

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломного проекту

ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

**Удосконалення технології точного землеробства шляхом розробки
механізму для точного позиціонування робочих органів
сільськогосподарських машин**

Виконав: студент 4 курсу, групи АІ-3-21 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Хобот Тимофій Володимирович

Керівник: _____ Бойко Владислав Борисович

Рецензент: _____

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«___» _____ 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

Хоботу Тимофію Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технології точного землеробства шляхом розробки механізму для точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин

керівник роботи Бойко Владислав Борисович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«7» травня 2025 року № 964

2. Строк подання студентом роботи 11.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту Напрацювання науковців кафедри ТСГМ за обраною тематикою, огляд патентів та наукових робіт. Дані господарської діяльності фермерського господарства

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). 1. Аналіз господарської діяльності. 2. Технологічна частина. 3. Конструктивно-технологічні розрахунки. 4. Охорона праці та навколишнього середовища. 5. Техніко-економічна оцінка проекту. Висновки. Література.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Аналіз конструктивних рішень (A1). 2. Констрктивна схема (A1). 3. Технологічна схема (A1). 4. Складальне креслення (A1). 5. Деталювання (A1). 6. Економічні показники проекту (A1).

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Бойко В.Б., доцент		
нормоконтроль	Золотовська О.В., доцентка		

7. Дата видачі завдання: 25.03.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	26.03.25-3.04.25	
2	Технологічний	3.04.25-15.04.25	
3	Конструкційний	15.04.25-11.05.25	
4	Охорона праці	11.05.25- 15.05.25	
5	Економічний	15.05.25-26.05.25	
6	Графічна частина	26.05.25-11.06.25	

Студент

_____ Хобот Т.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Бойко В.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

[illegible]

АНОТАЦІЯ

Хобот Т.В. Удосконалення технології точного землеробства шляхом розробки механізму для точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена удосконаленню технології точного землеробства шляхом розробки механізму для точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин.

Запропоноване конструктивне рішення підвищить ефективність роботи машино-тракторного агрегату на вирощуванні просапних культур, знизить навантаження на тракториста під час виконання основних операцій по догляду за просапними культурами.

В першому розділі проведено аналіз діяльності фермерського господарства Хобота В.Д., та обґрунтовано необхідність розробки механізму для точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин під час виконання технологічних операцій.

В другому розділі проведено аналіз пристроїв та систем позиціонування робочих органів врахувавши переваги та недоліки яких розроблено поліпшену конструкцію механізму для позиціонування адаптованого для агрегування з універсально-просапними тракторами.

В третьому розділі проведено конструктивні розрахунки запропонованого механізму.

Розглянуто питання з охорони праці при експлуатації машино-тракторних агрегатів з запропонованим механізмом позиціонування.

Виконано економічне обґрунтування запропонованого конструктивного рішення.

Ключові слова: точне землеробство, позиціонування робочих органів, навісний механізм, машино-тракторний агрегат

ЗМІСТ

ВСТУП	8
Розділ 1. Розділ 1. АНАЛІЗ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ	9
1.1 Характеристика господарства	9
1.2. Аналіз природно-кліматичних умов	9
1.3 Характеристика рослинної галузі	10
1.4. Рівень механізації господарства	13
1.5 Економічні показники	18
1.6. Висновки	21
Розділ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	22
2.1 Цілі та завдання кваліфікаційної роботи	22
2.2 Аналіз механізмів і систем автоматичного водіння	22
2.3 Аналіз механізмів і систем з позиціонуванням робочих органів сільськогосподарських машин	29
2.4 Висновки	36
Розділ 3. КОНСТРУКТИВНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	37
3.1 Теоретичні та експлуатаційні передумови розробки механізму позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин	37
3.2 Розробка механізму для точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин	46
3.3 Конструктивні розрахунки основних складових механізму позиціонування	50
3.4 Розрахунок на міцність гідропроводів	53
3.5 Розрахунок на міцність напрямних механізму позиціонування	55
3.6 Висновки	56
Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	57
4.1 Аналіз стану з охорони праці в господарстві	57

4.2 Заходи по поліпшенню умов праці в господарстві	58
4.3 Заходи з охорони праці при експлуатації розробленого механізму для точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин	59
4.4 Захист навколишнього середовища при експлуатації механізму	60
4.5 Висновки	61
Розділ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ	62
5.1 Розрахунок техніко-економічних показників проекту	62
5.2 Висновки	67
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	68
ЛІТЕРАТУРА	70
ДОДАТКИ	73

ВСТУП

Сучасні мобільні агрегати стали складними машинними системами, управління якими вимагає високої концентрації та значних психофізичних зусиль від оператора тракториста чи комбайнера. Здійснення точного руху агрегату по заданій траєкторії згідно агротехнічних вимог, постійне маніпулювання робочими органами, контроль технологічних процесів та спостереження за станом різних вузлів – це все необхідно виконувати одній людині одночасно. Завдяки розвитку цифрових технологій, зокрема систем точного землеробства, оператори частково або повністю звільняються від виконання більшості операцій, які виконуються автоматично [1].

Протягом останніх двох десятиліть система точного землеробства стала основним елементом ресурсозберігаючих технологій [2]. Одним із важливих аспектів цієї системи є точність вирощування культур, що допомагає мінімізувати пошкодження рослин протягом всього циклу технологічних операцій. Одним з підходів для досягнення цієї мети є управління рухом агрегату за допомогою навігаційних систем, включаючи автопілоти, які дозволяють коригувати траєкторію руху трактора під час виконання операцій. Однак цього недостатньо, оскільки нерівномірність щільності ґрунту або схили можуть призвести до того, що робочі органи сільськогосподарських машин можуть зійти з траєкторії обробки, що призводить до пошкодження рослин [3].

Щоб мінімізувати ці відхилення, застосовується система автоматичного керування агрегатом, яка в комбінації з навісними механізмами коригує рух агрегату та забезпечує точне позиціонування робочих органів у міжрядді. Проте широке застосування систем автоматичного керування обмежується обмеженим вибором виконавчих механізмів та їх недостатньою технічною реалізацією.

Тому актуальним є розробка механізму позиціонування робочих органів, яка дозволить вирішити існуючі проблеми та підвищить ефективність виконання основних технологічних операцій машино-тракторними агрегатами.

Розділ 1. АНАЛІЗ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

1.1 Характеристика господарства

Фермерське господарство "Хобота В.Д." розташоване в селі Губиниха, що знаходиться в Самарівському районі за 52 км від обласного центра міста Дніпро. Воно спеціалізується на вирощуванні зернових і олійних культур та обробляє площу близько 500 гектарів землі [4]. У господарстві активно працюють співробітники, які регулярно проходять навчання та підвищення кваліфікації, що сприяє підтримці високого рівня професійної підготовки. На виконанні основних робіт задіяно 6 працівників та в період сезонних робіт додатково залучається до 5 вільнонайманих робочих

Організація праці на підприємстві здійснюється відповідно до агротехнічних вимог, з урахуванням термінів виконання робіт, дотриманням норм охорони праці та створенням оптимальних умов для працівників. Для забезпечення сталого розвитку господарства постійно інвестуються кошти в модернізацію технічного парку, розширення посівних площ та впровадження інноваційних агротехнологій. Важливу роль приділяється екологічній складовій виробництва, спрямованій на зменшення впливу на навколишнє середовище.

Для досягнення високої ефективності у роботі фермерське господарство використовує сучасну сільськогосподарську техніку, що є основою для виконання всіх технологічних операцій на полі.

1.2 Аналіз природно-кліматичних умов

Землі господарства розташовані в межах лісостепової зони України. Цей регіон характеризується помірно-континентальним кліматом, що сприяє розвитку сільського господарства, зокрема вирощуванню зернових, олійних культур і кормових рослин.

Клімат в регіоні є типовим для лісостепової зони: з жарким і сухим літом та холодною, але помірною зимою. Середньорічна температура повітря складає

близько 9-13°C. Літо в цьому регіоні тепле, середня температура липня варіюється від 23 до 25°C, що створює сприятливі умови для росту і дозрівання сільськогосподарських культур. Зими помірно холодні з середньою температурою січня близько -5°C, проте температура може знижуватися до -10°C і нижче в періоди сильних морозів.

Щорічна кількість опадів складає в середньому 400-450 мм. Більшість опадів випадає в теплий період року (від весни до осені), що дозволяє забезпечити достатній рівень вологості ґрунту для вирощування сільськогосподарських культур. В зимовий період опади зазвичай випадають у вигляді снігу, а їх кількість невелика.

Середньорічна вологість повітря в даному регіоні складає близько 71-76%. Вологість повітря висока в осінньо-зимовий період, коли відбувається максимальна кількість опадів, але з настанням літа рівень вологості знижується, особливо в серпні, що часто призводить до посух. Це є важливим фактором для сільського господарства, оскільки в таких умовах критично важливим є збереження вологи в ґрунті.

Ґрунти фермерського господарства здебільшого чорноземні, що є одними з найродючіших ґрунтів. Чорноземи мають високу вологопереносність та достатню кількість поживних речовин, що забезпечує хороші умови для вирощування різноманітних сільськогосподарських культур, зокрема зернових і олійних. Ґрунти мають добру структуру, що дозволяє отримувати високі врожаї при належному обробітку та управлінні вологістю.

1.3 Характеристика рослинної галузі

Основним напрямком діяльності фермерського господарства є рослинництво, яке займає центральне місце в аграрному виробництві. Рослинницька діяльність орієнтована на вирощування як зернових, так і олійних культур, що дає змогу забезпечити господарство не лише високоякісною сировиною для харчових і кормових потреб, але й для переробної промисловості.

Одним з основних напрямків у вирощуванні зернових культур є кукурудза та пшениця. Кукурудза є важливою культурою, яка займає значну частину посівних площ. Вона вирощується переважно для харчових потреб, а також як кормова культура для тварин. Кукурудза має високі вимоги до тепла та вологості, тому вирощування її потребує ретельного догляду та оптимального поливу в періоди активного росту.

Пшениця, зокрема озима пшениця, є однією з основних зернових культур, вирощуваних у господарстві. Вона є важливим продуктом для виробництва борошна та інших харчових продуктів. Пшениця вирощується на родючих ґрунтах, здебільшого чорноземах, і потребує грамотного підходу до обробітку ґрунту та застосування добрив. Її вирощування є важливим елементом сівозміни, що дозволяє оптимізувати врожаї на різних типах ґрунтів.

Іншим важливим напрямком є вирощування олійних культур, зокрема соняшнику та ріпаку. Соняшник є однією з найбільш прибуткових олійних культур, оскільки дає високу урожайність насіння, яке використовується для виробництва олії, а також у кормовій промисловості. Він добре росте на чорноземах, де в умовах теплих кліматичних умов дає стабільні врожаї.

Ріпак займає важливе місце серед олійних культур завдяки високому вмісту масла в насінні. Вирощування ріпаку має значення як для виробництва олії, так і для кормової промисловості, оскільки його залишки після переробки використовуються для виготовлення високоякісних кормів. Ріпак також добре росте на родючих ґрунтах і вимагає спеціальних агротехнічних заходів, таких як своєчасне внесення добрив і захист від хвороб.

Рослинництво господарства базується на вирощуванні зернових і олійних культур, що є важливим компонентом для забезпечення не тільки харчової безпеки, але й стабільних прибутків господарства. Важливими умовами успішного розвитку рослинницької галузі є дотримання агротехнічних вимог, оптимальне використання ресурсів і сучасних технологій, а також управління агрономічними процесами для отримання високих врожаїв.

В таблиці 1.1 наведено основні показники господарської діяльності в галузі рослинництва за останні три роки.

Таблиця 1.1 – Посівні площі та врожайність основних культур господарства

Культури	2022 р.		2023 р.		2024 р.	
	га	т/га	га	т/га	га	т/га
Кукурудза	144	5,2	154	4,8	174	5,5
Озима пшениця	168	3,45	158	3,59	164	3,6
Сонях	82	5,7	86	6,8	86	7,2
Ріпак	76	2,4	94	1,9	82	2,6
Всього, га	470	-	492	-	506	-

Згідно з даними таблиці можна провести наступний аналіз посівних площ та врожайності основних культур господарства за період 2022–2024 років.

Так посіви кукурудзи у 2024 році кукурудза показала позитивну динаміку, зокрема збільшення площі на 20,8% та зростання врожайності на 5,8%.

У 2024 році площа пшениці зменшилась до 164 га, що на 2,4% менше ніж 2022 році, але незважаючи на зменшення площі, врожайність озимої пшениці покращилась на 4,3%.

Соняшник показав найбільше зростання як у площах, так і у врожайності. Так площа збільшилася на 4,9%, а врожайність — на 26,3%.

Ріпак показав зростання площ на 7,9% і покращення врожайності на 8,3%.

Господарство активно розвиває сільськогосподарське виробництво з розширенням площ для всіх основних культур. Найбільше зростання врожайності спостерігається в соняшнику, де вона піднялась на 26,3%, що свідчить про ефективність застосованих агротехнічних методів. Кукурудза також показала значний приріст як у площах (20,8%), так і у врожайності (5,8%). Пшениця та ріпак продемонстрували стабільні результати

1.4 Рівень механізації господарства

Рівень механізації є важливим показником ефективності роботи фермерського господарства. Від того, наскільки автоматизовані і механізовані процеси виробництва, залежить продуктивність праці, зниження витрат, а також загальна конкурентоспроможність підприємства на ринку. В умовах сучасного сільського господарства механізація є необхідною для досягнення високих результатів в агровиробництві, підвищення ефективності використання земельних ресурсів та оптимізації витрат на робочу силу.

На сьогоднішній день фермерське господарство використовує різноманітну техніку для виконання основних сільськогосподарських робіт (табл. 1.2). Це дозволяє здійснювати обробіток ґрунту, посів, догляд за культурами, збір врожаю та інші операції на високому рівні. Прогрес у механізації забезпечує збільшення обсягів виробництва при одночасному зменшенні витрат на робочу силу та підвищенні якості виконуваних робіт.

Так основними енергетичними засобами в господарстві є трактори (рис. 1.1). Трактори в аргаті з сільськогосподарськими машинами забезпечують механізацію основних технологічних операцій на вирощуванні сільськогосподарських культур.



Рис. 1.1. Трактори загального призначення

John Deere 7530 та John Deere 6125M

Для підготовки ґрунту до посіву використовуються енергонасичені трактори John Deere 7530, John Deere 6125M, T-150K та Challenger MT685D та різноманітна техніка для оранки, дискування, культивування, боронування. Механізація обробітку дозволяє не лише підвищити ефективність робіт, а й знизити втрати часу та покращити структуру ґрунту.

Сівалки точного висіву (табл. 1.2) дозволяють рівномірно розподіляти насіння за оптимальними параметрами (глибина, відстань між рослинами). Це є важливим для забезпечення хороших умов для проростання та розвитку культур. В господарстві використовується високоякісна сівалка точного висіву John Deere 1780 (рис. 1.2), що оснащена датчиками для контролю висіву, та механізмом коригування процесу висіву залежно від умов ґрунту та погодних факторів.



Рис. 1.2. Посів просапних культур сівалкою точного висіву John Deere 1780 в агрегаті з трактором ЮМЗ-8040

Догляд за культурами. Для внесення добрив, хімічних засобів захисту рослин і поливу в господарстві використовується оприскувач Polmark-2000 довжина штанги 18 метрів та розкидачі мінеральних добрив РМД-1000. Системи точного дозування дозволяють знижувати витрати на агрохімікати, забезпечуючи оптимальний ефект при мінімальних витратах.

Збір урожаю. Для збирання врожаю використовуються спеціалізовані машини — комбайни, що дають можливість швидко та ефективно здійснювати збори різних культур, знижуючи втрати і підвищуючи якість зібраної продукції.



Рис. 1.3. Збирання зернових комбайном John Deere 9600

Для перевезення продукції та матеріалів господарство використовує трактори з причепами та вантажівки (табл. 1.2), що значно полегшують логістичні процеси, знижуючи час на транспортування і витрати пального.

Завдяки механізації вдається значно підвищити ефективність виробничих процесів, зменшити фізичні навантаження на працівників, покращити якість виконаних робіт і, відповідно, збільшити врожайність сільськогосподарських культур.

На фермерських господарствах, які активно інвестують у нові технології, особливу увагу приділяють модернізації технічного парку та забезпеченню технічної справності техніки. Регулярне обслуговування та планова заміна старої техніки на нову дають змогу не лише підвищити якість робіт, але й зменшити витрати на ремонт та експлуатацію техніки.

Таким чином, механізація в фермерському господарстві є необхідним елементом для досягнення високої продуктивності та конкурентоспроможності, забезпечення сталого розвитку та стійкої роботи підприємства в умовах змінюваного аграрного середовища.

Таблиця 1.2 – Машино-тракторний парк господарства

N п/п	Найменування машини	Кількість, шт.
1	2	3
Автомобілі		
1	MAN TGX 33.480	1
2	ЗІЛ-130	1
Трактори		
1	John Deere 7530,	1
2	John Deere 6125M,	1
3	Challenger MT685D	1
4	T-150K	1
5	ЮМЗ-8040	2
Комбайн		
1	John Deere 9600	1
Плуги		
1	ПЛН-3-35	2
2	Kverneland LD	1
3	Krone mustang	2
Культиватори		
1	John Deere 2210	2
2	КПС-4Н	2
3	КРН-5,6	2
Борони		
1	Дискова борона John Deere 630	2
2	БДТ-3	1
3	ДАН-2,1	2
4	БЗСС-1,0	24
Сівалки		
1	Kverneland HD	1
2	Horsh CO6	1
3	СЗ-3,6	2

Продовження табл. 1.2

Опрыскувачі та розкидачі		
1	Polmark-2000	2
2	РМД-1000	2
Навантажувач		
1	Manitou MT 1232	1
Причепи		
1	2ПТС-4	2
2	2ПТС-10	2

Організація роботи машинно-тракторного парку (МТП) є невід'ємною частиною фермського господарства. Ефективне управління МТП включає планування використання техніки, регулярне технічне обслуговування та ремонт, навчання персоналу та впровадження систем моніторингу та обліку роботи техніки. Це забезпечує безперебійне виконання технологічних операцій, зменшує ризик поломок та підвищує загальну ефективність аграрного виробництва

Загалом, інтеграція сучасних сільськогосподарських машин та транспортних засобів у виробничі процеси агропідприємства є необхідною умовою для досягнення високих показників продуктивності, якості та економічної ефективності сільськогосподарського виробництва.

Основним постачальником паливно-мастильних матеріалів являється нафтобаза розміщена в м. Самар. Пункт видачі паливно-мастильних матеріалів організовано на території машино-тракторного парку з дотриманням всіх вимог протипожежної безпеки з урахуванням необхідної відстані до житлових зон, водних джерел та інших об'єктів, відповідно до норм безпеки.

Пункт видачі та зберігання пального (ПВЗП) забезпечує ефективне та безпечне зберігання пального необхідного для технічних потреб господарства. В середньому господарство за рік використовує близько 25 тон дизеля та 2 тон

бензину.

Для запобігання виникненню надзвичайних ситуацій і ліквідації пожеж, ПВЗП обладнано засобами для гасіння вогню, а також проводяться регулярні інструктажі для працівників з питань охорони праці та забезпечення пожежної безпеки. Важливою частиною є також постійне навчання персоналу і проведення інструктажів щодо безпеки та правильного поводження з паливом. Порушення встановлених норм може призвести до адміністративних санкцій, зокрема великих штрафів.

Аналіз наявних механізмів підтверджує високий рівень технічного оснащення агропідприємства, що гарантує ефективне виконання основних агротехнічних процесів. Велика кількість та різноманітність техніки дозволяють оперативно реагувати на зміни в потребах виробництва та оптимізувати процеси вирощування сільськогосподарських культур. Належне функціонування ПВЗП не тільки підвищує ефективність роботи агропідприємства, але й сприяє охороні навколишнього середовища та здоров'ю працівників.

1.5 Економічні показники

Економічні показники фермського господарства є ключовим інструментом для оцінки його діяльності та потенціалу розвитку. Вони охоплюють основні фінансові та виробничі аспекти, що відображають ефективність роботи агропідприємства та допомагають у стратегічному плануванні та прийнятті управлінських рішень.

Один із важливих аспектів — це аналіз валового виробництва та продуктивності праці. В останні роки валова продукція господарства демонструє стабільне зростання завдяки покращенню ефективності сільськогосподарського виробництва, оптимізації технологічних процесів та використанню новітніх методів ведення господарства. Вирощування

зернових та олійних культур є основним напрямком, що дозволяє досягати високих результатів на обмежених земельних площах.

Серед основних фінансових показників важливою є рентабельність, яка показує, наскільки ефективно використовуються ресурси підприємства. Завдяки оптимізації витрат на виробництво та зниженню собівартості продукції, рентабельність поступово зростає. Використання сучасних технологій обробки ґрунтів і методів збереження вологи допомагає зменшити витрати на техніку та паливо, що позитивно впливає на фінансові результати.

Продуктивність праці є ще одним важливим економічним показником, що відображає ефективність використання трудових ресурсів. У господарстві постійно працюють над підвищенням кваліфікації працівників, що дозволяє збільшувати продуктивність праці та досягати високих результатів на одиницю робочої сили. Впровадження автоматизованих систем управління виробничими процесами та модернізація технічного оснащення також допомагають значно підвищити ефективність роботи персоналу.

Рівень інвестицій у розвиток господарства також є важливим показником. За останні роки підприємство активно інвестує в оновлення техніки, будівництво нових складів та розвиток інфраструктури, що дозволяє збільшувати обсяги виробництва та знижувати витрати на зберігання та транспортування продукції.

Загалом, стабільність доходів від основної діяльності забезпечує фінансову стійкість господарства і сприяє його розвитку. Підвищення ефективності використання земельних ресурсів, зменшення витрат на виробництво та стабільне зростання обсягів виробництва допомагають підтримувати стабільні доходи та забезпечувати фінансове благополуччя господарства.

Основні економічні показники господарства наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Економічні показники господарської діяльності

Назва культури	Роки		
	2022	2023	2024
Рівень інвестицій, грн	1950500	244526	4123623
Рівень рентабельності, %:			
Пшениця	15	16	18
Кукурудза	22	25	28
Соняшник	25	27	30
Ріпак	52	54	58
Прибуток, тис. грн/га	4835,4	5671,2	6254,5
Кредитна заборгованість, грн	85600	95260	82400
Вартість валової продукції на 1 люд-год.	22,3	24,2	27,1
Затрати праці, люд-год.	1,26	1,24	1,21

Аналізуючи наведені показники можна сказати, що інвестиції за звітний період значно зросли, що вказує на активне оновлення техніки та інфраструктури. Рівень рентабельності по всіх культурах мав позитивну динаміку росту, але найбільше він був у кукурудзи (27,3%), що свідчить про поліпшення ефективності виробництва. Прибуток на гектар зріс на 29,5%, що є хорошим результатом для підвищення фінансової стабільності. Кредитна заборгованість зменшилась на 3,7%, що є позитивною тенденцією. Вартість валової продукції на 1 люд-год збільшилась на 21,5%, що вказує на зростання продуктивності праці, а затрати праці знизились на 4%, що свідчить про підвищення ефективності роботи через оптимізацію процесів.

Наведені показники свідчать про стабільний розвиток господарства та його здатність до оптимізації та покращення економічних результатів.

1.6 Висновки

1. Фермерське господарство "Хобота В.Д." активно розвивається завдяки постійним інвестиціям в модернізацію техніки та інфраструктури. Регулярне навчання персоналу та підвищення кваліфікації сприяють ефективності роботи господарства. Відзначається зростання рівня інвестицій, що свідчить про активне оновлення техніки та інфраструктури. Рентабельність культур зросла на 11,5-27,3%, при цьому найбільший ріст спостерігається у кукурудзи. Прибуток на гектар зріс на 29,5%, що свідчить про стабільність і фінансову стійкість. Кредитна заборгованість знизилась на 3,7%, а вартість валової продукції на 1 люд-год зросла на 21,5%, що вказує на зростання продуктивності праці. Затрати праці також зменшились на 4%, що свідчить про оптимізацію виробничих процесів.

3. Високий рівень механізації забезпечує ефективність виробничих процесів і зменшує витрати на робочу силу. Сучасна техніка для обробки ґрунту, посіву, догляду за культурами, а також збору врожаю дає змогу значно підвищити якість виконуваних робіт та врожайність культур. Механізація також дозволяє знизити фізичні навантаження на працівників.

3. Підвищити ефективність роботи працівників можливо шляхом зниження на них навантаження під час виконання монотонних операцій посіву та прополювання просапних культур де потрібні професійні якості механізаторів. Тому в якості пілотного проекту врахувавши напрацювання кафедри ТСГМ пропонується розробка конструкції механізму для точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин.

Розділ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Цілі та завдання кваліфікаційної роботи

Основною ціллю кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності точного землеробства шляхом розробки механізма для точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин.

Для досягнення поставленої цілі необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз механізмів та систем точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин використовуючи літературні та патентні джерела;
- розробити конструкцію механізма для точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин врахувавши результати проведено аналізу;
- розробити мехатронну систему керування механізмом позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин;
- виконати конструктивні розрахунки основних параметрів механізма позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин;
- розробити заходи з охорони праці при експлуатації машино-тракторних агрегатів з запропонованим механізмом позиціонування.
- економічно обґрунтувати запропоноване конструктивне рішення.

2.2 Аналіз механізмів і систем автоматичного водіння

Розвиток глобальних навігаційних систем і поширення їх використання серед рядових громадян дозволяє реалізувати принципи точного землеробства. Вперше термін точне землеробство з'явився в кінці 80 років минулого століття. Основною перевагою точного землеробства являється підвищення ефективності сільського господарства шляхом точного внесення основних засобів захисту, добрив, насіннєвого матеріалу а в останні роки реалізація точного ведення

техніки без перекриттів та пропусків. Це особливо актуально при роботі широкозахватних машин. Точне позиціонування переміщення техніки завдяки використанню глобальних систем дозволяє накопичувати інформацію про господарчі ділянки їх родючість, продуктивність сільськогосподарських культур, поширення бур'янів та шкідників. Підсумовуючи наведену вище інформацію точне землеробство – це досить високотехнологічна комплексна система, яка завдяки можливості точної координації, використання прецензійних точних сільськогосподарських машин дозволяє реалізувати якісний менеджмент та підвищити ефективність сільського господарства шляхом зниження основних витрат.

Основні складові точного землеробства[5-8]:

- система глобального позиціонування;
- географічні інформаційні системи;
- технології оцінки врожайності;
- технології точного нормування матеріалів;
- технології дистанційного моніторингу ґрунту, розвитку рослин, поширення шкідників, хвороб та бур'янів;
- технології IoT «Інтернет речей ».

Для досягнення принципів точного землеробства необхідні машини, які здатні точно позиціонувати робочі органи сільськогосподарських машин. На сьогодні існує безліч виробників систем паралельного водіння, які забезпечують досить точне позиціонування мобільних енергетичних засобів при цьому вони не вирішують проблеми зміщення робочих органів сільськогосподарських машин, які виникають в результаті ущільнення ґрунту ходовими системами машин. На рисунку 2.1, а приведено приклад уводу робочих органів сівалки під час виконання технологічної операції. Наступні операції по догляду за просапними культурами (рис. 2.1, б) значно ускладнюються в результаті постійного коригування положення машино-тракторного агрегату. Зростає навантаження на водія, який постійно знаходиться в напруженому стані, що

викликає утомлюваність та погіршення ефективності його роботи. І як результат пошкодження культур робочими органами сільськогосподарських машин [9-11].



Рис. 2.1. Розміщення рядків на вирощуванні просапних культур:

а – зміщення рядків при посіві просапних культур;

б – підгортання просапних культур

В гіршому випадку за відсутності систем лінія напрямку рядків залежить від фахового рівня водія, який виконує керування машино-тракторним агрегатом на посіві просапних культур. Паралельність суміжних проходів забезпечується веденням трактора по маркерній лінії. Слід утворений маркером посівної чи посадкової машини є основним орієнтиром в даному випадку. В цьому випадку виконання операцій з механічної обробки міжрядь (прополювання, підгортання), також вимагає високого професійного рівня від водія, який повинен чітко вести машино-тракторний агрегат з урахуванням криволінійності траєкторії розміщення просапних культур в рядку. Нерівномірне накладення траєкторій руху знарядь при наступних проходах після посіву чи посадки призводить до порушення захисної зони, наприклад на вирощуванні картоплі відбувається пошкодження бульб в гнізді [12-14].

При русі машино-тракторного агрегату через нерівномірну щільність ґрунту, наявність ступенів свободи в навісному механізмі трактора та ухилів, може відбуватися відхилення агрегату від заданої траєкторії руху. Тому

важливим напрямом у системі точного землеробства є автоматизована система паралельного водіння, яка дозволяє усунути зазначені проблеми, а також ліквідувати людський фактор, що проявляється при тривалій роботі через зниження концентрації уваги та відсутність комфорту при управлінні агрегатом.

Ці недоліки відсутні у системі автоматичного водіння, яка також дозволяє покращити енергетичні показники, знижуючи витрати пального та мастильних матеріалів, економити витратні матеріали (добрива, засоби захисту рослин), скорочувати час, витрачений на технологічні перерви, і дозволяє виконувати операції навіть уночі. Окрім цього, система забезпечує можливість роботи за прямими і криволінійними траєкторіями.

Система паралельного водіння може бути реалізована в трьох варіантах:

- з використанням слідовказівника електронного чи графічного типу з розташуванням в кабіні;
- з використанням підрулюючого механізму розміщеного на рульовій колонці трактора чи іншої мобільної машини;
- з використанням автопілота з виконавчим механізмом інтегрованим гідропривід зміни положення напрямних коліс мобільної техніки.

Питаннями з автоматизації процесів обробітку ґрунту сільськогосподарським знаряддям займалися ще на початку 50-х років, але перші комерційні зразки такої техніки з'явилися наприкінці 50-х закордоном, а на початку 60-х років в Україні. Основним алгоритмом роботи систем автоматичного водіння є контроль зміни параметрів тобто відхилення від курсу яке контролювалося датчиками та коригування положення згідно заданого курсу за допомогою виконавчих механізмів. Основним орієнтиром в ті часи являлися рядки, а в якості виконавчих пристроїв використовувалися електро або гідроприводи з релейним керуванням.

Так на початку 60-х років Інститут механізації та електрифікації ІМЕСГ проводив випробування розробки першої автоматизованої системи просапної машини на базі колісного шасі Т-16М. Запропоноване конструктивне рішення в агрегаті з шасі підвищило ефективність прополювання майже в два рази.

Прополювання виконувалося робочими органами з шириною лез 2 см при цьому їх довжина складала 15 см. Робочі органи прополювальної машини могли обертатися на вісі та частково виконувати прополювання не тільки в міжрядді але і в рядку, що забезпечувало підвищення ефективності прополювання майже в два рази (рис. 2.2) [10].



Рис. 2.2. Автоматична система керування робочими органами та машино-тракторним агрегатом на прополюванні сільськогосподарських культур

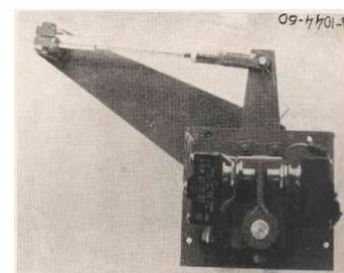
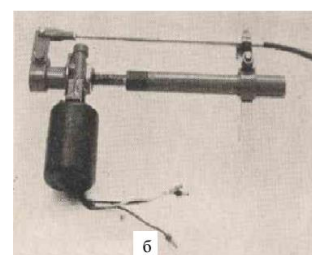
Привід вісі виконувався за допомогою привода з зворотньопоступальним рухом через регульований важіль. Регульований важіль дозволяв виконувати точну установку робочих органів полільника. Включення привода відбувалося з використанням електромагнітної муфти. Тракторист виконував заїзд на міжряддя для здійснення прополювання включав електричну муфту привода та одночасно спрямовував давач коригувальної системи на рослини в рядку. Крім коригування положення робочих органів полільника система здійснювала автоматичне ведення шасі по міжряддю за допомогою сервомеханізму привода напрямних коліс.

За кордоном вперше комерційну модель системи автоматичного водіння машино-тракторного агрегату було продемонстровано в 1958 році компанією FORD.

Система автоматичного водіння встановлювалася на базі колісного трактора (рис. 2.3) і використовувалася на виконанні прополювальних робіт, оранці чи роботах по скошуванню або збиранню урожаю [15].



а



в

Рис. 2.3. Перша система автоматичного керування машино-тракторним агрегатом

а – трактор з автоматом водіння; б – виконавчий механізм (електропривод); в – перемикач

Копіювальний пристрій системи автоматичного водіння трактора забезпечував механічне копіювання рядка рослин при виконанні міжрядної обробки. Використовуючи слідкуючий механізм релейного типу, який своїми давачами в вигляді двох легких прутків досить точно вів енергетичний засіб по міжряддю. Робочі органи сільськогосподарських машин розташовувалися між передніми та задніми колесами трактора. В якості виконавчого механізму використовувався електропривод, який мав зв'язок з механізмом керування трактора. Завдяки розташуванню знаряддя між передніми та задні колесами трактора, останній обрано за об'єкт регулювання. При зміщенні трактора з курсу

давач (пруток щупа) наїжджав на рядок та при зміщенні подавав сигнал на комутаційне реле виконавчого механізму для корегування положення трактора відносно рослин (рис. 2.3, в). При замиканні контактів реле електродвигун (рис. 2.3 б) обертав черв'як кермового механізму трактора, в результаті чого передні колеса змінювали своє положення та стабілізували курс. Система надійно працювала з відхиленням трактора не більше ніж 4 см, що забезпечувало задовільну роботу на швидкості до 9,5 км/год.

Ще одне технічне рішення запропоноване та розроблене в Україні забезпечувало автоматичне водіння причіпного комбайну для зрізання гички БМ-6Б (рис. 2.4) . Роботу автопілота 1 причіпного комбайну побудовано за алгоритмом, як і у попередніх розробок тобто з орієнтуванням по рядкам. Переміщуючись механічний датчик 3 автопілота 1, що представляє з себе копір, який охоплює бічні поверхні коренеплодів спрямовує ріжучий апарат 4 з робочими органами над головками коренеплодів за допомогою паралелограмної підвіски з опорним колесом 2 та виконавчим механізмом гідравлічного типу корегування положення ріжучого апарата 4.

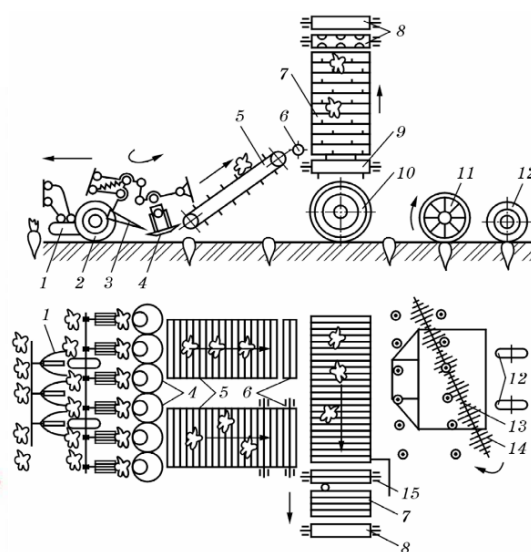
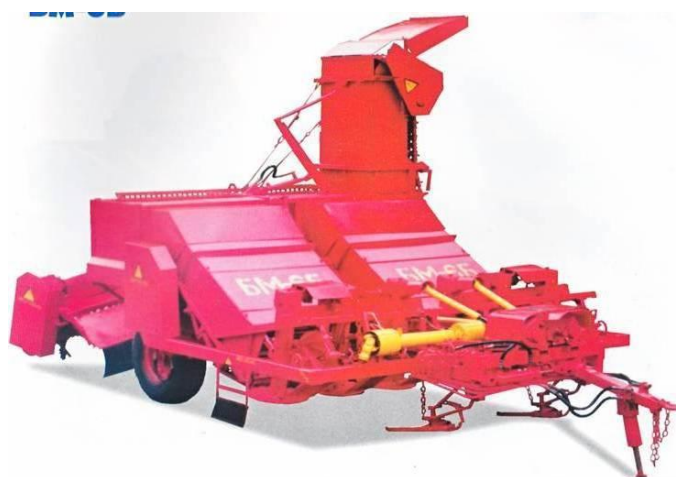


Рис. 2.4. Машина для зрізання гички з автопілотом [16]

Коригування положення ріжучого апарату здійснюється шляхом механічної дії датчика-копіра 3 на золотник гідророзподільника. Переміщення золотника відповідно перерозподіляє потоки рідини в силовому гідроциліндрі автопілота та зміщує робочі органи ріжучого апарату 4 в сторону розташування головок коренеплодів забезпечуючи точне їх позиціонування та ефективну роботу комбайна.

2.3 Аналіз механізмів і систем з позиціонуванням робочих органів сільськогосподарських машин

Робота над створенням механізмів і систем позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин досить активно почала розвиватися з поширенням мікропроцесорної техніки та появи компактних лінійних двигунів та сервоприводів. Протягом останніх 30 років з'явилася велика кількість різноманітних механізмів та систем, для систематизації яких розроблено їх класифікацію наведену на рис. 2.5 [17].

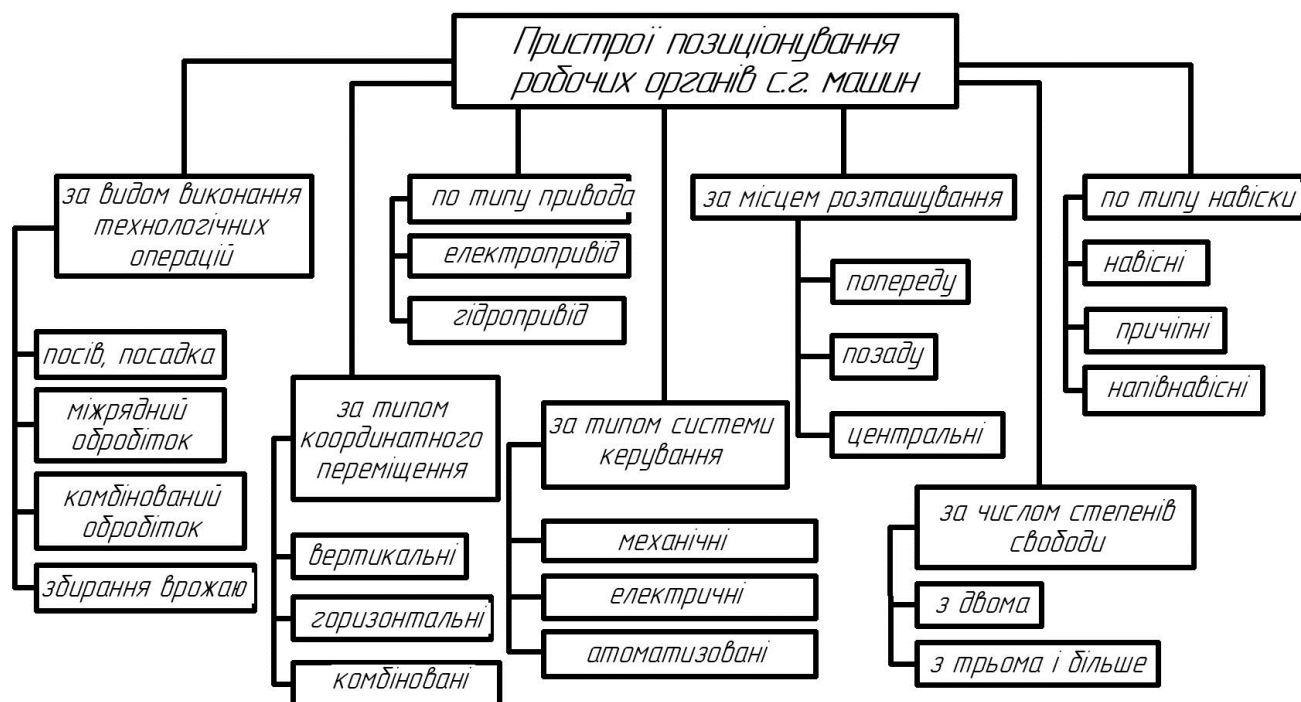


Рис. 2.5. Класифікація пристроїв та систем точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин

Розглянемо основні чотири способи позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин які наведено на рисунку 2.6 [18].

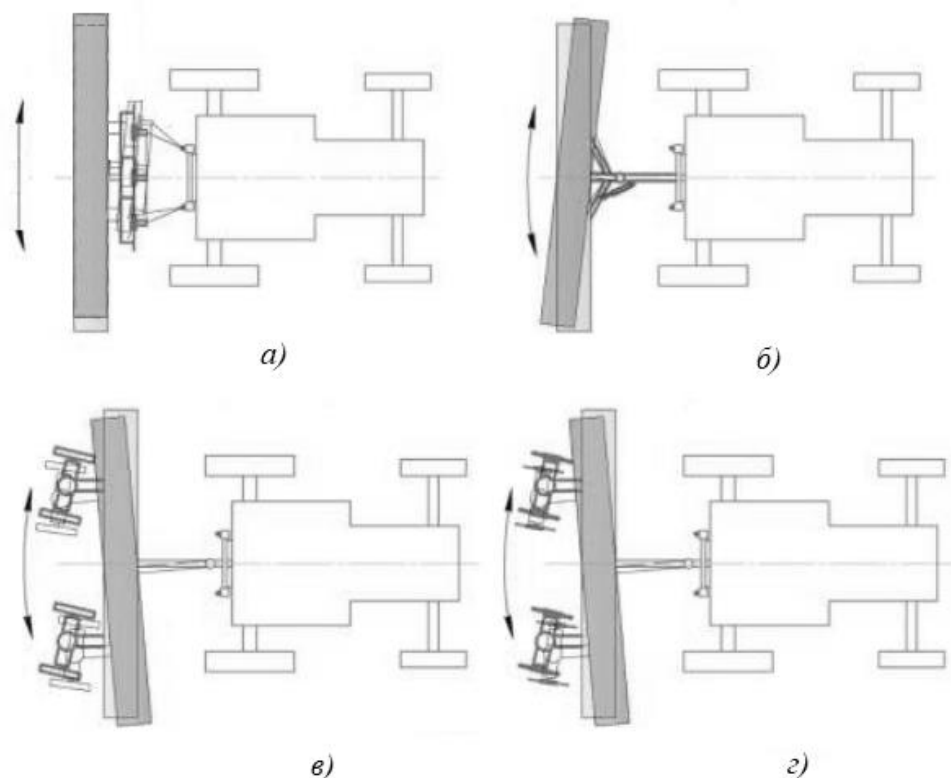


Рис. 2.6. Основні способи руху робочих органів та сільськогосподарських машин при позиціонуванні

На першому рисунку 2.6 *а* наведено бічний спосіб зміщення робочих органів сільськогосподарських машин відносно курсової лінії трактора.

На рисунку 2.6, *б* наведено другий спосіб позиціонування з використанням поворотного механізму дишла розміщеного на остові машини. За такого способу робочі органи разом з сільськогосподарською машиною виконують коливальні рухи відносно курсової лінії руху трактора.

На рисунку 2.6, *в* наведено третій спосіб з використанням напрямних коліс а на рисунку 2,6 *г* з використанням дисків. Останні два способи схожі з способом поворотного дишла з дещо зміненим місцем прикладення моменту повороту, а саме до задньої частини сільськогосподарської машини.

Для аналізу особливостей кожного із способів розглянемо найбільш перспективні розробки. І для аналізу першого способу розглянемо конструктивне рішення запропоноване компанією ZETOR із Чехії ще в 90-х

роках. Розроблений пристрій точного позиціонування робочих органів для прополювальних робіт культиватора КРН-4,2М (Рис. 2.7) з бічним зміщенням [19]. Основні складові пристрою розміщуються на рамі культиватора та з'єднують рухому частину з розміщеними робочими органами культиватора з нерухомою частиною остовом культиватора. Агрегатування культиватора з трактором виконується шляхом його навішування на елементи навіски.

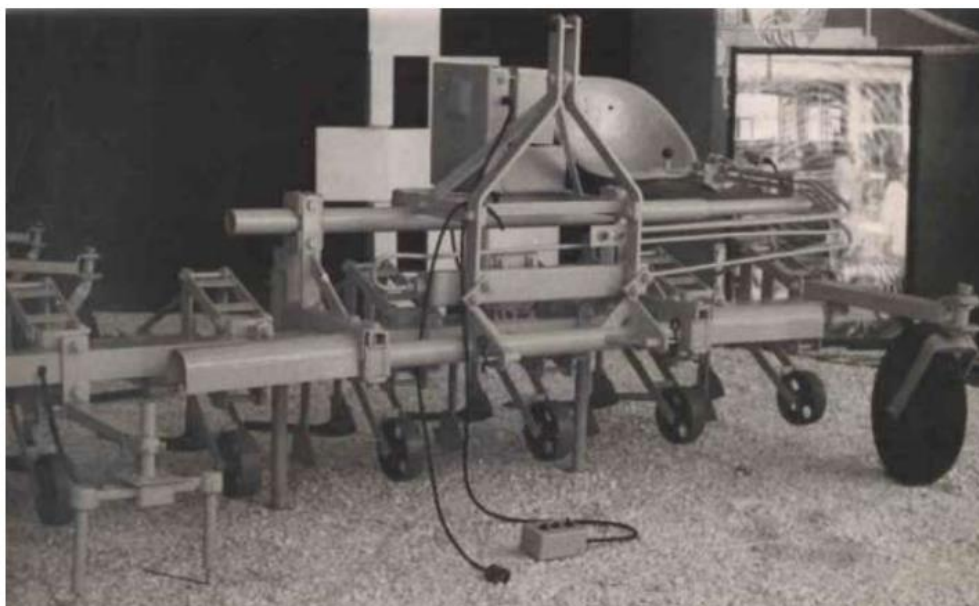


Рис. 2.7 Пристрій позиціонування полільних лап культиватора КРН-4,2М

Пристрій складається з датчиків (щупів) контролю розміщення рядків, блока керування та виконавчого механізму електрогідравлічного типу. Сигнали від датчиків надходять до електронного блока керування де виконується їхній аналіз та формується сигнал коректуючої дії на електрогідравлічному розподільнику, після чого за допомогою рідини від розподільника відбувається точне позиціонування робочих органів культиватора за допомогою силового циліндру. Остов культиватора жорстко кріпиться до навіски трактора а робочі органи (секції) культиватора розміщуються на окремому брусі зміщення якого здійснюється силовим гідроциліндром.

Дослідженнями [19] доведено ефективність використання запропонованого механізму особливо в умовах важких ґрунтів де ущільнення ґрунту викликало зміщення робочих органів полільних машин в бік рядків

просапних культур з наступним їх підрізанням. Використання запропонованого механізму дозволяє усунути пошкодження рослин та їх кореневої системи. Недоліком таких механізмів являється відсутність універсальності використання в зв'язку з прив'язкою основних складових до конструкції культиватора

Для розгляду другого способу позиціонування з використанням поворотного дишла розглянемо конструктивне рішення від компанії Pro Trakker (рис. 2.8) [20]. Механізм розроблено для точного позиціонування причіпних машин з використанням поворотного дишла відносно лінії руху трактора за курсовказівником. Широке поширення механізм отримав на високопродуктивних садильних машинах завдяки чіткого їх ведення по курсовій лінії. Основу механізму складає рухома тяга 4 з пальцем 3 розміщена між верхньою 1 та нижньою 2 плитами з розташованими між ними втулками 6. Виконавчим механізмом являється гідроциліндр 5, який виконує зміщення тяги 4 за сигналами з блока керування на рисунку не представлено.

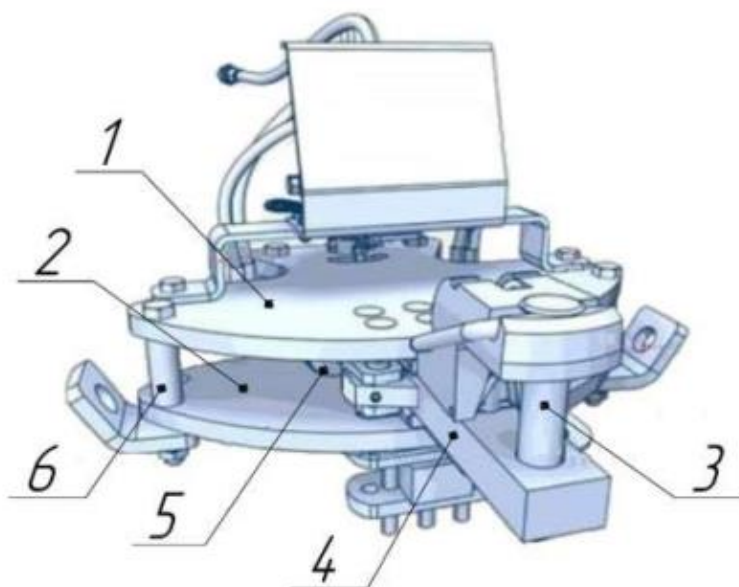


Рис. 2.8 Система позиціонування «Поворотне дишло»

Ще одним поширеним способом позиціонування робочих органів садильних машин є спосіб з використанням напрямних коліс. Такий спосіб

дозволяє досить швидко виконати корегування курсу садильної машини за рахунок зміщення поворотного моменту до задньої частини машини.

Для прикладу розглянемо такий механізм на причіпних картоплесадильних машинах від компанії Grimme [21] (рис 2.9). Контроль за переміщенням машино-тракторного агрегату виконує з використанням GPS-навігації слідкуюча система механізму. Сам механізм позиціонування робочих органів картоплесадильної машини складається з вісі 4 на якій розміщуються поворотні кулаки 1 ступиць напрямних коліс 5 та поперечної тяги що формують рульову трапеції. Коригування положення робочих органів картоплесадильної машини виконується гідравлічним циліндра 6 за рахунок зміни положення напрямних коліс 5 за командами, які формує гідравлічний блок слідкуючої системи.

До недоліків даної способу позиціонування можна віднести переущільнення ґрунту по суміжним проходам по слідах ходової системи машино-тракторного агрегату.



Рис. 2.9. Позиціонування картоплесаджалки Grimme з використанням підрулюючих коліс

Розглянемо останній із наведених способів (рис. 2.6, з) позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин шляхом використання

напрямних дисків. Так компанією SBG запропоноване конструктивне рішення з використанням дискового корегуючого механізму (рис. 2.10) для точного позиціонування положення робочих органів сільськогосподарських машин [22]. Як і в попередньому способі корегуючий дисковий механізм розташовується по заду знаряддя тим самим забезпечуючи швидке маневрування для точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин. І як і в попередньому випадку корегуючий механізм виконано з використанням гідроприводу.



Рисунок 2.10. Механізм позиціонування дискового типу

До складу корегуючого механізму входить блок керування, кронштейн кріплення виконавчого механізму гідроциліндра відносно стійки з диском. В більшості випадків такі механізми використовуються з малогабаритними навісними сільськогосподарськими машинами, що пов'язано з незначним зусиллям, яке розвиває диск для корегування положення робочих органів.

Найсучасніша система позиціонування активних робочих органів та керування їх роботою розроблена компанією Garford (Великобританія) [23], яка

отримала назву Robocrop. Робота над створенням такої системи виконувалася з 1993 року і перший комерційний зразок (2.11) було продемонстровано на виставці сільськогосподарської техніки в 2007 році в місті Гановер (Німеччина).

Завдяки поєднанню сенсорних технологій, сучасних систем «інтернет речей» та навігаційних систем машина забезпечує досить точне розпізнавання кожної рослини на рядку та задає таку частоту обертання робочого органу, що унеможливорює пошкодження культурних рослин. В якості машинного зору використовується сенсорна камера Kalman, яка разом із інтелектуальним блоком та хмарним середовищем забезпечує чітке розпізнавання рослин в рядку. Використання даного типу машин дозволяє відмовитися від використання гербіцидів для боротьби з бур'янами завдяки обробки робочими органами до 98% загальної площі поля .



Рис. 2.11. Система позиціонування Robocrop

Система дозволяє зменшити навантаження на водія зарахунок автоматичного корегування робочих органів відносно рядків. Основним недоліком такої системи є її ціна.

2.4 Висновки

1. Підвищення ефективності точного землеробства вимагає розвитку технологій точного позиціонування, які дозволяють знизити витрати і підвищити продуктивність за рахунок точного внесення добрив, засобів захисту рослин, насіннєвого матеріалу та управління технікою без перекриттів і пропусків.

2. На даний час існує ряд технологій точного землеробства, що включають системи паралельного водіння, GPS-навігацію, технології IoT та моніторинг стану ґрунтів і рослин. Це дозволяє автоматизувати процеси обробки сільськогосподарських культур і знижувати людський фактор.

3. Системи позиціонування сільськогосподарських машин постійно удосконалюються. Розглянуті системи, такі як автоматичне водіння, механізми коригування траєкторії за допомогою датчиків та GPS, забезпечують високу точність і ефективність виконання технологічних операцій на великих площах.

3. Основною проблемою є точність позиціонування робочих органів через ущільнення ґрунту ходовими системами машин, що може призводити до зміщення та втрат. Проте автоматизовані системи водіння і коригування руху техніки дозволяють зменшити ці негативні ефекти, а також покращити енергетичні показники, знизити витрати пального, матеріалів і часу.

4. Перспективними є подальші розробки у напрямку поліпшення системи водіння, застосування роботизованих технологій, сенсорних камер для точного виявлення рослин, а також інтелектуальних блоків для поліпшення розпізнавання і коригування руху сільськогосподарських машин.

Розділ 3. КОНСТРУКТИВНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1 Теоретичні та експлуатаційні передумови розробки механізму позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин

Отже згідно проведеного аналізу в попередньому розділі в рахувавши переваги та недоліки кожного із способів позиціонування робочих органів в якості пілотного проекту розробимо механізм для точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин при роботі в агрегаті з універсально-просапним трактором ЮМЗ-8040.

Перш ніж розробити механізм для точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин розглянемо теоретичні та експлуатаційні передумови, які необхідно врахувати при виборі та розрахунку значення його конструктивно-технологічних параметрів. Також необхідно врахувати фактори безпеки експлуатації запропонованого механізму [24-26].

Отже механізм для точного позиціонування робочих органів з урахуванням проведеного аналізу, особливостей експлуатації та безпеки обираємо трапецієподібної форми. Дана форма зменшує закриті небезпечні зони в які може потрапити обслуговуючий персонал, також за даної форми зменшується металоємкість конструкції. Особливістю механізму є те що він являється проміжною ланкою між навісним механізмом трактора до якого він кріпиться в трьох точках та знаряддям, яке з ним агрегатується та керується.

Розглянемо основні моменти коли виникає зміщення машино-тракторного агрегату в міжрядді чи відносно рядків [27]. В першому випадку це може статися при сповзанні агрегату викликаного нерівністю поверхні та зміною тягового опору на робочих органах знаряддя. Під час руху машино-тракторного агрегату робочі органи постійно контактують з ґрунтом показники щільності якого постійно різняться. Так зона проходження рушіїв по ґрунту матиме підвищене значення щільності в порівнянні з іншими ділянками, що і викликатиме зростання опору на робочих органах знарядь на цих ділянках.

Розрахунок зміщення в одну із сторін для даного випадку визначимо за формулою:

$$\delta_1 = \frac{B_m - (2 \cdot \delta_3 + B_k)}{2} = \frac{70 - (2 \cdot 5 + 35)}{2} = 12,5 \text{ см} \quad (3.1)$$

де B_m – ширина міжряддя, см;

B_k – ширина ведучого колеса трактора, см для трактора ЮМЗ-8040 відповідно 35 см;

δ_3 – ширина захисної зони згідно агрономіч. 5 см.

Отже під час руху машино-тракторного агрегату на швидкості враховуючи, що зміщення агрегату перевищує показники захисної зони робочі органи можуть зайти в рядок та знищити культурні рослини. Вирішити дану проблему можливо шляхом автоматичного корегування положення робочих органів відносно рядків.

В другому випадку зміщення робочих органів може статися після виконання маневру машино-тракторним агрегатом для стабілізації його зміщення для цього тракторист змінюючи положення напрямних коліс виконує коливальні рухи відносно рядків (рис. 3.1). В такій ситуації робочі органи знарядь також повторюють коливальні рухи, що викликає їх зміщення в бік рядків.

Розрахунок зміщення в одну із сторін для даного випадку визначимо за формулою:

$$\delta_2 = l \sin \varphi_{\Pi} - 2l \sin^2 \frac{\varphi}{2} \operatorname{ctg} \gamma, \quad (3.2)$$

де l – значення відстані від робочих органів знаряддя до вісі розміщення задніх коліс трактора, м;

φ_{Π} – значення кута повороту робочих органів знаряддя при відхиленні від прямолінійного руху, град.;

γ – значення кута нахилу радіуса повороту робочих органів відносно задньої ведучої вісі трактора, град.

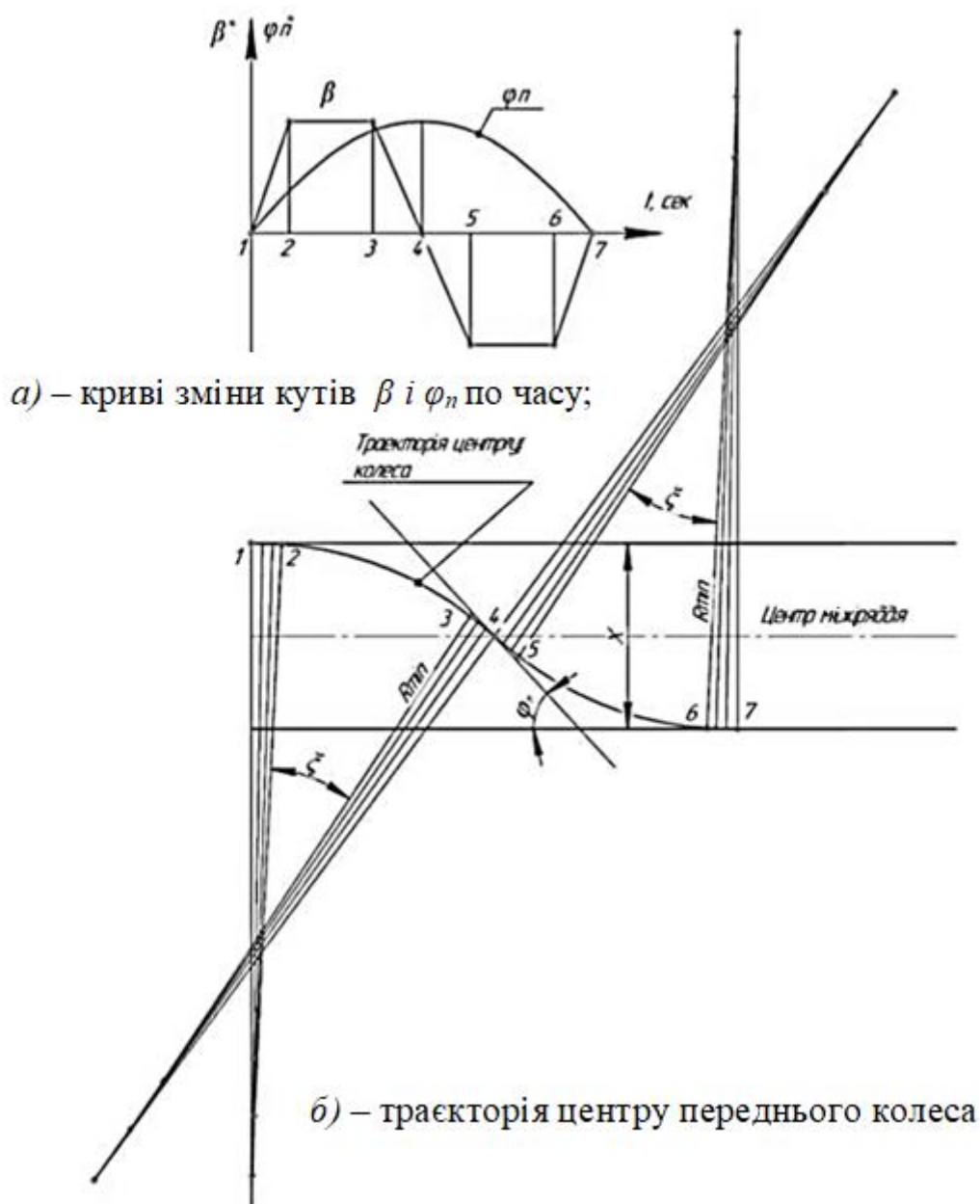


Рис. 3.1 Стабілізація курсу маневруванням машино-тракторного агрегату

Особливості повороту машино-трактор агрегату в умовах міжряддя графічно представлено на рисунку 3.1. Маневрування виконується шляхом зміни положення напрямних коліс. Даний процес описаний законом зміни кута повороту напрямних коліс [28] на який впливають як конструктивні фактори так і навички тракториста.

Для розгляду процесу зміщення робочих органів приймемо наступні умови:

1. Напрямні колеса обертаються рівномірно, тобто $\beta = \phi(t)$.

2. Мінімальний радіус повороту універсально-просапного трактора не повинен перевищувати 20 м.

Згідно рисунка 3.1 розглянемо основні ключові точки і розпочнемо з точки 1 до 2 де рух колеса відбувається за рахунок повороту вісі шворня. Поворот колеса на відрізкові 2 до точки 3 здійснюється без повороту шворня за постійного радіуса повороту. В точці 3 відбувається зміна напрямку повороту.

Для інформативності розглянемо два випадки.

В першому випадку кут $\xi = 0$, і другий випадок коли кут $\xi \neq 0$.

За першого випадку в точках 1-3 поворот здійснюється зміщенням напрямного колеса разом з поворотом шворня.

За другого випадку розглядаємо рух машино-тракторного агрегату на швидкості близько $V = 1,6 \text{ м/с}$, що відповідає швидкостям на виконанні технологічних операцій по догляду за культурами.

Визначимо значення мінімального радіуса повороту в різних точках маневрування для машино-тракторного агрегату в складі якого використовується трактор ЮМЗ-8040 за рівняннями:

$$R_{\min} = \sqrt{L^2 + (R - 0.5B)^2}. \quad (3.3)$$

$$\sin \beta = \frac{L}{\sqrt{L^2 + (R - 0.5B)^2}} = \frac{L}{R'_{\min}}, \quad (3.4)$$

$$R'_{\min} = \frac{L}{\sin \beta}. \quad (3.5)$$

де R – радіус повороту точки O трактора, м;

L і B відповідно величина повздовжньої та поперечної бази трактора, м.

Для виконання розрахунку приймаємо, що мінімально конструктивний радіус розвороту трактора в умовах міжряддя становить $R'_{\min} = 17,25 \text{ м}$, повздовжня база трактора $L=2,45 \text{ м}$ а поперечна база $B=1,8 \text{ м}$.

Тоді значення кута β знайдемо за виразом 3.4:

$$\sin \beta = \frac{L}{R'_{min}} = \frac{2,45}{17,25} = 0,142; \beta \approx 8^\circ.$$

Результати розрахунків мінімального радіусу для різних точок виконання маневру зі зміною кута β на 1 градус:

$$R'_1 = 156,5 \text{ м}; R'_2 = 77,6 \text{ м}; R'_3 = 51,9 \text{ м}; R'_4 = 39,1 \text{ м}; R'_5 = 30,6 \text{ м}; R'_6 = 25,3 \text{ м}; \\ R'_7 = 21,6 \text{ м}; R'_8 = 17,25 \text{ м}.$$

Значення кутової швидкості машино-тракторного агрегату визначимо за формулою:

$$V = \omega \cdot R, \text{ м / с} \quad (3.6)$$

$$\text{тоді:} \quad \omega = \frac{V}{R}, \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1} \quad (3.7)$$

де ω – кутова швидкість агрегату, $\text{рад} \cdot \text{с}^{-1}$.

Максимально допустиме поперечне зміщення колеса визначимо за формулою:

$$\delta = B_m - (B_p + B_k), \text{ м} \quad (3.8)$$

де B_p – ширина рядка, м. Для прикладу розглянемо ширину рядка картоплі $B_p = 0,25 \text{ м}$;

B_k – ширину колеса згідно технічної характеристики трактора ЮМЗ-8040 приймаємо $0,35 \text{ м}$,

$$\text{тоді } \delta = 0,7 - (0,25 + 0,35) = 0,1 \text{ м}$$

Бічне зміщення точки O центра задньої вісі трактора позначимо, як $[\Delta S]$ а бічне зміщення відповідно вісі повороту напрямного колеса трактора C , як ΔS , (рис. 3.2).

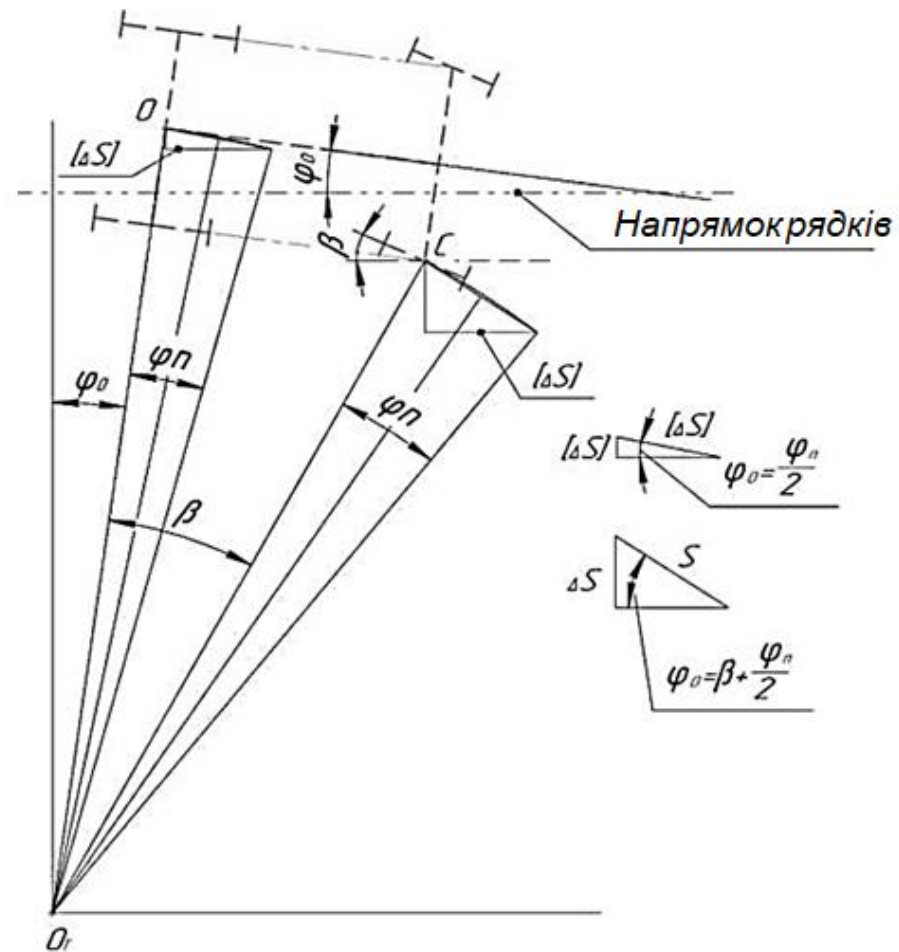


Рис.3.2. Схема зміщення передньої та задньої частини трактора відносно вісі рядка

Сумарне зміщення агрегату визначимо за рівнянням:

$$\Sigma \Delta S = LVt \left[\frac{2R_1 + Vt \cot \beta_1}{R_1^2} + \frac{1 + \frac{Vt}{R_1} \cdot A_1 \cot \beta_2}{R_2} + \frac{1 + \frac{Vt}{R_1} \cdot A_2 \cot \beta_3}{R_3} + \dots + \frac{1 + \frac{Vt}{R_1} \cdot A_{n-1} \cot \beta_n}{R_n} \right] \quad (3.9)$$

де t – час проходження елементарного відрізка ділянки, с.

Виконавши математичні перетворення остаточно рівняння отримає вигляд:

$$\Sigma[\Delta S] = \frac{(Vt)^2}{R^1} \left[\frac{1}{2} + A_1 + A_2 + \dots + A_{n-1} \right] \quad (3.10)$$

Де А – коефіцієнт, що враховує інтенсивність або характер похибки (наприклад, нестабільність курсу, зміни напрямку коліс тощо).

Для виконання розрахунків приймаємо бічне зміщення $\Sigma \Delta S = 1/4 \cdot \delta = \frac{1 \cdot 0,1}{4} 0,025 м$, час проходження одного відрізка ділянки з урахуванням прийнятої швидкості становитиме $t = 0,03 сек$.

Тоді загальний час проходження восьми точок виконання маневру становитиме:

$$T = t \cdot n = 0,03 \cdot 8 = 0,24 сек.$$

Розрахуємо кут нахилу вісі трактора по відношенню до вісі міжрядь φ_{n1} відрізок точки 1 та точки 2:

$$\sin \varphi_{n1} = \frac{Vt}{R_1} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_3} + \dots + \frac{R_1}{R_n} \right), \quad (3.11)$$

Підставимо часу t та радіуси отримаємо значення кута нахилу вісі $\varphi_{n1} = 1^\circ 02'$

Значення кута на відріжку 3-4 (при $\xi = 0$) визначимо за рівнянням:

$$\sin \varphi_{n1} = \frac{Vt}{R_n} \left(1 + \frac{R_8}{R_{n-1}} + \frac{R_8}{R_{n-2}} + \dots + \frac{R_8}{R_{n-(n-1)}} \right), \quad (3.12)$$

Згідно рівняння 3.12 значення кута для відрізка 3-4 становитиме $\varphi_{n2} = 1^\circ 06'$ А загальний кут нахилу вісі становитиме:

$$\varphi_n = \varphi_{n1} + \varphi_{n2} = 2^\circ 08'$$

Бічне зміщення точки О на відрізкові 1-4 зі змінним радіусом повороту за рівнянням 3.10 може коливатися від мінімального значення в 6 мм до

максимального значення в 12 мм (рис. 3.3). При виконанні посіву, ґрунтообробних операцій з використанням культиваторів на прополюванні чи розпушуванні міжрядь.

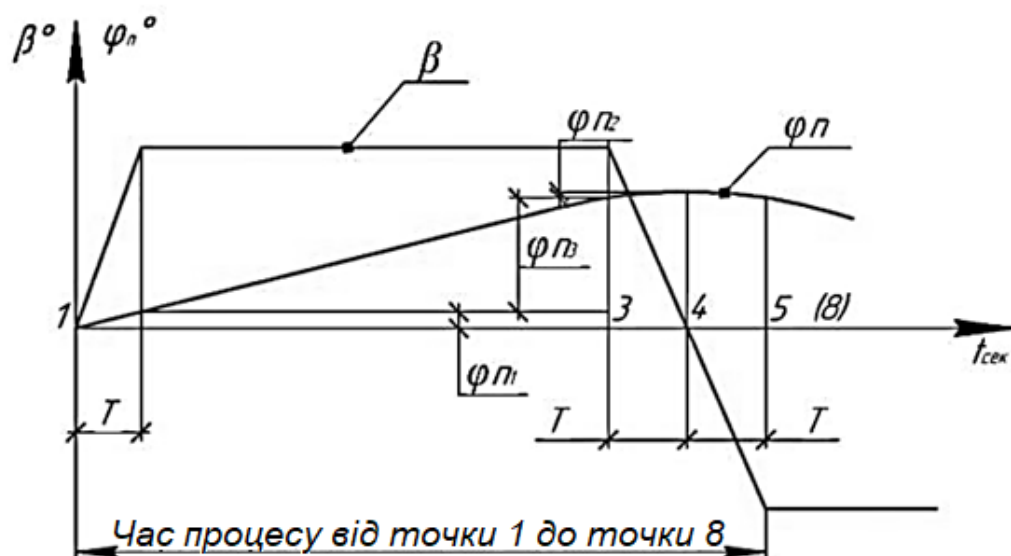


Рис. 3.3. Особливості руху трактора із змінним радіусом повороту напрямних коліс

. В таблиці 3.1 наведено результати розрахунку зміщення трактора відносно вісі міжрядь (рядків) для трьох найбільш поширених варіантів значення кута φ_n .

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку зміщення трактора від вісі міжрядь

№ варіанту	Показники	
	$\varphi_n, ^\circ$	$\sum [\Delta S], \text{ мм}$
1	$2^\circ 08'$	10
2	$3^\circ 53'$	6
3	$4^\circ 32'$	12

Для розрахунку бічного зміщення робочих органів агрегату використаємо рівняння [29]:

$$\delta_p = l \sin \varphi_{\Pi} - 2l \cdot \sin^2 \frac{\varphi}{2} \operatorname{ctg} \gamma \quad (3.13)$$

$$\operatorname{ctg} \gamma = \frac{R_{\min} + 0.5B}{l} \quad (3.14)$$

Результати розрахунку для машино-тракторного агрегату в складі трактора ЮМЗ-8040 і пропюльовального культиватора КРН-5,6 представлено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Бокове зміщення робочих органів агрегату

№ варіанту	Кут відхилення вісі трактора від вісі міжряддя, град	Бокове зміщення робочих органів, мм
	φ_{Π}	δ_p
1	2°08'	126
2	3°53'	65
3	4°32'	153

Отримані результати теоретичних розрахунків підтверджують припущення висунуті на початку розділу що зміщення агрегату перевищує показники захисної зони вирощуваних культур тобто робочі органи можуть зайти в рядок та пошкодити культури що призведе до їх загибелі а відповідно до зниження ефективності механізованого процесу догляду за культурами. Тому питання вирішення даної проблеми являється актуальним і вирішити його можливо шляхом автоматичного корегування положення робочих органів відносно рядків чи міжрядь.

3.2 Розробка механізму для точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин

Врахувавши проведений аналіз механізмів для позиціонування робочих органів знарядь та теоретичні положення зміщення робочих органів розроблено конструкцію механізму для точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин (рис. 3.4) при агрегування з універсально-просапними тракторами. Запропонована конструкція механізму дозволить в автоматичному режимі виконувати коригування робочих органів відносно рядків або міжрядь в залежності від технологічної операції посіву чи механічного обробітку ґрунту.

Механізм надійно кріпиться до трьохточкової навіски універсально-просапного трактора. В верхній частині за допомогою кронштейна 9 а в нижній частині за допомогою приєднувальних пальців 19 з валом 17 зафіксованою в замках 6 на внутрішній рамці 1 механізму позиціонування. Зміщення зовнішньої рамки 2 відносно внутрішньої 1 відбувається за допомогою гідроциліндра 5 керування яким здійснює блок мехатронної системи механізму позиціонування (рис. 3.5). Разом з рамкою 2 відбувається зміщення знаряддя закріпленого на ній за допомогою навісних крюків 10 та верхнього кронштейна 13. Керування напіваавтоматичними крюками здійснюється за допомогою важеля 11 та вісі 12. Зміщення рамок відбувається по циліндричним напрямним 3 та 4. Безпечне агрегування механізму з трактором виконується завдяки використанню напіваавтоматичних гаків 6 з важелем керування 7 та віссю 8.

Використання підставок 15 з разом з напрямними 14 спрощує процес агрегування механізму з навісним механізмом трактора. Використовуючи кронштейн 15 відбувається агрегування причіпних сільськогосподарських машин з трактором.

Для забезпечення безпеки при транспортуванні знаряддя на розробленому механізмі позиціонування виконується блокування знаряддя в транспортному режимі за допомогою фіксаторів 16, що фіксують зовнішню та внутрішню рамки між собою.

Для забезпечення точного положення робочих органів в міжрядді (рядку) згідно лінії курсу руху машино-тракторного агрегату розроблено мехатронну систему керування положенням навісного знаряддя та напрямних коліс трактора (рис. 3.5).

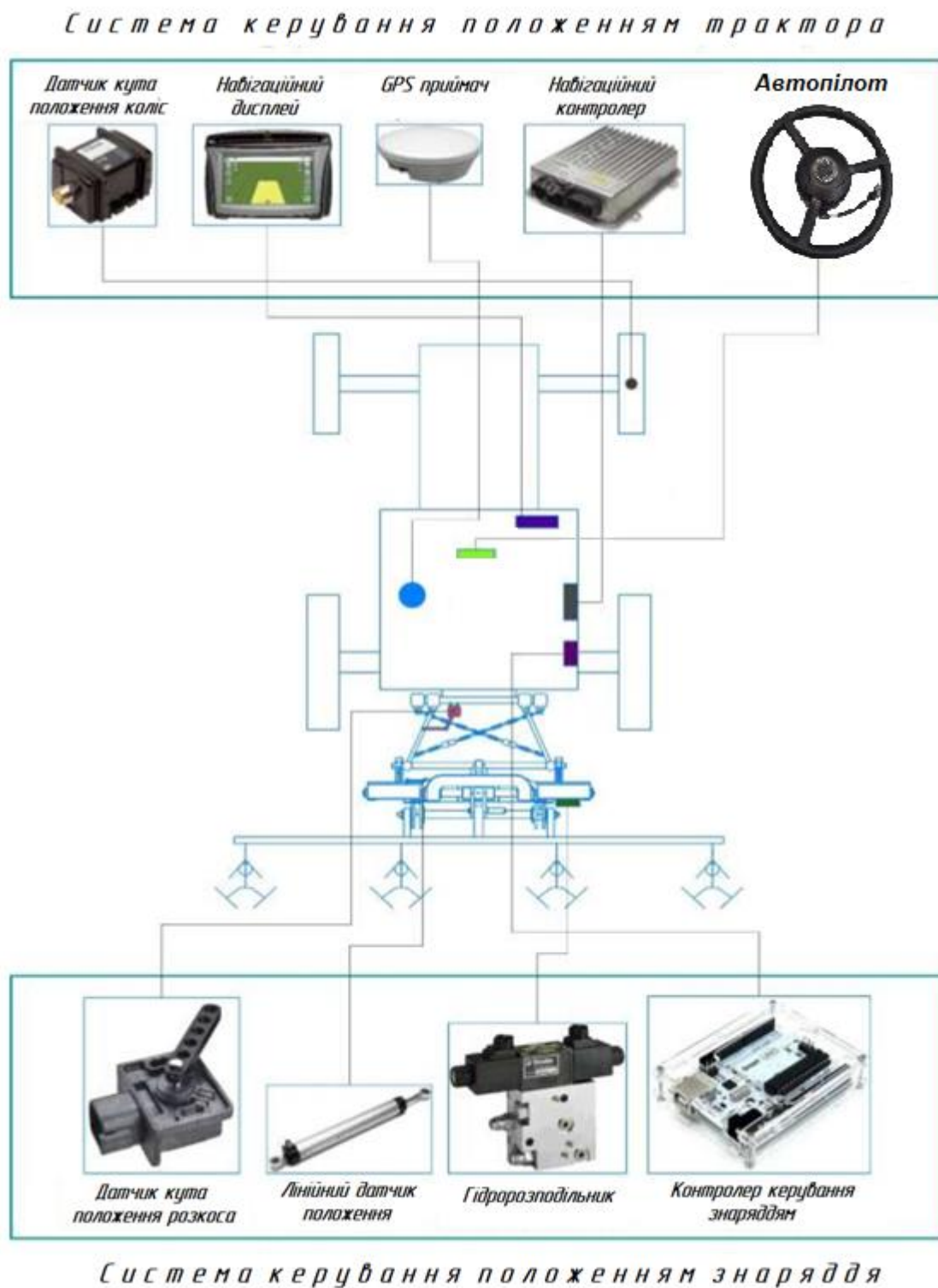


Рис. 3.5. Конструктивна схема механізму позиціонування

Основними складовими системи є навігаційний модуль «NXouvriers», модуль керування положенням напрямних коліс, модуль керування положенням робочих органів знаряддя та виконавчі механізми.

До складу навігаційний модуля, входить GPS приймач, RTK станція, контролер та дисплей та датчик положення напрямних коліс.

Модуль керування положенням робочих органів знаряддя складається з блока керування розробленого на базі мікроконтролера ESP32, електрогідравлічного розподільника, лінійного датчика контролю зміщення робочих органів знаряддя та датчика кута положення розкоса. В якості виконавчого механізму використовуємо гідроциліндр двосторонньої дії ЦГ 50.30x250 з зусиллям на штокові 2500 кг. Використання RTK станції дозволяє забезпечити точність визначення координат положення машино-тракторного агрегату до 2,5 см [30].

Під час роботи машино-тракторного агрегату постійно відбувається передача даних з навігаційного модуля на модуль керування положенням напрямних коліс та модуль керування положенням робочих органів. Відповідно відбувається аналіз координат та коригування курсу машино-тракторного агрегату за допомогою виконавчих механізмів рульового підрулювача (автопілота) та гідроциліндра механізму позиціонування робочих органів знаряддя. Необхідне зміщення робочих органів забезпечується за допомогою команд, що надходять від контролера ESP32 на електрогідравлічний розподільник за допомогою якого розподіляється рідина в ту чи іншу порожнину виконавчого пристрою гідроциліндра зміщуючи знаряддя з робочими органами.

Більш детально алгоритм роботи основних складових мехатронної системи механізму позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин наведено на рисунку 3.6

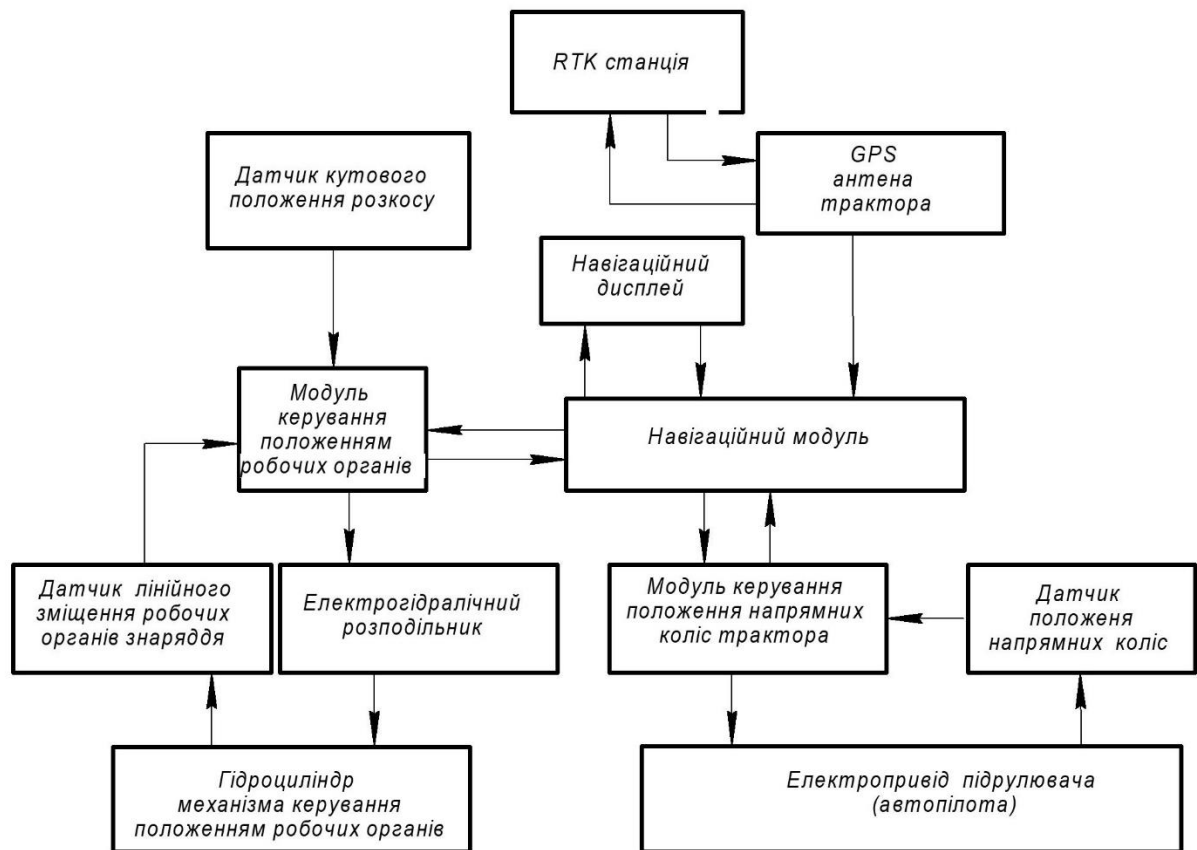


Рис. 3.6 Структурна схема мехатронної системи

3.3. Конструктивні розрахунки основних складових механізму позиціонування

Розрахунок довжини зовнішньої рамки (рис. 3.4) виконуємо за формулою:

$$D_{3.P.} = D_{B.P.} + S + 2B = 0,72 + 0,25 + 2 \cdot 0,05 = 1,07 \text{ м}, \quad (3.15)$$

де $D_{B.P.}$ – довжина внутрішньої рамки механізму позиціонування, м;

B – значення ширини профілю ребра зовнішньої рамки, м згідно додатку Б;

S – значення ходу штока гідравлічного циліндра, м згідно додатку Б.

Розрахунок висоти $B_{з.р.}$ зовнішньої рамки механізму позиціонування виконуємо за формулою:

$$B_{з.р.} = B_{б.р.} + l = 0,60 + 0,1 = 0,70 \text{ м}, \quad (3.16)$$

де $B_{б.р.}$ – висота рамки механізму позиціонування ;

l – значення відстані від вісі нижнього валу ковзання рамки до нижнього бруса зов. рамки, згідно додатку Б.

Значення ширини механізму позиціонування визначимо за рівнянням:

$$Ш_{м} = H_1 + H_2 + H = 0,067 + 0,067 + 0,21 = 0,344 \text{ м}, \quad (3.17)$$

де H – значення відстані між напівавтоматичними крюками, м згідно додатку Б;

H_1, H_2 – значення відстані від вісі крюка до його захвату, згідно додатку Б.

Для надійного з'єднання верхнього кронштейна механізму позиціонування з сільськогосподарськими машинами повинна виконуватися умова $R_1' \geq 0,06 \text{ м}$;

де R_1' – вільний приєднувальний простір кронштейна.

Використання приєднувального валу 17 (рис. 3.4) дозволяє прискорити процес агрегування з використанням напівавтоматичних крюків 6.

Значення довжини приєднувального вала визначимо за рівнянням:

$$Дв = N + 2t_2 + 2d_3 = 0,60 + 2 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,006 = 0,724 \text{ м}, \quad (3.18)$$

Де N – довжина основи вала, м згідно додатку Б;

t_2 – довжина приєднувальних пальців вала, м згідно додатку Б;

d_3 – діаметр отвору під , м згідно додатку Б.

Проектування точок кріплення механізму до трактора виконуємо з урахуванням стандарту [24].

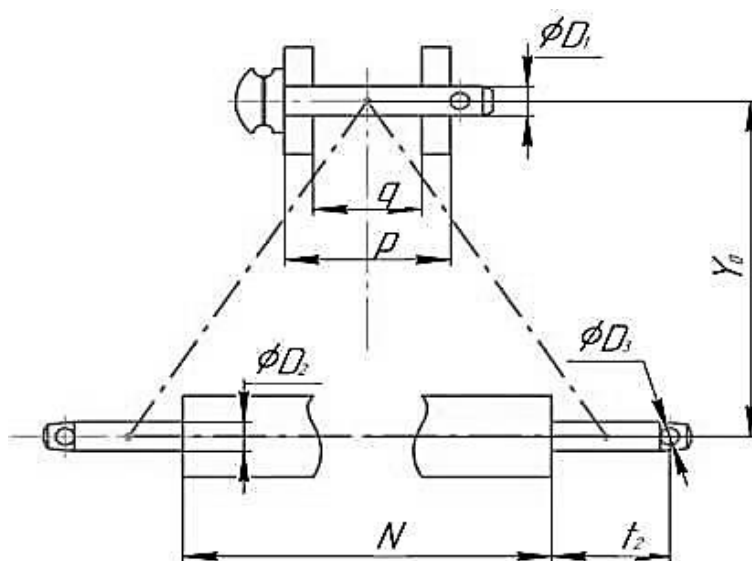


Рис. 3.7. Розміри приєднувальних елементів удосконаленого навісного механізму

Згідно розробленої схеми та за результатами проведених розрахунків отримано основні параметри механізму позиціонування робочих органів знарядь та обрано стандартне обладнання гідроприводу механізму (табл. 3.3) (додатки В та Г).

Таблиця 3.3 – Технічна характеристика механізму позиціонування

Показник	Значення
1	2
Агрегаткування	Трактори з тяговим зусиллям 9-14 кН
Габаритні розміри механізму (ДхШхВ), мм	1007х334х700
Відстань між точками приєднувального трикутника з боку знаряддя, мм	600
Максимальне зміщення робочих органів знарядь, м.	0,250

Продовження табл. 3.3

1	2
Маса механізму позиціонування, кг	120
Гідроциліндр двосторонньої дії	ЦГ 50.30x250, зусилля на штокові 2500 кг
Електрогідророзподільник	Yuken DSG-01 Тиск до 20 МПа Витрата 25 л/хв Напруга живлення 12В
Блок керування механізмом	Мікроконтролер ESP32
Навігаційна система	NXouvriers

3.4 Розрахунок на міцність гідропроводів

В запропонованій розробці використано гідравлічний привід в якості основного виконавчого механізму. Найбільш вразливими елементами гідроприводу являються гідропроводи. Тому для забезпечення надійності їх роботи проведемо розрахунок на їх міцність.

В приводі використовуються гнучкі гідропроводи (рукави) за стандартом EN 853 діаметром $DN = 12 \text{ мм}$ тиск робочої рідини $P_{роб} = 20 \text{ МПа}$, тиск на розрив для типу рукавів типу 2SN $P_{роз} = 110 \text{ МПа}$, температура робочої рідини $t = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Товщина стінки рукава типу 2SN $\delta = 3,6 \text{ мм}$. Корозійний вплив на приєднувальну арматуру $\Pi = 0,01 \text{ мм/рік}$. Термін експлуатації до 10 років. Розрахунки виконуємо з використанням загальноприйнятих методик [31].

Розрахунок напруження у стінці рукава при температурі навколишнього середовища виконаємо за формулою:

$$\sigma_{20} = \frac{P_{роб} \cdot d_{вн}}{2 \cdot \delta} = \frac{20 \cdot 0,012}{2 \cdot 0,0036} = 33,3 \text{ МПа} \quad (3.19)$$

де δ – товщина стінки, 0,0036 м.

Для розрахунку напруження з урахуванням робочої температури рідини визначимо з урахуванням температурного коефіцієнта використавши метод лінійної інтерполяції:

$$A_t = 0,9 + \frac{0,75 - 0,9}{90 - 50} (70 - 50) = 0,825 \quad (3.20)$$

де 0,75 – показники температурного коефіцієнта при температурі 90 °С

0,9 показники температурного коефіцієнта при температурі 70 °С.

Тоді напруження у стінці рукава при температурі 70 °С визначимо за формулою:

$$\sigma = \sigma_{20} \cdot A_t = 0,825 \cdot 33,3 = 27,47 \text{ МПа} \quad (3.21)$$

Розрахунок допустимого тиску $P_{дон}$ в рукавах:

$$P_{дон} = P_{роб} \cdot n = 20 \cdot 4 = 80 \text{ МПа} \quad (3.22)$$

де n – кратність запасу міцності, приймаємо 4.

Отже умова міцності виконується:

$$P_{роз} \succ P_{роб} \quad 110 \text{ МПа} > 80 \text{ МПа}$$

3.5 Розрахунок на міцність напрямних механізму позиціонування

Розрахунок на міцність верхньої та нижньої напрямних виконаємо з використанням програмного середовища SolidWorks. В якості напрямних в механізмі використано циліндричні труби діаметром 36 мм виготовлені з сталі 40Х. Використання даного матеріалу дозволяє забезпечити надійну та тривалу роботу механізму. Розрахунки проводимо за навантаження на механізмі 20 кН. Графічне зображення результатів розрахунку представлено на рисунку 3.8.

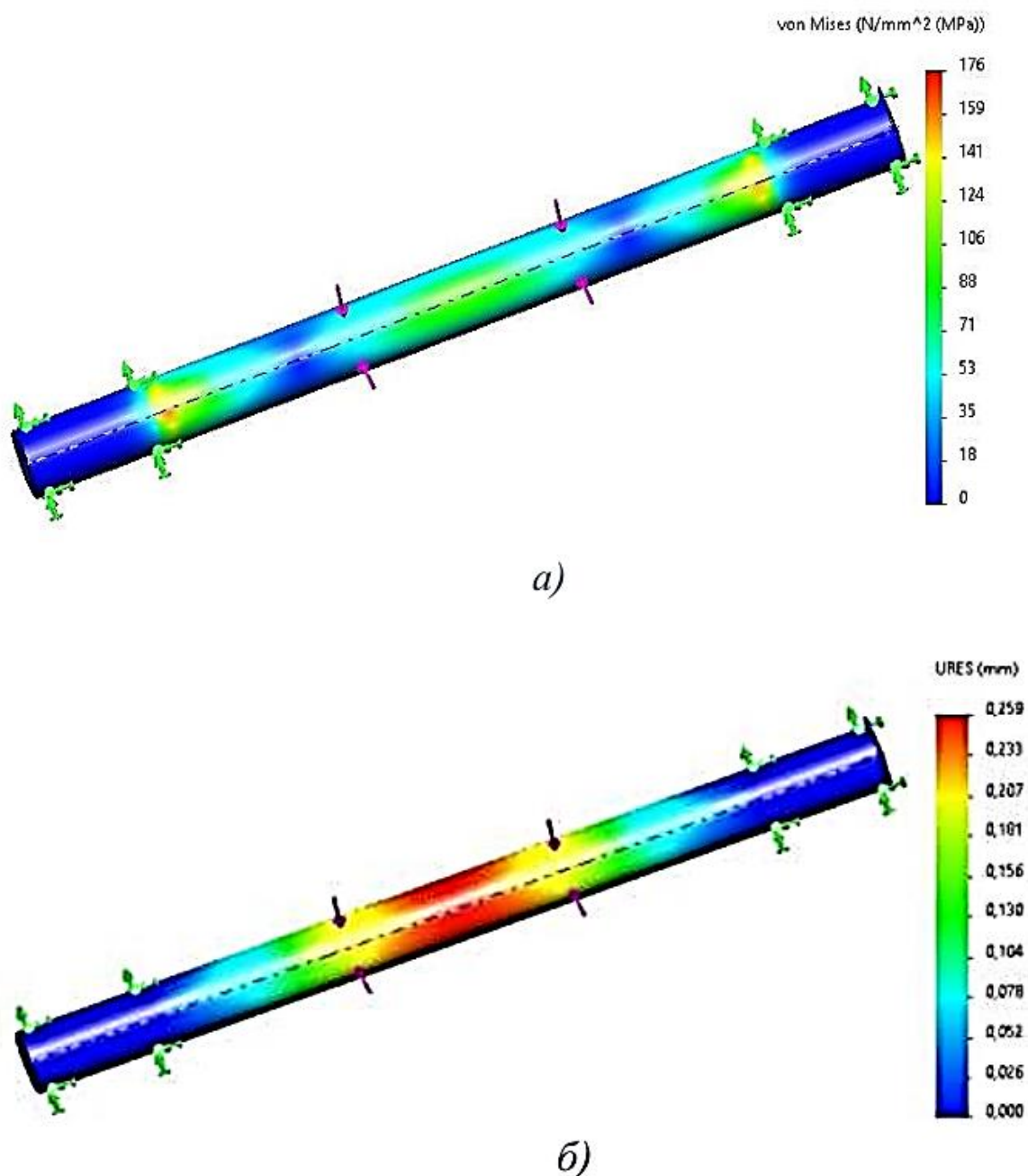


Рис. 3.8. Розрахунок напружень а) та відхилення напрямних

Розрахунки виконано при максимальних напруженнях, що відповідають значенням початку текучості матеріалу. Максимальне зміщення склало 0,26 мм, що відповідає допустимим значенням для експлуатації механізму протягом 10 років.

3.6 Висновки

1. Обґрунтовано необхідність розробки та впровадження механізму точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин при агрегуванні з універсально-просапними тракторами, зокрема ЮМЗ-8040. Проведено теоретичний аналіз причин зміщення агрегатів у міжряддях, який підтвердив, що при певних кутах відхилення вісі руху робочі органи виходять за межі захисної зони, що призводить до пошкодження культурних рослин.

2. Для усунення цього недоліку було розроблено механізм позиціонування трапецієподібної форми, який виконує роль проміжної ланки між трьохточковою навіскою трактора та сільськогосподарським знаряддям. Така форма конструкції забезпечує зменшення небезпечних зон обслуговування, знижує масу механізму та дозволяє надійно передавати зусилля без деформацій.

3. Запропонована мехатронна система управління, яка включає навігаційний модуль, блок керування положенням знаряддя та електрогідравлічний привід, дозволяє автоматично здійснювати точне керування положенням робочих органів відповідно до поточного курсу руху агрегату. Система забезпечує взаємодію з електронною навігацією та підтримує точність позиціонування на рівні до 2,5 см завдяки використанню РТК-корекції.

4. Проведено розрахунки геометричних параметрів основних складових механізму. Для кожного елемента визначено оптимальні розміри, які відповідають вимогам міцності, зручності агрегування та функціонального призначення.

Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Аналіз стану з охорони праці в господарстві

Фермерське господарство "Хобота В.Д." функціонує відповідно до вимог законодавства України [32, 33] в сфері охорони праці та забезпечує належний рівень безпеки для працівників під час виконання сільськогосподарських робіт. Загалом стан охорони праці в господарстві можна оцінити як задовільний, однак окремі аспекти потребують подальшого удосконалення.

У господарстві функціонує служба охорони праці, яка здійснює організацію та контроль за дотриманням норм безпеки. Всі працівники перед початком роботи проходять вступний інструктаж, а також періодичні повторні інструктажі, особливо в період сезону інтенсивних робіт. Також забезпечується регулярне медичне обстеження, зокрема для трактористів-машиністів та працівників, що працюють із хімічними речовинами.

Матеріально-технічна база для виконання робіт є достатньою: приміщення для обслуговування техніки оснащені засобами захисту, пожежогасіння, витяжною вентиляцією. Зберігання ПММ організовано на спеціально облаштованому майданчику з дотриманням протипожежних та екологічних вимог. При обслуговуванні машин застосовуються підймальні механізми, що дозволяє зменшити фізичне навантаження на працівників.

Разом з тим, виявлено низку факторів ризику, що потенційно можуть призводити до нещасних випадків:

- підвищене навантаження на оператора під час тривалої роботи у полі;
- ризики при використанні застарілої техніки;
- відсутність автоматизованих систем попередження небезпек;
- наявність відкритих обертових частин у деяких агрегатів.



Рис. 4.1 Основні фактори ризику

З огляду на це, в господарстві ведеться робота з оновлення парку машин, зокрема впровадження механізованих і автоматизованих технологій, що дозволяє не лише зменшити трудомісткість робіт, а й покращити умови праці.

4.2 Заходи по поліпшенню умов праці в господарстві

Для покращення умов праці в господарстві передбачено низку організаційно-технічних заходів. Насамперед це впровадження сучасних механізмів і техніки з підвищеним рівнем автоматизації, зниження вібраційного та шумового навантаження на оператора, зменшення контакту людини з агресивними речовинами та пилом.

До основних заходів належать:

- впровадження кондиціонованих кабін із системами шумо- і віброізоляції;
- заміна морально застарілої техніки з високим рівнем шуму та викидів на сучасні трактори з екологічними стандартами;

- встановлення сенсорних систем контролю положення робочих органів, які зменшують навантаження на водія;
- організація місць відпочинку та забезпечення питною водою під час польових робіт;
- систематичне навчання працівників безпечному користуванню технікою, використанню ЗІЗ (засобів індивідуального захисту);
- регулярна технічна діагностика та профілактичне обслуговування обладнання.

Також у господарстві поступово впроваджуються цифрові технології обліку часу роботи техніки та її стану, що дозволяє своєчасно виявляти несправності й попереджати аварійні ситуації.

4.3 Заходи з охорони праці при експлуатації розробленого механізму для точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин

Впровадження механізму точного позиціонування передбачає нові умови роботи машинно-тракторного агрегату, що вимагає адаптації заходів з охорони праці до нових умов експлуатації. Головним завданням є забезпечення безпеки оператора та технічного персоналу при обслуговуванні механізму і запобігання аварійним ситуаціям.

До основних ризиків при експлуатації механізму належать:

- защемлення кінцівок у місцях з'єднання вузлів при монтажі чи регулюванні;
- підвищене психофізичне навантаження при керуванні системою в разі її несправності;
- ризики від контакту з гідравлічною рідиною при обслуговуванні виконавчих приводів.

Для забезпечення безпечної експлуатації запропоновано такі заходи:

- конструктивне екранування рухомих частин і вузлів;
- використання світлової та звукової індикації помилок роботи системи;
- автоматичне блокування роботи в разі виходу параметрів за допустимі межі;
- встановлення вимикача аварійного зупинення агрегату;
- навчання операторів основам безпечної роботи з мехатронними системами.



Рис. 4.2. Заходи для безпечної експлуатації механізму

У конструкції передбачено ергономічне розташування органів керування, а також застосування інтелектуального блоку діагностики, що мінімізує участь людини в процесі керування та знижує ризик помилкових дій.

4.4 Захист навколишнього середовища при експлуатації механізму

Розробка та впровадження механізму позиціонування має також екологічну складову, оскільки точність виконання технологічних операцій

дозволяє знизити обсяги використання агрохімікатів, запобігти механічному пошкодженню рослин та ущільненню ґрунту.

Завдяки точному дотриманню міжряддя й виключенню перекриттів і пропусків, забезпечується:

- зменшення площі обробки, що несе пряму економію пального;
- зниження кількості гербіцидів та добрив, що потрапляють у ґрунт;
- скорочення кількості проходів техніки по полю, що зменшує ерозію та ущільнення ґрунту;
- підвищення врожайності без зростання площ землекористування.

Механізм не генерує додаткових шкідливих викидів, а у складі гідравлічної системи використовуються рідини з класом біологічної безпеки. Його застосування є прикладом інтегрованого підходу до сталого сільськогосподарського виробництва, де ефективність поєднується з екологічною відповідальністю.

4.5 Висновки

В господарстві "Хобота В.Д." дотримуються базових вимог охорони праці, однак є резерви для покращення умов, зокрема за рахунок автоматизації та модернізації техніки.

Використання механізму точного позиціонування дозволяє суттєво знизити ризики, пов'язані з фізичними та психоемоційними навантаженнями на оператора. Конструкція механізму враховує вимоги технічної безпеки, надійно ізолює небезпечні вузли, а система керування забезпечує стабільну роботу в автоматичному режимі. Впровадження механізму сприяє зменшенню техногенного навантаження на довкілля та підвищує ефективність використання ресурсів.

Розділ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ

5.1 Розрахунок техніко-економічних показників проекту

Для встановлення ефективності виконаємо оцінку впровадження розробленого навісного механізму точного позиціонування НМП. Для цього скористаємося методикою порівняльного аналізу витрат і результатів, що забезпечує обґрунтованість прийняття рішень щодо впровадження нової техніки. Розрахунки виконаємо на підставі вихідних даних щодо витрат на виготовлення, експлуатацію та очікуваний економічний ефект від приросту врожайності. Результати розрахунків витрат на виробництво НМП представлено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Затрати на виробництво НМП

Затрати пов'язані з виготовленням деталей, грн	10150
Затрати на стандартні складові, грн	30254
Затрати пов'язані з виробничими витратами, грн	27501
Затрати на оплату праці працівникам, грн	9450
Загальні витрати, грн	77355

Розрахунок ефективності запропонованої конструкції НМП на вирощуванні кукурудзи виконаємо для базового та проектного варіантів порівнявши показники кожного дамо оцінку запропонованій конструкції. НМП. Вихідні дані для виконання розрахунку агрегатом в складі трактора ЮМЗ-8040+НМП+КРН-5,6 наведено в таблиці 5.2 Розрахунки здійснюємо в цінах 2024 року з урахуванням загально-прийнятих методик [34]

Таблиця 5.2 – Вихідні дані

Показники	Позн.	Базовий	Проектний
1	2	3	
Склад машино-тракторного агрегату	-	ЮМЗ-8040 + КРН-5,6	ЮМЗ-8040 +НМП+ КРН-5,6
Агротехнічна операція	-	прополювання	прополювання
Балансова вартість, грн	<i>B</i>	241000	318000
Максимальна швидкість прополювання, км/год	<i>V</i>	4,9	6,7
Кількість секцій з робочими органами, шт	-	8	8
Ширина захвату агрегату, м	<i>B</i>	5,6	5,6
Вартість дизеля, грн/кг	<i>Ц_n</i>	50	50
Витрата палива на культивуванні, кг/га	<i>Н_n</i>	10,3	9,1
Річна продуктивність культиватора за рік, га	<i>S</i>	220	220
Тривалість зміни, год	<i>t</i>	10	10
Ефективність використання змінного часу	<i>K_з</i>	0,86	0,86
Ставка працівника, грн/год	$\cdot C_2$	84	84
Необхідна кількість працівників, люд	<i>N</i>	1	1

Продовження табл. 5.2

1	2	3	4
Площа посіву кукурудзи, га	S	160	160
Врожайність, т/га	-	5,5	6,2
Капіталовкладення, грн	K		77355
Вартість продукції, грн/т	Π	5500	5500
Валовий збір, т	-	880	944
Приріст врожайності, т/га	ΔY	-	0,4

Розрахунок продуктивності проектного варіанту [34]:

Продуктивність ЮМЗ-8040 +НМП+КРН-5,6:

$$W = V \cdot K_3 \cdot B = 6,7 \cdot 0,85 \cdot 5,6 \text{ м} = 32 \text{ га/зміну.} \quad (5.1)$$

Річний наробіток агрегату ЮМЗ-8040 +НМП+КРН-5,6:

$$H_p = S / P = 160 / 3,2 = 50 \text{ год/рік.} \quad (5.2)$$

де P – продуктивність агрегата $P = W / t = 32/10 = 3,2$ га/год;

Розрахунок експлуатаційних витрат

Оплата праці:

$$\Phi_{zn} = N \cdot C_2 \cdot t = 1 \cdot 84 \cdot 10 = 840 \text{ грн/зміну} \quad (5.3)$$

З урахуванням нарахувань (25%):

$$B_{on} = (\Phi_{zn} + 0,25 \cdot \Phi_{zn}) / W = (840 + 210) / 32 = 32,8 \text{ грн/га} \quad (5.4)$$

Амортизаційні відрахування:

$$A = (B \cdot H) / S \quad (5.5)$$

де: B – балансова вартість машини, грн (318000 грн);

H – річна норма амортизації (0,12);

S – площа обробки, га

$$A = (318000 \cdot 0,12) / 160 = 238,5 \text{ грн/га.}$$

Загальні витрати на пальне:

$$En = Hn \cdot Цn \quad (5.6)$$

де: Hn – норма витрати пального, кг/га;

$Цn$ – ціна за 1 кг пального, грн/кг.

$$En = 9,1 \cdot 50 = 455 \text{ грн/га.}$$

Поточний ремонт:

$$Pr = (B \cdot 0,10) / S = (318000 \cdot 0,10) / 160 = 198,75 \text{ грн/га.} \quad (5.7)$$

Інші витрати (5%):

$$I = (B \cdot 0,05) / S = (318000 \cdot 0,05) / 160 = 99,37 \text{ грн/га.} \quad (5.8)$$

Загальні експлуатаційні витрати

$$Cnp = Bon + A + En + Pr + I \quad (5.9)$$

$$C_{np} = 32,8 + 238,5 + 455 + 198,75 + 99,38 = 1024,43 \text{ грн/га.}$$

Розрахунок економічного ефекту

Приріст врожайності – 0,7 т/га;

Ціна – 5500 грн/т;

Додатковий прибуток:

$$П = \Delta У \cdot Ц \quad (5.10)$$

де: $\Delta У$ – приріст урожайності, т/га (0,4 т/га);

$Ц$ – ціна за 1 т продукції, грн (5500 грн).

$$П = 0,4 \cdot 5500 = 2200 \text{ грн/га.}$$

Річний економічний ефект:

$$E = S \cdot (П - C_{np}) = 160 \cdot (2200 - 1024,43) = 188091 \text{ грн.} \quad (5.11)$$

Термін окупності проекту

$$T = K / E = 77355 / 188091 = 0,4 \text{ року або протягом 5 міс.} \quad (5.12)$$

де K – капіталовкладення, грн

Результати порівняльного розрахунку для двох варіантів представлено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Економічні показники проекту

Показник	Один.	Базовий варіант	Проектний варіант	Різниця (проект - базовий)
Машино-тракторний агрегат	-	ЮМЗ-8040 + КРН-5,6	ЮМЗ-8040 + НМП + КРН- 5,6	-
Агротехнічна операція	-	прополювання	прополювання	-
Площа обробки	га	160	160	0
Балансова вартість агрегату	грн	241000	318000	77000
Витрати пального	кг/га	10,3	9,1	-1,2
Ціна пального	грн/кг	50	50	0
Вартість пального	грн/га	515	455	-60
Оплата праці з нарах.	грн/га	38,70	32,81	-5,89
Амортизація	грн/га	180,75	238,50	57,75
Поточний ремонт	грн/га	150,63	198,75	48,12
Інші витрати	грн/га	75,31	99,38	24,07
Загальні витрати	грн/га	960,39	1024,43	64,04
Приріст урожайності	т/га	—	0,4	0,4
Річний економічний ефект з га	грн/га	1175,57		
Річний економічний ефект загальний	грн	188091		
Капітальні витрати	грн	—	77355	—
Термін окупності	років	—	0,41	—

5.2 Висновки

Результати техніко-економічної оцінки свідчать про доцільність впровадження розробленого глибокорозпушувача. Новий агрегат дозволяє підвищити врожайність, знизити витрати на паливо, обслуговування та оплату праці, а також швидко окупається - менш ніж за один сезон. Це забезпечує стабільний економічний ефект та позитивний вплив на виробничу діяльність господарства.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було вирішено комплексне завдання щодо підвищення точності виконання технологічних операцій в умовах точного землеробства шляхом розробки механізму для автоматичного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин. Робота охоплює аналітичну, техніко-технологічну, конструкторську та економічну складові, що дозволило отримати цілісне та обґрунтоване інженерне рішення.

1. Виконано аналіз господарської діяльності фермерського господарства «Хобота В.Д.», де було виявлено основні напрямки виробництва, рівень механізації та економічні показники. Господарство спеціалізується на вирощуванні зернових і олійних культур на площі понад 500 га, зокрема кукурудзи, озимої пшениці, соняшнику та ріпаку. Було встановлено, що господарство має високий рівень механізації (трактори John Deere, Challenger, ЮМЗ-8040; культиватори КРН-5,6 тощо), але потребує вдосконалення у сфері автоматизації керування робочими органами. Рентабельність культур зростала протягом трьох років, зокрема у соняшника – з 52% до 58%, що вказує на стабільний розвиток і готовність до впровадження інновацій.

2. Здійснено всебічний аналіз існуючих рішень у сфері точного землеробства, включаючи системи паралельного водіння, навігації, механізми позиціонування з використанням датчиків, гідроприводів, напрямних коліс і дисків. Проведено класифікацію механізмів і визначено, що найбільш ефективним у контексті міжрядного обробітку є механізм з бічним зміщенням робочих органів за допомогою гідроциліндра. Також були розглянуті провідні системи (Garford Robocrop, Pro Trakker, Grimme), їхні переваги та обмеження. Аналіз підтвердив потребу у створенні адаптованої, недорогої, але ефективної конструкції для агрегування з тракторами типу ЮМЗ-8040.

3. Розроблено власну конструкцію механізму для точного позиціонування.

У рамках розділу були виконані теоретичні розрахунки зміщення агрегату в міжрядді при різних радіусах повороту, кутах нахилу осі та боковому зсуві

доведено, що в умовах звичайної експлуатації зміщення може перевищувати 120–150 мм, що призводить до пошкодження рослин. Розраховані параметри показали, що використання механізму дозволяє зменшити похибку до рівня менше 20 мм, що входить у допустиму захисну зону міжряддя (5 см).

4. У розділі охорони праці розроблено заходи безпеки при експлуатації запропонованого механізму: передбачено екранування рухомих частин, автоматичне блокування системи при аварійному відхиленні, а також проведення інструктажів та використання засобів індивідуального захисту. Екологічна безпечність підвищена завдяки зменшенню використання гербіцидів, оскільки механічне прополювання стає більш точним.

5. Економічне обґрунтування показало, що застосування розробленого механізму дозволяє знизити витрати на ручну працю при прополюванні просапних культур на понад 23%, а також скоротити втрати врожаю від пошкодження рослин щонайменше на 6%. Орієнтовний строк окупності становить 0,4 (п'ять місяців) року, що підтверджує інвестиційну привабливість рішення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сіренко Ю. В., Калнагуз О. М. Системи автоматичного керування рухом польових агрегатів. Збірник тез доповідей XXII Міжнародної наукової конференції. СНАУ. "Сучасні проблеми землеробської механіки". – 2021. – С. 146-150.
2. Білінська В.Ю. Сучасні інноваційні технології в сільському господарстві: основна характеристика та перспективи впровадження / В.Ю. Білінська // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2015 – № 7 (102). – С. 74-80.
3. 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.
4. Звітна документація про роботу ФГ «Хобота В.Д.» за 2022-2024 рік.
5. Аніскевич Л.В., Войтюк Д.Г., Захарін Ф.М., Пономаренко С.О. Система точного землеробства. /Підручник/ – К: - НУБіП України, 2018, - 566 с.
6. 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. – Мінськ, 2011. – 163 с.
7. Надикто В.Т., Улексін В.О. Колійна та мостова системи землеробства: монографія. Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок «ММД». 2008. 270 с.
8. Басалаєв, С. М. Точне землеробство: застосування навігаційного обладнання, використання супутникових технологій/С. М. Басалаєв, І.І. Голдіна // Молодь та наука. – 2016. – № 11. – С. 32-38.
9. <https://agrico.com.ua/327-formuvannya-grebeny.html>
10. 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

11. Мельник, А.Т. Дослідження збурюючих впливів на широкозахватний агрегат/А.Т. Мельник // Автоматизований електро-і гідропривід широкозахватних сільськогосподарських агрегатів – Л., – 1985. – С. 70-77.

12. Семічев, С. В. Аналіз вітчизняних та зарубіжних технічних засобів для обробітку картоплі та топінамбуру 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.

13. 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.

14. 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.

15. <https://www.yesterdaystractors.com/cgi-bin/viewit.cgi?bd=nboard&th>

16. Д.Г. Войтюк . Сільськогосподарські та меліоративні машини. К.: Вища освіта, 2004. 544 с.

17. Keller J. 2005. Auto-Guidance-System – Effziente Flächenbearbeitung, Dieserverbrauchsoptimierung, Steigerung der Wirtschaftlichkeit. Landtechnik für Profs, Mag

18. Holpp M., 2012. Untersuchungen zu Controlled Traffic Farming und automatischen Lenksystemen. Dissertation, DE-Witzenhausen/CH-Ettenhausen, 150 S.

19. Martin Holpp, Monika Samer, Thomas Anken. Utilite de systemes de guidage automatique // Agroscope. 1996. Vol. 756. Pp. 1-7.

20. <http://www.protrakker.com>

21. <https://www.grimme.com/ru/products/legetechnik/gb-330/>

22. <http://www.sbg.nl/en/products/sbguidance-twin-disc/>

23. <https://garford.com/products/robocrop-inrow-weeder/>

24. ДСТУ 10677-2001 Пристрій навісний задній сільськогосподарських тракторів 0,6-8. Типи, основні параметри та розмір. – Київ: Видавництво стандартів, 2002.
25. ДСТУ 27021-2001 Трактори сільськогосподарські та лісогосподарські. Тягові класи. – К.: Видавництво стандартів, 2001.
26. ДСТУ 12219-2015 Система стандартів безпеки праці. Трактори та машини самохідні сільськогосподарські. Загальні вимоги безпеки. - К.: Видавництво стандартів, 2019.
27. Волков В. П. Теорія руху автомобілів / В.П. Волков, Г.Б. Вільський. – Суми: Університетська книга, 2010. – 320 с
28. 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.
29. Бронштейн, І.М. Довідник з математики для інженерів та учнів вузів/І.М. Бронштейн, К.А. Семендяєв. - Вид.: Лань, 2010. – 608 с.
30. https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/mvz_2/page3.html
31. Основи розрахунків на міцність: Опорний конспект лекцій / В.І. Мороз, О.А. Логвіненко, В.І. Іщенко, О.В. Фомін. –Харків: УкрДАЗТ, 2012. – 124 с.
32. «Закон України «Про охорону праці». Закон введено в дію з дня опублікування – 24.11.1992 року N 2695-XII)»
33. Запорожець О. І., Протоєрейський О. С., Франчук Г. М., Боровик І. М. Основи охорони праці. Підручник. – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 264 с.
34. 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

Програма керування механізмом позиціонування (Мова програмування Асемблер. Середовище CodeVisionAVR)

<pre> 1 Vhde CPI / 2 3 // external (external) initialization 4 fn: pm1ITR&UPT. AMNERUPT HANDL2S) installation 5 matter: 6 (ITCRRLLZ) b. turles b khas gesing 05OIDE: 7 (LBIH63C9) 6. HMRS601) + 0xBR33a) 0xDR34o (0 8 PLEO B) iOcfBltoclon? (d. F5BQ. 9 (ITxBR31Q, + 0xDR35o) 0xDR31.o. 0xDR34o 10 (AuR88Tdb) 11 Int: (POIDIT mitalization initialized for OD. 12 (def 13 { / inpuried initialization instialization 14 heel (t) 15 // / (rewtang intem.p4s 16 mfall: terus. 17 { / LSI41,0 / (1/8,0) - PO5 P38 (-1.0. PBO) } - 6 / 18 { / O / OP50 / 1.201 19 inuis getr fiesr 20 /led quitutrone b) nerurptes 21) 22 (b TERM toffes) 23 nswitch (osda); 24 { 25 mainb) 26 isceren refreat = 1; 27 uf lcarie_server = 8 </pre>	<pre> 1 lcd_getosity f); 2 la.prower5/v; 3 4 set_active(sings)); 5 sq serve (sig, (dsEEPO; 6 set-ctv:er (FvT); 7 is_provesoffij,kudress elasdate idadrest_addr odr 8 is_provesoffij,ftirate VD; IT = LCO_SWITC florl); 9 is_provesoffij); 10 is_foluvei); 11 is.lexes-activit); 12 setctv:er (13 swifzliivr7) 14 if inodl adhigh lis_data ad State.activity; 15 lcd_botmoffi0n RESE T); 16 io to_perseffCVER RNB); 17 lcd_iditsoff QC30-7); 18 lcast, 19 //l) 20 21 prower (comm_out /lengH)/f. outla.rs(VL,1); 22 cd_pafes:9v(0); 23 while (f) 24 { 25 while (screet_refresh < 1 26 </pre>
<pre> 10 screen refresh = RESET NO; 22 lcd_pefoco = RSS1; 21 lcd_getosity f); 22 iett poclveTl); 23 24 25 lcd_ipetoss fi); 26 lcd_pertyl); 27 setPenIROUIT = Continn(OutOnstnt/ laddress(ist_prim); 28 setPenIROUIT = Counl(DutCourtDsf i); 29 CountDutRIGHT = CounfOutGommx(ort+1)); 30 setPenTROUT = CountDisoLTET); 31 ledf enIROUT = CounDissINCHIT); 32 lcd_getonsar/NetWERIKE); 33 ied_getosoffPL9); 34 } 35 switch (state_menu) 36 37 switch (state_reresh == RESET; 38 { 39 If icomntool/LAG _== NIMEST31)= TRUE } 40 switch (cod_petoe = ILNu 41 switch (cod_per(S)) = VPUT; 42 switch (cod_paf(S)) = RET); 43 switch (dgenndnn 44 (antib: vaurithe avvdConfslVvix) ctstiv.d.x) </pre>	<pre> 122 lcd_pertyt0); 122 led_partyal3T/ SET.. 7); 121 126 mos = Nt/ 127 128 coss = PLAG == > 129 writiel FLAS) 130 serc= RCF) 131 132 coech (ling == lookpyrim_activity = 9) 133 ssa re in court jussert 134 cacch (TIMED == lool girnul_activity = 9) 135 sad = Eclyr pntar); 136 casch (ITRQT = 1: drimef_activity = 0) 137 serc= For== RU45 + Bv) 138 serc= (satb_b foresn); 139 140 141 elen 142 { 143 f (piue_with_center_slcti. f); 144 lukml_0sliets oac= 145 salties ikacay - 1 sallyo_eterlue = 40) 146 sallylcrf (OTVEOL_PLAG == = snof i) 147 ssutiket_pelice [Rtv = e(f)], 148 ca_pefowawo = 0, 149 serc == PLAG = = 150 snatrus.pelot = 6, 151 ifi (NULU() 152 </pre>

Додаток Б

Вихідні дані для розрахунку

Найменування параметру	Позн.	Значення
Діаметр направляючих труб верхньої та нижньої, мм	D_H	40
Матеріал направляючих труб		Сталь 40Х
Довжина внутрішньої рамки, м	$D_{B.P.}$	0,72
Діаметр отвору кронштейна, м	D_1	0,0257
Діаметр приєднувальних пальців, м	d_2	0,028
Діаметр отвору під пружинний шплінт, м	d_3	0,006
Внутрішня відстань між поверхнями кронштейна, м	q	0,052
Зовнішня відстань між поверхнями кронштейна, м	p	0,086
Довжина основи вала, м	N	0,6
Довжина ходу штока гідравлічного циліндра, м	S	0,250
Значення висоти внутрішньої рамки, м	$B_{в.р}$	0,6
Значення відстані від вісі нижнього валу ковзання рамки до нижнього бруса зов. рамки, м	l	0,10
Відстань від основи валу до вісі отвору під шплінт, м	t_2	0,05
Діаметр шплінта пружинного, мм	$d_{3ш}$	0,006
Довжина шплінта, м	$L_{ш}$	0,085
Розмір напівавтоматичних крюків, мм		
Довжина	Д	134
Ширина	Ш	38
Висота	В	64
Відстань	Н1, Н2	67
Відстань між напівавтоматичними крюками зовнішньої та внутрішньої рамок, м	H	0,21

Додаток В

Електрогідравлічний розподільник

Параметр	Значення
Модель	Yuken DSG-01
Тип	Електрогідравлічний розподільник
Максимальний тиск	20 МПа (200 бар)
Максимальна витрата	25 л/хв
Тип керування	Електромагнітне
Номинальна напруга котушки	12 В постійного струму
Кількість положень	3 (нейтральне + 2 робочі)
Тип повернення в нейтраль	Пружинне повернення
Монтаж	Плитковий монтаж (sub-plate mounting)
Тип ущільнень	O-Ring
Робоче середовище	Мінеральна гідравлічна олива
Температурний діапазон масла	від -15 °C до +70 °C
Тип з'єднання	За стандартом CETOP 3 / NG6
Клас захисту електрокотушки	IP65 (при правильному підключенні)
Маса	≈ 1,3–1,6 кг (залежно від комплектації)

Додаток В

Характеристика гідроциліндра

Параметр	Значення
Модель	ЦГ 50.30×250
Тип гідроциліндра	Односторонньої дії або двосторонньої дії (залежить від версії)
Внутрішній діаметр циліндра (D)	50 мм
Діаметр штока (d)	30 мм
Хід штока (S)	250 мм
Робочий тиск, номінальний	до 16 МПа (іноді до 20 МПа)
Максимальний тиск	20 МПа
Робоче середовище	Мінеральна гідравлічна олива типу МГЕ-46В
Температура робочого середовища	від -30 °C до +80 °C
Швидкість робочого ходу	до 0,5 м/с (рекомендовано)
Тип кріплення	На вушках або фланцеве (в залежності від виконання)
Маса (орієнтовно)	≈ 5–7 кг
Матеріал корпусу	Сталь конструкційна, поршень загартований
Ущільнення	Манжетне або кільцеве