпеки. - К.: Видавництво стандартів, 2019.

30. ДСТУ 27021-2001 Трактори сільськогосподарські та лісогосподарські. Тягові класи. – К.: Видавництво стандартів, 2001.

31. ДСТУ 53489-2009 Система стандартів безпеки праці. Машини сільськогосподарські навісні та причіпні. Загальні вимоги безпеки. – К.: Видавництво стандартів, 2010.

32. Волков В. П. Теорія руху автомобілів / В.П. Волков, Г.Б. Вільський. – Суми: Університетська книга, 2010. – 320 с

33. Кобець А.С. Ґрунтообробні машини: теорія, конструкція, розрахунок: монографія / А.С. Кобець, Б.А. Волик, А.М. Пугач. – Дніпропетровськ : Вид-во «Свидлер А.Л.», 2011. – 140 с.

34. Бронштейн, І.М. Довідник з математики для інженерів та учнів вузів/І.М. Бронштейн, К.А. Семендяєв. - Вид.: Лань, 2010. – 608 с.

35. Протас, О.М. Дослідження стійкості руху тракторних поїздів: автореф. дис. ... канд. техн. наук/О.М. Протас. – Харків, 1992. - 19 с.

36. Кураш, І. М. Системи супутникової навігації GPS / І. М. Кураш, І. А. // Роль аграрної науки у сталому розвитку сільських територій: Збірник V міжнародної наукової конференції, Вінниця, 18 грудня 2020 року. - Вінниця: Видавничий центр Вінницького державного аграрного університету ", 2020. - С. 942-945.
37. https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/mvz_2/page3.html
38. Надикто В.Т. Основи наукових досліджень. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС. 2019. 268 с.
39. Горват А.А. , Молнар О.О., Мінькович В.В. Методи обробки експериментальних даних з використанням MS Excel: Навчальний посібник. Ужгород: Видавництво УжНУ «Говерла», 2019. – 182 с.
40. <https://shop.gpsgeometer.com/ua/products/vimiryuvach-schilnosti-gruntu-wile-soil-schilnomir-gruntu>
41. Волик Б.А., Пугач А.М., Теслюк Г.В., Кузьменко О.Ф. Практикум з курсу "Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів"/ Дніпропетровський державний аграрний університет. – Дніпропетровськ , 2013. – 40с.
42. Мельниченко В.І. Теорія розрахунків та аналіз роботи тракторів та автомобілів: Курс лекцій. – Дніпропетровськ: ДДАУ, кафедра «Трактори та автомобілі», 2008. - 151 с.
43. Нечаєв В.П. Теорія планування експерименту: Навч. посібник / В.П. Нечаєв, Т.М. Берідзе, В.В. Кононенко – К.: Кондор, 2005. – 232 с.
44. Пилипчик М.І. Математичне планування багатofакторного експерименту: Навч. посібник / М.І. Пилипчик, М.Д. Кірик, А.С. Григор'єв та ін. – Л.: УкрДЛТУ, 2004. – 54 с.
45. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; Нац. гірн. ун-т. –2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.
46. Шпилько О.В. Методика визначення економічної ефективності технології та сільськогосподарської техніки / А.В. Шпилько, В.І. Драгай. – К.: ВНДІЕСГ, 1998. - 219 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Технічна характеристика МТЗ-1523

Тип двигуна	дизельний 6-ти циліндровий, з турбонаддувом Д-260.1
Потужність двигуна, к.с. (КВт)	148 (109)
Номінальні обороти коленвала двигуна, об / хв	2100
Привід	4x4
Зчеплення	двухдискове, сухе
КПП	16/8
Гідросистема: тип / к-ть гідровиводами	Електрогідравлічна система автоматичного регулювання глибини обробітку ґрунту з силовим, позиційним, змішаним способами регулювання
ВВП: обороти, об / хв	540/1000
Вантажопідйомність навісного механізму, кг	6500
Продуктивність гідросистеми, л / хв	55
Розмір передніх / задніх шин, дюйм	420/70R24/520/70R38
Радіус повороту коліс, м	5,5
Кліренс, мм	620
Габаритні розміри: ДхШхВ, мм	4700x2300x2800
Колісна база, мм	2760
Споряджена маса, кг	6250
Обсяг паливного бака, л	250

Додаток Б
Культиватор підживлювач Kassmos HL8



Технічна характеристика

Модель	Вага, кг	Тиск на ґрунт, кг	Потужність трактора, к.с.	Кількість секцій	Міжряддя, см	Продуктивність, га/г	Ємність бункерів для добрив, л
HL 8	1350	60-80	60-100	8	70	~ 3.1	2x 300

Додаток В

Результати дослідження щільності ґрунту за допомогою твердоміра Wile

Глибина занурення твердоміра, см	Тиск, psi									
	номер досліджу									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	70	70	50	50	80	80	50	60	80	40
20	100	120	90	90	130	140	80	80	140	90
30	300	310	280	280	320	320	270	260	340	260
40	110	120	80	80	100	80	70	80	100	80
50	80	90	70	70	90	80	70	80	90	70
60	60	70	50	70	80	70	70	80	70	70

Додаток Г

Результати дослідження щільності ґрунту за допомогою твердоміра ДОРНДІ

Варіанти	Кількість ударів твердоміра					Питоме зчеплення, кгс/см ²					
	номер досліджу					Середнє значення	1	2	3	4	Середнє значення
	1	2	3	4	Середнє значення						
Поле після оранки	4	5	4	6	4,75	2,58	2,48	2,55	2,6	2,55	
Поле після культивуації	7	8	7	8	7,5	2,84	2,9	2,75	2,9	2,85	
Поле після лушення	8	8	9	9	8,5	3,2	2,9	2,8	3,1	3,00	
По колії ходових систем	12	14	14	13	13,25	9,1	9,4	9,1	9,4	9,25	