

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра технічної механіки та сільськогосподарських машин

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження роботи автомату водіння коренезбиральної машини
з розробкою лабораторного стенду

Виконав(ла): студент(ка) 2 курсу, групи МГм-61
спеціальності 208 Агроінженерія
(шифр і назва спеціальності)

	(підпис)	Семчишин Т.С. (прізвище та ініціали)
Керівник	(підпис)	Сташків М.Я. (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	(підпис)	Сташків М.Я. (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	(підпис)	Бабій А.В. (прізвище та ініціали)
Рецензент	(підпис)	Левкович М.Г. (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра технічної механіки та сільськогосподарських машин

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

студенту Семчишину Тарасу Степановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження роботи автомату водіння коренезбиральної машини
з розробкою лабораторного стенду

Керівник роботи Сташків М.Я., к.т.н., доц.

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

Затверджені наказом ректора від «14» листопада 2025 року № 4/7-969

2. Термін подання студентом завершеної роботи 15.12.2025

3. Вихідні дані до роботи базова конструкція автомату водіння коренезбиральної машини

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ.

1. Загально-технічний розділ

2. Аналітико-дослідницький розділ

3. Проектно-рекомендаційний розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Загальні висновки.

Перелік посилань

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

1. Схема самохідної коренезбиральної машини. 2. Автомат водіння. Вигляд зверху.

3. Автомат водіння. Вигляд збоку. 4. Схема гідравлічно-кінематична автомату водіння.

5. Передавальний механізм і гідравлічна частина автомату водіння. 6. Кінематична схема

важільного механізму автомату водіння. 7. Лабораторна установка для експериментальних досліджень автомату водіння (2 слайди). 8. Результати експериментальних досліджень.

9. Комп'ютерне моделювання напружено - деформованого стану кронштейна кріплення автомату водіння

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Сенчишин В.С., к.т.н., доц.</i>		
	<i>Теслюк В.М.</i>		

7. Дата видачі завдання 15.11.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Загально-технічний розділ</i>	<i>20.11.2025</i>	
2	<i>Аналітико-дослідницький розділ</i>	<i>30.11.2025</i>	
3	<i>Проектно-рекомендаційний розділ</i>	<i>10.12.2025</i>	
4	<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>15.12.2025</i>	
	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	<i>20.12.2025</i>	

Студент

(підпис)

Семчишин Т.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Сташків М.Я.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ВСТУП.....	7
1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1. Класифікація систем автоматичного водіння сільськогосподарських машин.....	8
1.2. Основні технічні вимоги до систем гідроавтоматики	10
1.3. Будова автомата водіння коренезбиральної машини	12
2. АНАЛІТИКО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	20
2.1. Дослідження кінематики важільного механізму автомата водіння.....	20
2.2. Засоби та методика експериментальних досліджень	23
3.1.1. Лабораторна установка для експериментальних досліджень	25
3.1.2. Методика визначення залежності кута повороту керованих коліс від кута повороту копіра	27
2.3. Дослідження залежності кута повороту керованих коліс від кута повороту копіра	27
3. ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ.....	28
3.1. Вибір конструктивних параметрів механізмів автомата водіння	28
3.2. Обґрунтування параметрів копирів автомата водіння	33
3.3. Обґрунтування параметрів роботи системи керування з різними копірами	39
3.4. Розрахунок НДС поворотного кронштейна	42
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	46
4.1. Охорона праці під час дослідження роботи автомата водіння	46
4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях при експлуатації автомата водіння.	48
ВИСНОВКИ.....	51
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	52
ДОДАТКИ.....	55

РЕФЕРАТ

Автор роботи – Семчишин Тарас Степанович.

Тема роботи – „Дослідження роботи автомату водіння коренезбиральної машини з розробкою лабораторного стенду”.

Робота виконана на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Керівник роботи – Сташків Микола Ярославович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин.

Мета роботи – розробка лабораторного стенду для дослідження параметрів роботи автомату водіння коренезбиральної машини.

Об’єкт дослідження – гідравлічно-кінематичні параметри роботи автомату водіння.

Предмет дослідження – автомат водіння коренезбиральної машини.

Методи дослідження: порівняльний, теоретико-емпіричний, експериментальний, математичного та комп’ютерного моделювання.

Отримані результати:

- проведено аналіз технічних вимог до систем гідроавтоматики;
- проведено аналіз будови автомату водіння коренезбиральної машини;
- досліджено кінематику важільного механізму автомата водіння;
- розроблено лабораторну установку для експериментальних досліджень параметрів роботи автомату водіння;
- проведено експериментальні дослідження залежності кута повороту керованих коліс від кута повороту копіра;
- вибрано конструктивні параметрів механізмів автомату водіння;
- обґрунтовано параметри копіїв автомату водіння;
- обґрунтовано параметри роботи автомату водіння з різними копірами;
- розраховано напружено-деформований стан поворотного кронштейна.

Розрахунки виконано з використанням комп’ютерного моделювання;

- подано заходи техніки безпеки при дослідженні роботи автомату водіння та безпеки в надзвичайних ситуаціях при експлуатації автомату водіння.

Практичне значення отриманих результатів.

Обґрунтовано гідравлічно – кінематичні параметри автомату водіння коренезбиральної машини.

Структура роботи.

Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та ілюстративної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань та додатків.

Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 55 арк. формату А4, додатки – 5 арк. формату А4, ілюстративний матеріал – 12 арк. формату А4.

Ключові слова: самохідна коренезбиральна машина, система автоматизованого керування, автомат водіння, лабораторна установка, експериментальні дослідження, напружено – деформований стан, гідравлічно-кінематичні параметри, комп'ютерне моделювання.

ВСТУП

Розвиток сільськогосподарського виробництва завжди характеризувався зростанням рівня автоматизації технологічних процесів та впровадженням систем автоматичного керування робочими органами машин. Особливого значення це набуло у коренезбиральних машинах, де точність руху агрегату відносно рядків, стабільність траєкторії та своєчасне коригування курсу безпосередньо впливають на якість збирання, рівень втрат урожаю і надійність роботи машини в цілому. У зв'язку з цим системи автоматичного водіння є важливим елементом підвищення ефективності та конкурентоспроможності сучасних коренезбиральних машин.

Експлуатаційні умови роботи коренезбиральних агрегатів характеризуються значною нерівномірністю опору ґрунту, коливаннями геометричних параметрів рядків, наявністю перешкод та вібраційних впливів. За таких умов робота автомату водіння ускладнюється, що може призводити до зниження точності копіювання рядків, нестабільності керуючих впливів і, як наслідок, до пошкодження коренеплодів або робочих органів машини. Тому дослідження закономірностей функціонування автомату водіння та оцінка його динамічних характеристик є актуальним науково-практичним завданням.

Важливою передумовою вдосконалення систем автоматичного водіння є можливість їх експериментального дослідження в контрольованих умовах. Проведення повномасштабних польових випробувань потребує значних матеріальних витрат, залежить від сезонності та не завжди дозволяє ізольовано оцінити вплив окремих параметрів системи [9]. У зв'язку з цим актуальним є розроблення лабораторного стенду, який забезпечує моделювання умов роботи автомату водіння, відтворення збурювальних впливів та отримання достовірних експериментальних даних для аналізу його роботи.

1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Класифікація систем автоматичного водіння сільськогосподарських машин

Системи автоматичного водіння сільськогосподарських машин спрямовані на підвищення точності руху машинно-тракторних агрегатів, зменшення перекриттів і пропусків, зниження втоми оператора та підвищення загальної продуктивності польових робіт. В умовах зростання робочих швидкостей, ширини захвату машин і складності агротехнологій автоматичне водіння набуває особливого значення як засіб забезпечення стабільної якості виконання технологічних операцій незалежно від людського фактора та зовнішніх умов.

Класифікація систем автоматичного водіння сільськогосподарських машин здійснюється за кількома основними ознаками, що відображають принцип формування траєкторії руху, спосіб визначення положення машини в просторі, рівень автоматизації та конструктивні особливості системи.

За способом орієнтації в просторі системи автоматичного водіння поділяють на механічні, оптичні, інерціальні та супутникові. Механічні системи, що ґрунтуються на фізичному контакті з напрямною або рядком рослин, є простими за конструкцією, проте мають обмежену точність і застосовуються переважно в спеціалізованих машинах. Оптичні системи використовують датчики зору або фоточутливі елементи для розпізнавання рядків культур, меж оброблюваної смуги або контрастних орієнтирів, забезпечуючи прийнятну точність за сприятливих умов освітлення та чіткої структури посівів.

Найбільш поширеними в сучасному сільському господарстві є супутникові системи автоматичного водіння, що базуються на використанні

глобальних навігаційних супутникових систем. Такі системи забезпечують визначення просторового положення машини з різним рівнем точності залежно від способу корекції сигналу.

За рівнем автоматизації системи автоматичного водіння поділяють на допоміжні, напіваавтоматичні та повністю автоматичні. Допоміжні системи виконують функцію індикації та підказки оператору, формуючи візуальні або звукові сигнали для корекції курсу руху. Напіваавтоматичні системи забезпечують автоматичне керування рульовим механізмом за умови постійної присутності оператора, який контролює роботу агрегату та несе відповідальність за безпеку. Повністю автоматичні системи передбачають мінімальну участь оператора або його повну відсутність у процесі водіння, що реалізується в роботизованих платформах і автономних сільськогосподарських машинах [9].

Важливою ознакою класифікації є спосіб впливу на органи керування машини. За цим критерієм розрізняють системи з електромеханічним, електрогідравлічним та повністю електронним керуванням. Електромеханічні системи зазвичай реалізуються у вигляді приводів, що встановлюються на рульове колесо, і відзначаються простотою монтажу та універсальністю. Електрогідравлічні системи інтегруються безпосередньо в гідросистему рульового керування, забезпечуючи вищу точність і швидкодію. Повністю електронні системи застосовуються переважно в сучасних машинах з електронно-керованими рульовими механізмами та характеризуються високим рівнем інтеграції з іншими бортовими системами.

Основними характеристиками систем автоматичного водіння є точність ведення по траєкторії, стабільність курсу, швидкодія та надійність. Точність визначається максимально допустимим відхиленням машини від заданої лінії руху і є визначальним показником ефективності системи. Стабільність курсу характеризує здатність системи зберігати задану траєкторію за наявності зовнішніх збурень, таких як нерівності ґрунту, боковий ухил або зміна тягового

опору. Швидкодія відображає здатність системи оперативно реагувати на відхилення та коригувати рух, що особливо важливо при високих робочих швидкостях. Надійність системи визначає її працездатність у складних умовах експлуатації, включаючи запиленість, вібрації та вплив кліматичних факторів.

Таким чином, системи автоматичного водіння сільськогосподарських машин є багатокомпонентними технічними комплексами, що відрізняються за принципами побудови, рівнем автоматизації та експлуатаційними характеристиками. Розуміння їх характеристик та основних параметрів дають змогу обґрунтовано обирати оптимальні технічні рішення для конкретних агротехнологічних умов і забезпечувати ефективне використання машин у сучасному аграрному виробництві.

1.2. Основні технічні вимоги до систем гідроавтоматики

Система керування (СК) має забезпечувати необхідну точність підтримання регульованого параметра з урахуванням умов функціонування та вимог до якості технологічного процесу за дії найбільш характерних зовнішніх збурень. Реалізація цієї вимоги визначається статичною чутливістю гідропідсилювача, яка оцінюється порогом спрацювання регульовального органа, а також швидкодією виконавчого механізму, здатного розвивати потрібний рівень потужності для подолання навантажень від робочих органів, і тривалістю запізнювання обробки вхідного сигналу.

Зусилля керування, що передається через вхідні (первинні) перетворювачі механічного типу та сприймається зовнішніми об'єктами, зокрема при взаємодії з рослинами, не повинно перевищувати гранично допустимих значень, установлених агротехнічними вимогами. Дотримання цієї

умови забезпечується вибором відповідного гідравлічного регулювального органа з механічним керуванням запірно-регулювального елемента, який характеризується малим зусиллям переміщення і мінімальною зоною нечутливості. У випадках, коли зазначені обмеження щодо зусилля на датчику неможливо реалізувати при механічному керуванні, на вході системи застосовують механоелектричні або безконтактні електронні перетворювачі з подальшим керуванням електромагнітом.

Гідравлічна схема СК повинна мати достатньо високий коефіцієнт корисної дії, що унеможливило перегрів робочої рідини в гідросистемі, при цьому температура масла не повинна перевищувати 80 °С. Це досягається раціональним вибором типу гідравлічного регулювального органа з урахуванням гідравлічних втрат і робочого тиску в джерелі гідроживлення та у виконавчому механізмі. Для зменшення температурної напруженості системи покращують умови теплообміну шляхом збільшення об'єму гідробака або встановленням радіатора охолодження [9].

Потужність керування електрогідравлічною апаратурою за рівнем напруги та споживаною силою струму має відповідати можливостям джерела електроживлення машинно-тракторного агрегату. При цьому система автоматичного керування повинна забезпечувати стабільну роботу за допустимих коливань напруги в електросистемі агрегату.

СК має бути динамічно стійкою та функціонувати без виникнення автоколивань. За заданої конструкції це досягається обмеженням у допустимих межах чутливості й швидкодії системи, а також усуненням люфтів у кінематичних ланках замкненого контуру регулювання. Імовірність появи автоколивального режиму значною мірою визначається типом гідророзподільника, жорсткістю гідравлічних магістралей, характером зовнішнього навантаження на виконавчому гідродвигуні та низкою інших факторів, що обумовлює необхідність їх попереднього аналізу і перевірки умов запобігання небажаним динамічним режимам.

Автоматичне регулювання робочих органів, як правило, має поєднуватися з можливістю оперативного втручання механізатора з метою запобігання аварійним ситуаціям або переведення робочих органів у транспортне положення. Ця вимога зазвичай реалізується шляхом введення до механічної, гідравлічної чи електричної схеми додаткових елементів, які забезпечують пріоритет ручного керування над автоматичним режимом.

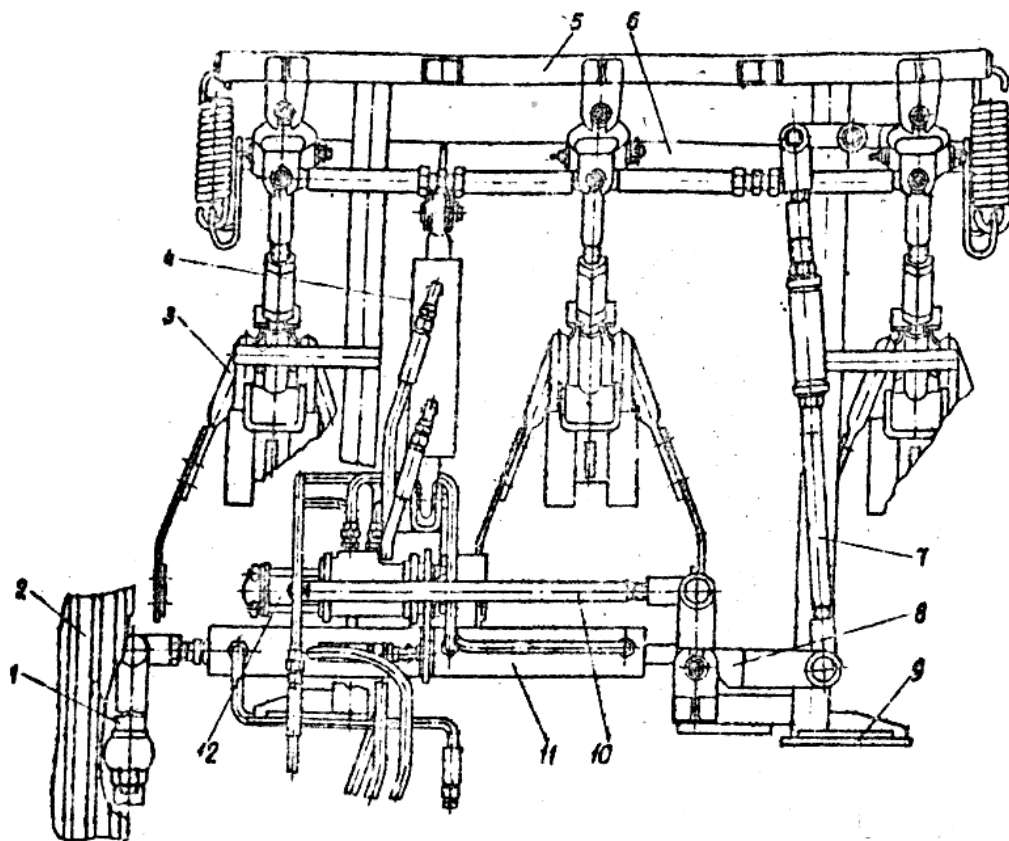
Під час проектування системи керування доцільно використовувати серійну гідроарматуру, що відповідає умовам експлуатації в складі машинно-тракторного агрегату. Загалом СК повинна відзначатися високою надійністю та зберігати працездатність протягом усього нормативного ресурсу сільськогосподарської машини.

1.3. Будова автомата водіння коренезбиральної машини

Застосування автомата водіння дозволяє значно підвищити ефективність роботи коренезбиральної машини, оскільки забезпечує досягнення високих робочих швидкостей при одночасному підвищенні точності її руху вздовж рядків буряка. Це дозволяє підвищити продуктивність машини, знизити втрати коренів, а також полегшити умови праці механізатора, оскільки автомат водіння звільняє його від необхідності керування машиною уздовж гону.

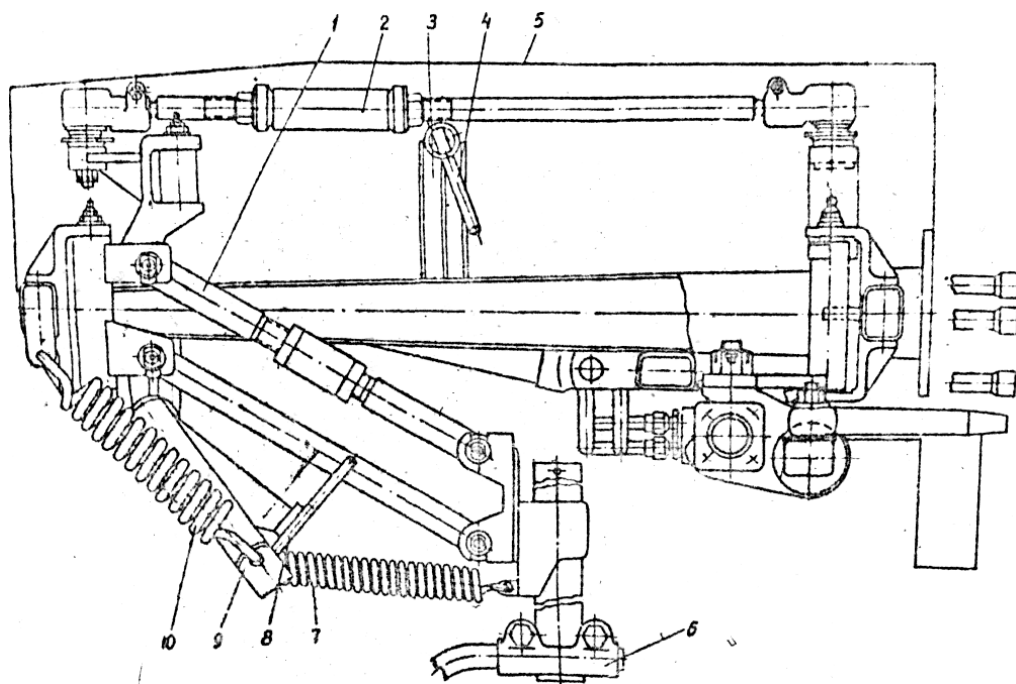
Автомат водіння є гідромеханічною слідкуючою щуп – системою, яка забезпечує необхідну точністю напрямку руху машини вздовж рядків коренів цукрового буряка [1].

Загальний вигляд автомата водіння зображено на рис. 1.1 та рис. 1.2.



1 – важіль; 2 – кероване колесо машини; 3 – копір; 4 – гідроциліндр піднімання;
5 – рами; 6 – вал; 7 – повздовжня тяга; 8 – двоплечовий важіль; 9 – кронштейн кріплення
рамы; 10 – поперечна тяга; 11 – спаренні гідроциліндри; 12 – золотник

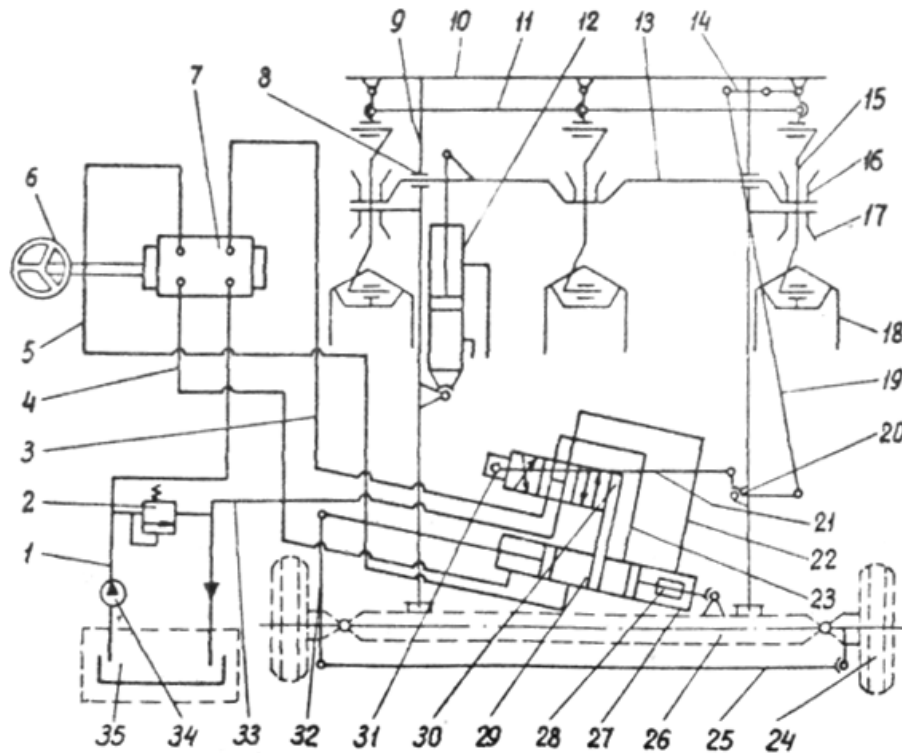
Рисунок 1.1 – Автомат водіння (вид зверху)



1-паралелограмна підвіска; 2-повздовжня тяга; 3-стійка; 4-вилка-фіксатор; 5-капот;
6-копір; 7-пружина копіра; 8-вилка-вловлювач; 9-важіль; 10-пружина фіксації

Рисунок 1.2 – Автомат водіння (вид збоку)

Автомат водіння складається з двох основних частин (рис. 1.3) - кінематичної системи орієнтації (тонкі лінії) та гідравлічної системи управління (товсті лінії). Кінематична система призначена для отримання сигналу орієнтації машини вздовж рядків буряка, а гідравлічна система є виконавчою - забезпечує керування передніми колесами машини у відповідності до одержаних сигналів орієнтації.



1, 3, 4, 5, 22, 23, 33 – трубопроводи; 2 – запобіжний клапан; 6 – кермове колесо; 7 – насос дозатор; 8 – опора вала; 9 – повздовжній брус рами; 10-поперечний брус рами; 11 – поперечна тяга; 12, 27, 29 – гідроциліндри; 13-вал піднімання; 14-перестановочний важіль, 15-паралелограмна підвіска; 16-вилка-вловлювач; 17 – вилка-фіксатор; 18 – копір; 19, 21, 25 – тяги; 20, 32 – важелі; 24 – кероване колесо машини; 26 – балка керованого моста; 28 – втулка обмеження; 30 – кронштейн золотника; 31 – золотник; 34 – гідронасос; 35 – масляний резервуар

Рисунок 1.3 – Гідравлічно – кінематична схема автомата водіння

Основні вузли кінематичної системи: копіюючий пристрій; передавальний механізм; механізм переведення; рама.

Основні вузли гідравлічної системи: золотник; спарені гідроциліндри; насос-дозатор; насосна установка; трубопроводи.

Копіюючий пристрій призначений для відстежування рядків буряка в процесі руху машини. Копіюючий пристрій складається з трьох копіїв встановлених на паралелограмних підвісках. Копії жорстко з'єднані між собою регульованою тягою і підвішені до переднього бруса рами на поворотних кронштейнах.

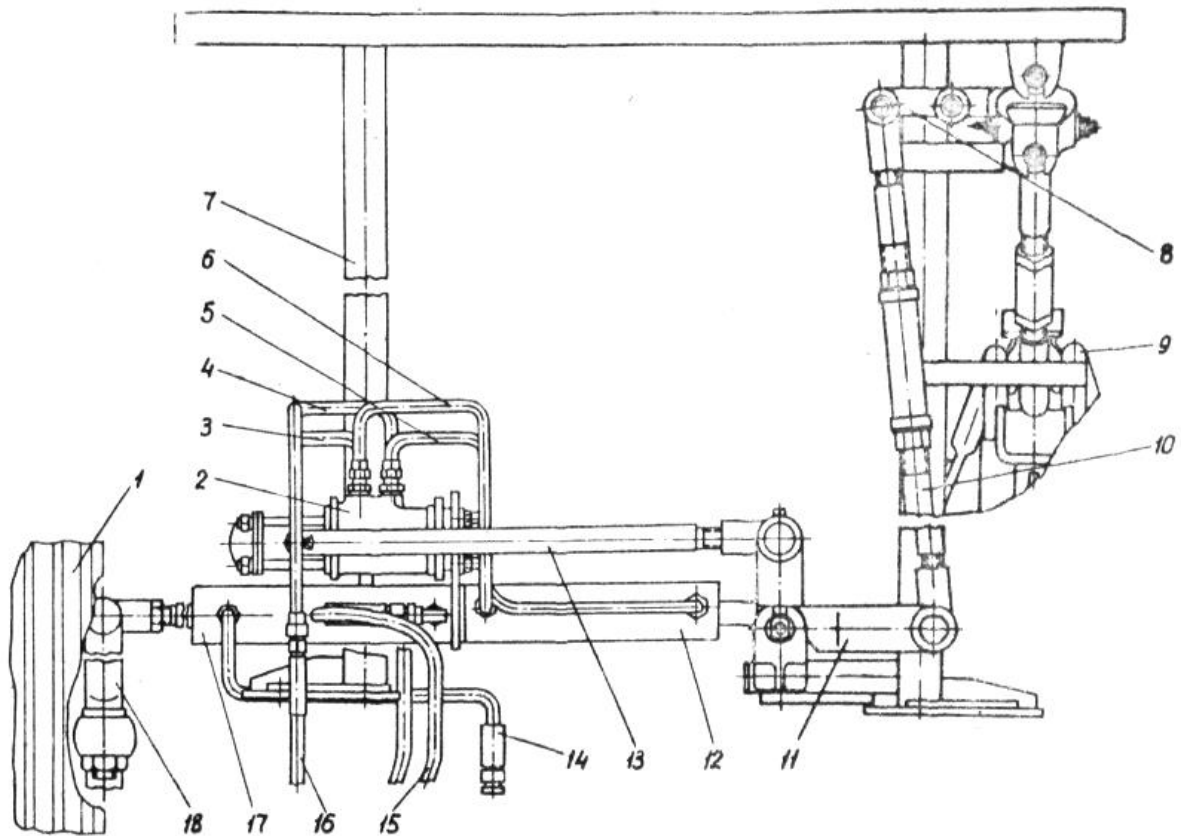
Паралелограмна підвіска забезпечує паралельність рухів копіїв при зміні висоти копіювання, а поворотні кронштейни дозволяють відхилятися копіям при копіюванні напрямку рядків.

Використання трьох копіїв підвищує надійність відслідковування рядків буряка, особливо при наявності пропусків коренів.

При русі машини копії, переміщаючись у міжряддях рядків, копіюють відхилення, що примушує їх повертатися у відповідний бік (вслід за рядками). Величина кута повороту копіїв від нейтрального положення є вихідним сигналом для автомата водіння.

Передавальний механізм служить для передачі сигналу від копіюючого пристрою на плунжер золотника. Цей процес здійснюється наступним чином. Поворот копіїв 9 (рис. 1.4) через регульовальний важіль 8, поздовжню тягу 10, двоплечовий важіль 11 і поперечну тягу 13 передається на плунжер золотника 2 і зміщує його з нейтрального положення у відповідний бік. Спрацьовує золотник. Подовжня тяга 10 має регулювання по довжині для настройки копіюючого пристрою і золотника у нейтральне (середнє) положення. Для зміни передавального відношення від копіюючого пристрою до золотника регульовальний важіль 8 має два отвори.

Механізм переведення переводить копіюючий пристрій у робоче чи транспортне положення. Механізм переведення (рис. 1.1, рис. 1.2) складається з валу 6, встановленого в двох опорах рами автомата водіння 5, двох фіксуючих пружин 10 з важелями 9, вилок-влівлювачів 8 і вилок-фіксаторів 4. Поворот валу у верхнє чи нижнє положення здійснюється гідроциліндром 4. Пружини 7 в нижньому положенні притискають копії до ґрунту.



1 - кероване колесо машини; 2 - золотник; 3, 4, 5, 6, 14, 15, 16 - трубопроводи; 7 - рама;
8 - регулювальний важіль; 9 - копір; 10 - позовжня тяга; 11 - двоплечовий важіль;
12, 17 - гідроциліндри; 13 - поперечна тяга; 16 - поворотний кронштейн

Рисунок 1.4 – Передавальний механізм і гідравлічна частина автомата водіння

Гідроциліндр 4 приєднаний до гідросистеми машини паралельно з гідроциліндром піднімання робочих органів (копачів). Тому при переведенні робочих органів, наприклад, в транспортне положення гідроциліндр 4 повертає одночасно вал 6 і закріплені в ньому вилки-вловлювачі 8 піднімають копір 6 копіюючого пристрою у верхнє (транспортне) положення. При цьому верхні штанги 1 паралелограмних підвісок крайніх копирів заходять у вилки-фіксатори 4, закріплені через стійки 3 на подовжніх трубах рами 5, в результаті чого в транспортному положенні копирі жорстко фіксуються від бокових зміщень.

При переведенні робочих органів у робоче положення гідроциліндр 4 опускає вилки-вловлювачі 8 в нижнє положення і закріплені до них пружини 7 притискують копирі до ґрунту. Причому вилки-вловлювачі відходять від

нижньої штанги паралелограмної підвіски, і копії 6 можуть вільно відхилятися від нейтрального положення в межах робочого ходу, обмеженого верхнім розкриттям вилок-вловлювачів.

При переведенні валу 6 в робоче або транспортне положення пружини 10, закріплені на кронштейнах 9 з двох боків валу, фіксують механізм переведення у верхньому або нижньому положенні, щоб виключати самовільне перемикання його від вібрації при русі машини.

Рама 5 (рис. 1.1) складається з двох поздовжніх і однієї поперечної труб. Кріпиться рама болтами до двох кронштейнів балки моста керованих коліс. На рамі розміщуються вузли і деталі автомата водіння.

Золотник призначений для розподілення потоку мастила з насосної установки: на злив - при нейтральному положенні чи в одну з порожнин гідроциліндра керування з одночасним перепуском мастила з іншої порожнини при надходженні вхідного сигналу від копіюючого пристрою.

Спарені гідроциліндри 12 і 17 (рис. 1.4) призначені для керування передніми колесами машини. Силовий гідроциліндр 17 і гідроциліндр керування 12 жорстко з'єднані між собою торцями, а з протилежних кінців виходять штоки. Шток силового гідроциліндра приєднаний до важеля 18 повороту керованих коліс, а шток гідроциліндра керування приєднаний до кронштейна, закріпленому на балці переднього моста.

Силовий гідроциліндр 17 сполучений трубопроводами 14 і 15 з насосом-дозатором кермового керування, а гідроциліндр керування 12 - із золотником 2 трубопроводами 6 і 5.

В процесі роботи автомата водіння у відповідності до вхідних сигналів золотник направляє потік мастила у ліву чи праву порожнину гідроциліндра керування 12. Оскільки кінець штока нерухомо закріплений на балці моста, то зміщується корпус гідроциліндра, і рух через силового гідроциліндр 17 та важіль 18 передається на керовані колеса, в результаті чого відбувається поворот коліс у відповідний бік.

Якщо поворотом кермового колеса через насос-дозатор зсунути шток силового гідроциліндра 17 вліво або вправо, то цим в режимі роботи автомата водіння можна коректувати рух машини відносно положення копіїв копіюючого пристрою і коректувати зсув машини відносно рядків буряка.

У екстрених випадках, при роботі машини з автоматом водіння, повертаючи рульове колесо, водій може через силовий гідроциліндр керувати рухом машини.

У транспортному положенні копіюючого пристрою золотник встановлює шток гідроциліндра керування 12 в нейтральне положення і тоді керування машиною здійснюється кермом через силовий гідроциліндр 17.

Насос-дозатор призначений для подачі мастила у порожнини силового гідроциліндра порціями залежно від кута повороту кермового колеса.

У положенні спокою керма ротаційний клапан насоса-дозатора знаходиться в нейтральному положенні і мастило, яке йде під тиском від насоса 34 (рис. 1.3), поступає через насос-дозатор далі до золотника 31.

При повороті рульового колеса від вхідного потоку відгалужується потік мастила, пропорційний повороту рульового колеса і подається у відповідну порожнину силового гідроциліндра 29. Шток гідроциліндра зміщується, і повертає керовані колеса 24 до тих пір, поки не буде досягнуто їх збігання з виконаним поворотом рульового колеса (з урахуванням передавального відношення). У даному випадку насос-дозатор працює в режимі золотника, і зусилля на рульовому колесі при цьому складає 30-40 Н (крутний момент менше 10 Н·м).

За відсутності вхідного потоку насос-дозатор автоматично перемикається в режим роботи насоса, при цьому здійснюється перекачування мастила з однієї порожнини силового гідроциліндра в іншу шляхом повороту рульового колеса. У цьому випадку зусилля на рульовому колесі зростає до 500-600 Н (максимальний крутний момент 125 Н·м) при тому ж геометричному передавальному відношенні повороту рульового колеса і керованих коліс.

Завдяки вмонтованим поворотним і запобіжним клапанам насос-дозатор запобігає передачі поштовхів, викликаних нерівностями дороги, на рульове колесо, і виключає перевантаження трубопроводів системи керування.

Насосна установка призначена для подачі мастила під тиском до гідровузлів автомата водіння. Насосна установка (рис. 1.3) складається з масляного резервуару 35, шестеренчастого насосу 34 до запобіжного клапану 2.

Масляний резервуар розташований позаду двигуна і складається з бачка, фільтру з перепускним клапаном і сапуна. Сапун підтримує постійний атмосферний тиск всередині бачка, а нижня частина його стержня є щупом і має дві відмітки - для виміру верхнього і нижнього рівня мастила в резервуарі. При чистому фільтрі мастило повністю проходить через нього, а при надмірно забрудненому, коли тиск досягає $1,5 \text{ кгс/см}^2$, на який регулюється перепускний клапан, частина мастила без фільтрації через клапан зливається в бачок.

В ланку гідросистеми керування паралельно підключений запобіжний клапан непрямої дії.

Для з'єднання гідравлічних вузлів використовують сталеві безшовні труби розміром 14x1,4 і 20x1,4 мм та шланги. У всіх маслопроводах високого тиску застосовуються ніпельні з'єднання з різью M20x1,5, за винятком гідроциліндра, штуцери якого мають різь M22x1,5. Шланги до гідроциліндра приєднується за допомогою перехідника.

Як впливає з принципу роботи автомату водіння, переведення в режим слідкування або транспортний режим здійснюється автоматично одночасно з переведенням робочих органів машини, а включення в роботу кермового керування не вимагає додаткових операцій, що забезпечує зручність експлуатації автомата водіння.

2. АНАЛІТИКО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1. Дослідження кінематики важільного механізму автомата водіння

Важільний механізм автомату складається із трьох ланок a , b , c . При цьому ланка a є ведучою, а ланка b – веденою. До ланки a приєднаний копір, який надає їй переміщення на кут φ_1 , від чого ланка b повертається на кут φ_3 .

Кінематична схема важільного механізму зображена на рис. 2.1, на якій вектори зображають відповідні ланки механізму, та показано кути їх повороту. Ланка d є базовою, відносно якої коливаються інші ланки механізму [1].

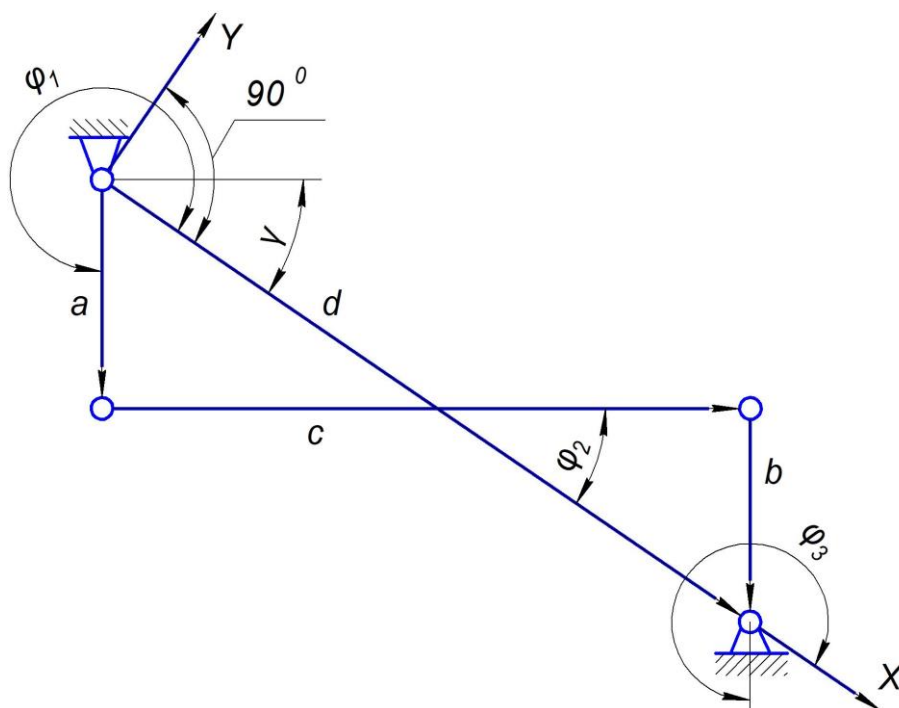


Рисунок 2.1 – Кінематична схема важільного механізму автомата водіння коренезбиральної машини

Для розрахунку кінематичних параметрів зручно застосовувати векторний метод замкнених контурів. Для вказаного механізму справедливе наступне векторне рівняння [9]:

$$\vec{a} + \vec{b} + \vec{c} = \vec{d}. \quad (2.1)$$

У проекціях на осі x та y рівняння (2.1) матиме вигляд:

$$\begin{cases} a \sin \varphi_1 + c \sin \varphi_2 + b \sin \varphi_3 = 0, \\ a \cos \varphi_1 + c \cos \varphi_2 + b \cos \varphi_3 = d, \\ d = \sqrt{(a+b)^2 + c^2}. \end{cases} \quad (2.2)$$

Для визначення залежності кута φ_1 від кута φ_3 необхідно перенести доданки з кутом φ_2 в ліву частину рівняння, а всі інші - у праву, після чого піднести обидва рівняння до квадрату та додати. В результаті перетворень отримаємо рівняння:

$$A \sin \phi_3 + B \cos \phi_3 = D, \quad (2.3)$$

де

$$A = ab \sin \phi_1;$$

$$B = ab \cos \phi_1 - bd;$$

$$D = ad \cos \phi_1 - (a^2 + b^2 + ab).$$

Розв'язок рівняння (2.3) матиме вигляд:

$$\phi_3 = \pm \arcsin\left(\frac{D}{\sqrt{A^2 + B^2}}\right) - \arctg \frac{B}{A}. \quad (2.4)$$

Знак перед арксинусом визначає одне із двох теоретично можливих конфігурацій положення механізму.

Для роботи вказаного механізму автомату водіння важливе значення має передатне відношення, тобто відношення зміни кута φ_3 до зміни кута φ_1 при малих кутах коливання останнього ($\pm 5^\circ$) відносно початкового положення:

$$\phi_n = \frac{3}{2} \pi + \arctg \frac{a+b}{c}. \quad (2.5)$$

Розрахуємо значення кута φ_3 у вказаному випадку та визначимо його відхилення від початкового значення.

Обчислимо передатне відношення як частку від ділення відхилення кута φ_3 до відповідного відхилення кута φ_1 :

$$k = \frac{\phi_3}{\phi_1}.$$

Для оцінки нерівномірності передатного відношення, при коливаннях ведучої ланки, введемо коефіцієнт нерівномірності у вигляді відношення біжучого значення передатного відношення до його значення у початковому положенні:

$$K_H = \frac{k}{k_n}. \quad (2.6)$$

Для досягнення передатного відношення $k_n = 3$, із конструктивних міркувань для реального автомату водіння, обираємо: $a = 150$ мм, $b = 50$ мм, $d = 170$ мм, обчислюємо $c = 262,49$ мм.

Розрахункові значення передатного відношення важільного механізму представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахункові значення передатного відношення механізму

Відхилення кута ведучої ланки α , град	Передатне відношення k_n	Коефіцієнт нерівномірності K_H
-5	3,036	1,012
-4	3,021	1,007
-3	3,012	1,004
-2	3,005	1,0015
-1	3,001	1,0005
0	3,000	1,000
1	3,001	1,0005
2	3,005	1,0015
3	3,010	1,0035
4	3,018	1,006
5	3,029	1,010

Наведені в таблиці 2.1 дані свідчать про достатню, для практики, лінійність керування автоматом за допомогою важільного механізму із вказаними довжинами ланок, причому нерівномірність, при відхиленні у різні сторони, із збільшенням кута стає неоднаковою, але не перевищує 1,2%.

2.2. Засоби та методика експериментальних досліджень

2.2.1. Лабораторна установка для експериментальних досліджень

З метою встановлення залежності між кутом відхилення копіра і кутом повороту керованих коліс необхідно виконати експериментальні дослідження. Для цього було створено лабораторну установку (рис. 2.2, а, б) на основі стандартного автомату водіння коренезбиральної машини.

Конструктивно лабораторна установка складається (рис. 2.2, в) з рами-візка 4 на яку встановлено стандартний механічно-гідравлічний автомат водіння 1 коренезбиральної машини.

Гідравлічна система лабораторної установки складається з шестеренчастого насоса 8 марки НШ-100А-3Л (з лівим обертанням шестерень), який приводиться в дію через пасову передачу 7 від трифазного електродвигуна 6. Живлення електродвигуна здійснюється від мережі 380 В через автоматичний вимикач 5.

Масило від шестеренчастого насоса 8 подається на насос-дозатор 11 (модель M&Z OSPC 100 ON), який стабілізує та регулює подачу робочої рідини у спарені гідроциліндри автомату водіння, які забезпечують повертання коліс переднього керованого моста коренезбиральної машини.

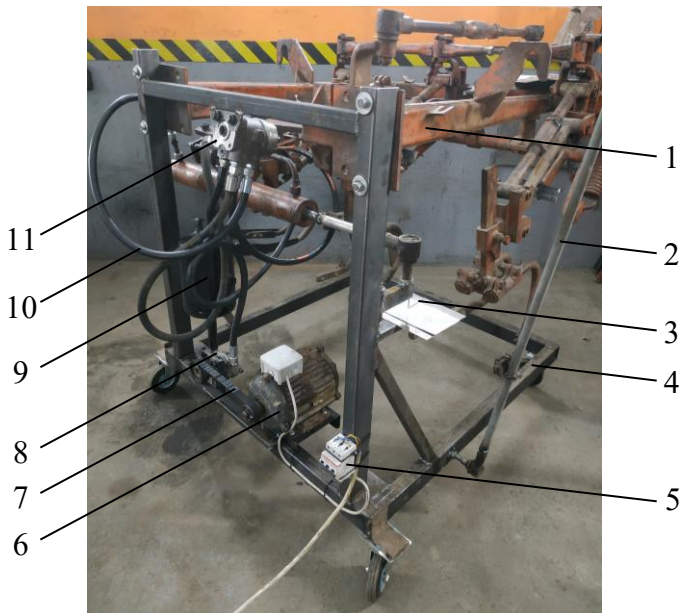
Керування спареними гідроциліндрами автомату водіння може здійснюватися або безпосередньо, за допомогою керма (рис. 2.2, а), або автоматично при дії збурення на копір автомату водіння.



а)



б)



в)



г)

а – вигляд спереду, б – вигляд збоку, в – складові; г – система реєстрації кута повороту;
 1 – автомат водіння; 2 – важіль навантаження копіра; 3 – показчик кута повороту керованих коліс; 4 – рама-візок; 5 – автоматичний вимикач; 6 – електродвигун; 7 – пасова передача; 8 – шестеренчастий насос; 9 – резервуар для мастила; 10 – гідрошланги; 11 насос-дозатор

Рисунок 2.2 – Лабораторна установка

Зовнішній вплив на копір автомату водіння здійснюється за допомогою важеля 2, який шарнірно приєднаний до рами-візка 4 та кінематично зв'язаний з ползком одного з копіїв автомату водіння.

Відхилення копіра на певний кут зумовлює спрацювання гідравлічної системи, що проявляється у переміщенні штоку спарених гідроциліндрів автомата водіння на певну величину у відповідному напрямку.

Для фіксації реакції гідросистеми автомату водіння на відхилення копіра під дією зовнішніх впливів лабораторна установка оснащена кутовою шкалою для відображення кута повороту стрілки показчика (рис. 2.2, г).

2.2.2. Методика експериментальних досліджень

Для визначення залежності кута повороту керованих коліс від кута повороту копіра при різних конструктивних і кінематичних параметрах важільного механізму автомата водіння необхідно провести серію дослідів.

Відомо, що чим більше відхилення коренезбиральної машини від траєкторії рядків, тим на більший кут відхиляться копії копіюючого пристрою і, відповідно, на більший кут повернуться керовані колеса. Пропорційність кута повороту керованих коліс куту відхилення копіїв забезпечується передавальним відношенням, яке утворюється прямим і зворотнім зв'язком. Коефіцієнт пропорційності визначається відношенням плеч важелів 14 і 20 прямого зв'язку та плеча важеля 32 зворотнього зв'язку (здійснюється через важіль 32, силовий гідроциліндр 29 і кронштейн 30) [1].

В прямому зв'язку, здійснюваному передавальним механізмом, передбачена можливість зміни передавального коефіцієнта за допомогою зміни довжини плеча важеля 14 (див. також поз. 8 на рис. 1.4). З цією метою на важелі 14 є два отвори, в які може переставлятися регульована тяга 19. Так, якщо зменшити довжину плеча важеля (переставити тягу 19 на ближній отвір важеля 14), то відхиленню копіїв відповідатиме менше зміщення плунжера золотника, а значить, і менший поворот керованих коліс, тобто коефіцієнт пропорційності

зменшиться.

Необхідність зміни коефіцієнта пропорційності пов'язана з тим, що залежно від польових умов роботи швидкість коренезбиральної машини може в значній мірі змінюватися. Але оскільки час спрацювання автомату водіння на вхідний сигнал залишається постійним, то при підвищенні швидкості керовані колеса необхідно повертати на більший кут, щоб машина встигала відстежувати рядки, тобто необхідно збільшувати коефіцієнт пропорційності.

Дослідження впливу кінематичних параметрів важільного механізму необхідно провести для обидвох положень тяги на плечах важеля 14, досягаючи передатного відношення важільного механізму $k = 3$ і $k = 2$.

Лабораторна установка обладнана двома покажчиками кута повороту – за кутовою шкалою, встановленою на важелі 14 контролювали заданий кут повороту копіра, а за кутовою шкалою на рамі установки контролювали кут повороту стрілки покажчика, який характеризує кут повороту колеса.

Досліди проводили на працюючому в номінальному режимі двигуні. Після переміщення копіра на певний кут, проводили відлік кута, на який повернулося кероване колесо. Під час досліджень копір зміщували вліво по ходу машини від нульового до максимального положення, кут повороту копіра мав фіксоване значення $\gamma = 2, 4, 6, 8$ та 10° .

Під час дослідів також визначали зону нечутливості системи за рахунок повільного переміщення копіра від нульового положення до моменту початку переміщення штока спареного гідроциліндра.

2.3. Дослідження залежності кута повороту керованих коліс від кута повороту копіра

З метою визначення залежності кута повороту φ керованих коліс коренезбиральної машини від кута повороту копіра γ було проведено серію дослідів, де досліджували залежності між згаданими кутами при зміні при зміні передавального коефіцієнта k_n важільного механізму. Результати досліджень подано у таблиці 2.2 та представлено на рис. 2.3.

Таблиця 2.2 – Результати експериментальних досліджень

Кут повороту копіра, γ , град	Кут повороту керованих коліс, φ , град	
	Передавальний коефіцієнт, k_n	
	$k_n = 2$	$k_n = 3$
2	3	5
4	7	10
6	9	15
8	13	20
10	17	25

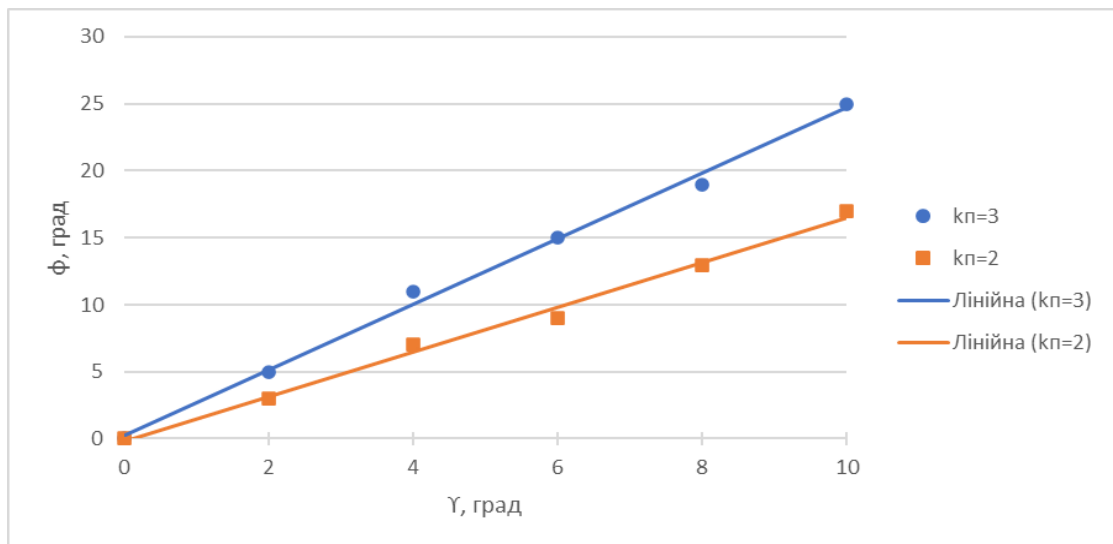


Рисунок 2.3 – Залежності кута повороту φ керованих коліс від кута повороту γ копіра при відповідних значеннях передавального коефіцієнта k_n важільного механізму

3. ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

3.1. Вибір конструктивних параметрів механізмів автомата водіння

У результаті аналізу експериментальних досліджень встановлено, що оптимальна чутливість автомата водіння досягається за умови, коли коефіцієнт k_{π}^K наближається до одиниці. У зв'язку з цим приймаємо $k_{\pi}^K = 1,0$, тобто кут повороту копіїв відповідає куту повороту керованих коліс. Регулювання чутливості автомата водіння доцільно здійснювати шляхом зміни довжин тяг важільного механізму автомата водіння [1].

Хід штока гідроциліндра автомата керування визначається не лише кількістю робочої рідини, що надходить у циліндр, але й напрямком корекції руху. Це зумовлено тим, що при повороті керованих коліс вліво задіюється підпоршнева порожнина гідроциліндра, у якій відсутній шток, тоді як при повороті вправо використовується надпоршнева порожнина зі штоком. Наявність штока зменшує робочий об'єм відповідної порожнини, унаслідок чого для забезпечення однакового переміщення штока в цьому випадку потрібна менша кількість робочої рідини порівняно з першим.

Зазначена особливість не впливає на точність водіння, оскільки конструкція автомата забезпечує подачу строго визначеної порції робочої рідини залежно від величини та напрямку повороту копіїра.

Довжину ходу штока гідроциліндра при повороті керованих коліс уліво визначають за відповідною розрахунковою залежністю:

$$l_{\pi} = \frac{4 \cdot V_{\kappa}}{\pi \cdot D^2}, \quad (3.1)$$

де V_{κ} - об'єм робочої рідини, що подається в гідроциліндр під час корекції напрямку руху, см^3 ;

D – внутрішній діаметр гідроциліндра, мм.

А при повороті коліс вправо:

$$l_n = \frac{4 \cdot V_k}{\pi \cdot (D^2 - d^2)}, \quad (3.2)$$

де d – діаметр штока гідроциліндра, см.

Підставивши значення D і d отримаємо:

$$l_n = 0,35 \cdot V_k, \quad (3.3)$$

$$l_n = 0,43 \cdot V_k. \quad (3.4)$$

Оскільки при повороті керованих коліс уліво для забезпечення однакового переміщення штока необхідна більша кількість робочої рідини, подальші розрахунки доцільно виконувати саме для цього режиму, за умови, коли $l = l_n = 0,35 \cdot V_k$, або

$$V_k = \frac{l}{0,35}. \quad (3.5)$$

З урахуванням конструктивних параметрів моста керованих коліс коренезбиральної машини визначимо функціональну залежність кута повороту керованих коліс від переміщення l штока гідроциліндра (рис. 3.1 та рис. 3.2).

$$\varepsilon_k = \arcsin \frac{l}{b}, \quad (3.6)$$

де b – відстань від осі повороту до точки з'єднання штоку гідроциліндра з важелями, $b=185$ мм або

$$l = b \cdot \sin \varepsilon_k, \quad (3.7)$$

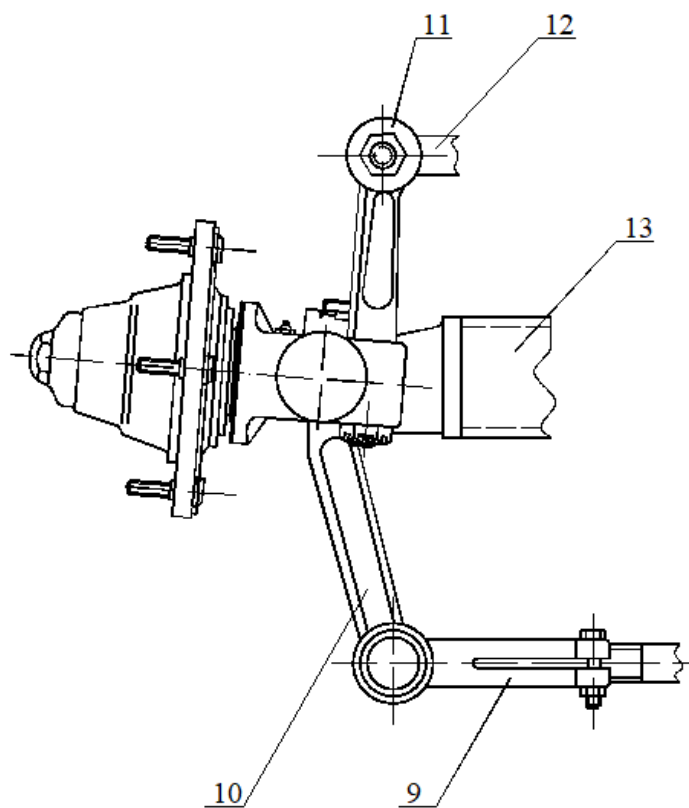
де ε_k - кут повороту керованих коліс комбайна.

Параметри важільного механізму обґрунтовано в розділі 2.1.

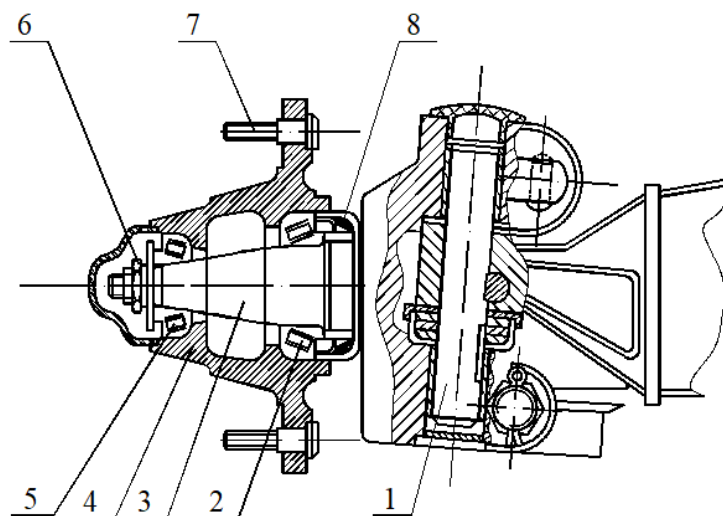
Кут повороту вала насоса-дозатора, в залежності від кута повороту копіра, визначається передаточним відношенням:

$$\psi_{II} = \beta_P \cdot i, \quad (3.8)$$

де β_P – кут повороту важеля редуктора, град.



а)



б)

а) – вид зверху; б) – вид ззаду;

1 – шкворінь; 2 – внутрішній підшипник; 3 – поворотний кулак;
 4 – маточна; 5 – зовнішній підшипник; 6 – стопорна гайка; 7 – болти кріплення колеса;
 8 – манжета; 9 – поперечна тяга рульової трапеції; 10 – важіль рульової трапеції;
 11 – важіль гідроциліндра; 12 – шток гідроциліндра; 13 – балка моста.

Рисунок 3.1 – Механізми повороту керованих коліс

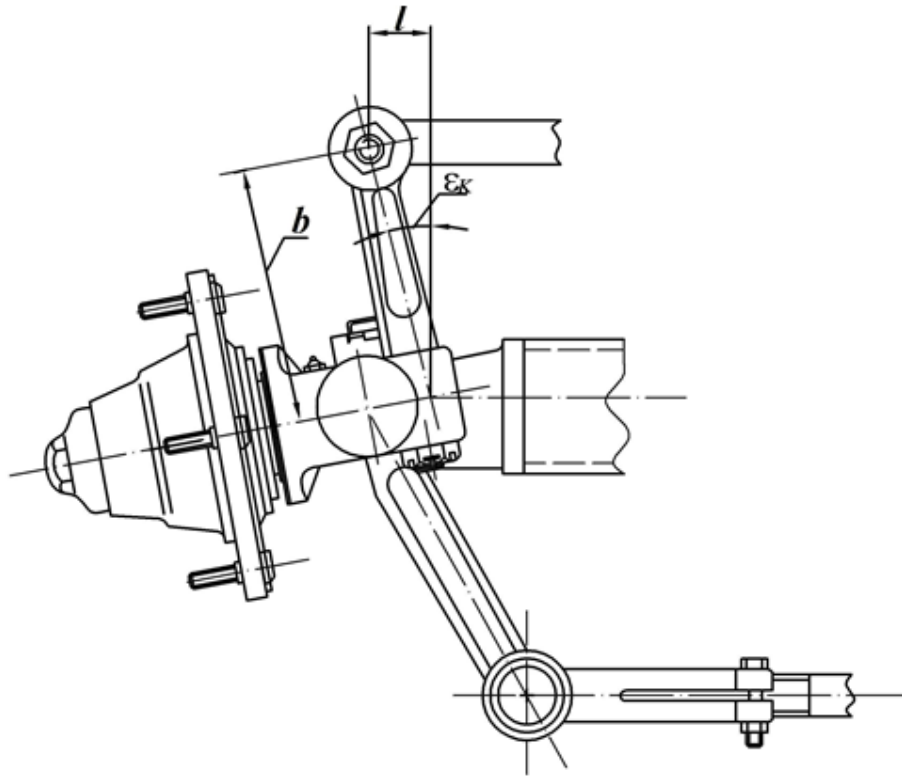


Рисунок 3.2 – Схема до визначення залежності кута повороту керованих коліс від ходу штока гідроциліндра

Об'єм робочої рідини, який насос-дозатор подає до гідроциліндра автомата керування, визначають за відповідною розрахунковою залежністю:

$$V_{\kappa} = \frac{Q \cdot (\psi_{\Pi} - \Delta_{\Pi})}{360}. \quad (3.9)$$

Звідси:

$$\psi = \frac{360 \cdot V_{\kappa}}{Q} + \Delta_{\Pi}. \quad (3.10)$$

Підставивши значення ψ в залежність (2.14) можна визначити необхідне передаточне відношення циліндричного редуктора

$$i = \frac{360 \cdot V_{\kappa} + Q \Delta_{\Pi}}{Q \cdot \beta_P}, \quad (3.11)$$

або

$$i = \frac{\psi_{\Pi}}{\beta_P}. \quad (3.12)$$

Виходячи з даних вхідного сигналу, який викликає поворот копіра на кут $\alpha=5^\circ$, що повинен відповідати куту повороту керованих коліс $\varepsilon=5^\circ$ визначимо необхідне передаточне відношення.

За залежністю (3.7) визначимо довжину ходу штока, що забезпечить необхідне значення ε : $l = 185 \cdot \sin 5^\circ = 14,5$ мм.

За залежністю (3.5) визначимо необхідну кількість рідини, яка забезпечить задане переміщення штока гідроциліндра:

$$V_{\kappa} = \frac{14,5}{0,35} = 41,5 \text{ см}^3.$$

За формулою (3.10) знаходимо потрібний кут повороту вала помпидозатора:

$$\psi_{\Pi} = \frac{360 \cdot 41,5}{160} + 6 = 99,4^\circ.$$

За теоретичними дослідженнями визначаємо кут β_P , при $\alpha = 5^\circ$:

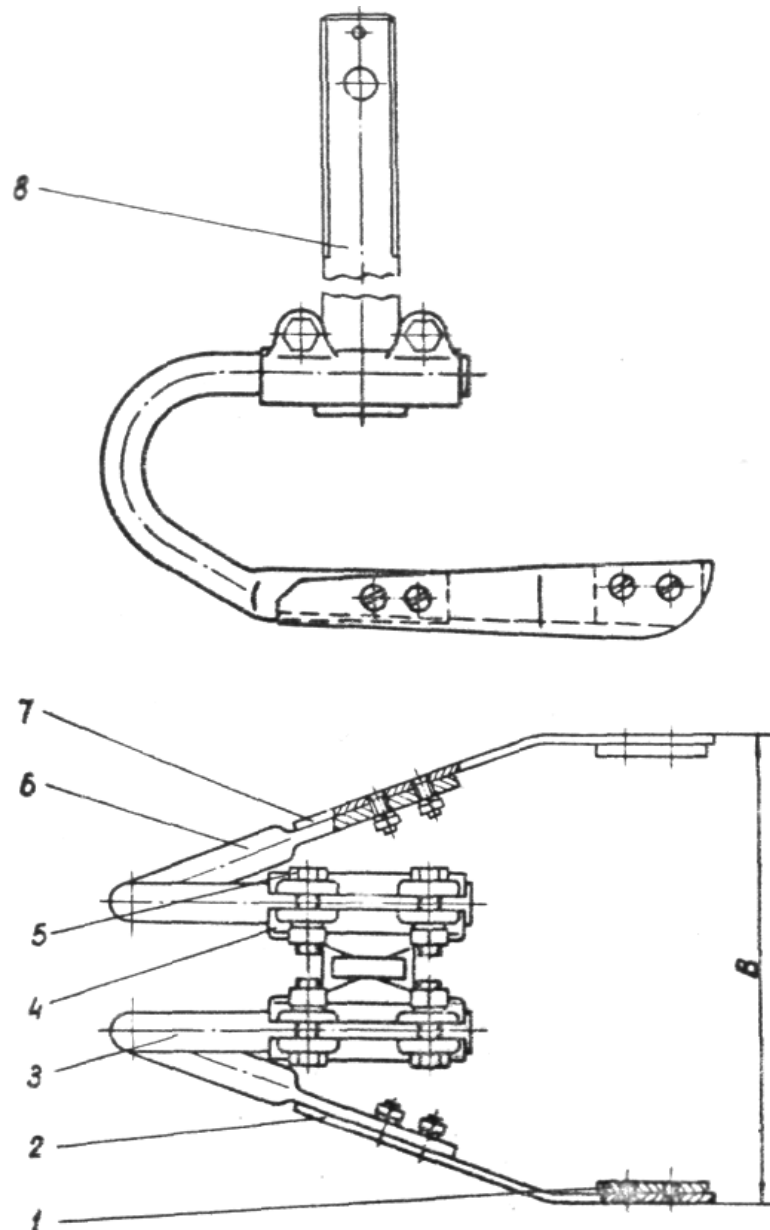
$$\beta_P = 5 \cdot 3,029 = 15,2^\circ.$$

Тоді, за залежністю (3.12) визначимо необхідне передаточне відношення:

$$i = \frac{99,4}{15,2} = 6,54.$$

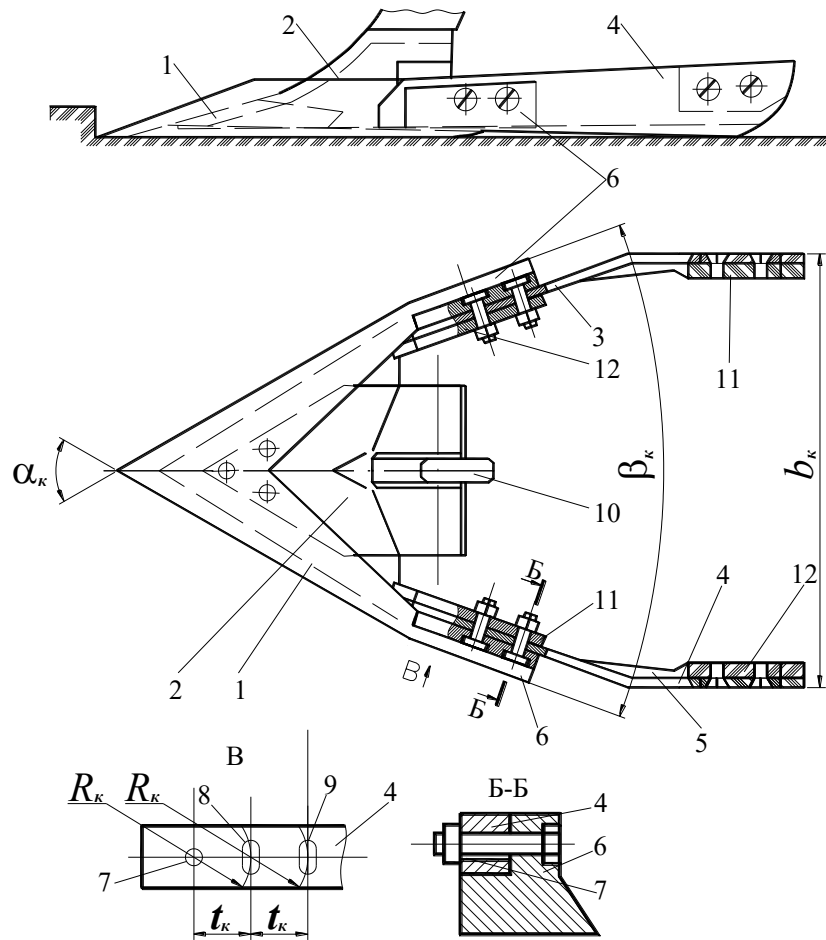
3.2. Обґрунтування параметрів копіїв автомата водіння

Для відслідковування рядків коренеплодів в конструкції автомата водіння передбачено використання двох основних типів копіїв. В роботі розглянуто копії полозкового типу (рис. 3.3) і копії-розпушувачі (рис. 3.4) з обґрунтуванням їх конструктивних і технологічних параметрів [1].



1 – планка; 2 – ліве перо; 3 – лівий полозок; 4 – затискний кронштейн; 5 – болт;
6 – правий полозок; 7 – праве перо; 8 – стійка.

Рисунок 3.3 – Копір полозкового типу



- 1 – культиваторна лапа; 2 – кронштейн кріплення; 3 – праве перо; 4 – ліве перо;
 5 – ребра жорсткості; 6 – видовжений кінець; 7 – циліндричний отвір;
 8, 9 – еліпсні пази; 10 – вертикальна стійка; 11, 12 – планки.

Рисунок 3.4 – Копір-розпушувач

В умовах сильного забур'янення посівних площ цукрових буряків, для забезпечення якісної роботи машини, як датчик використовують копір-розпушувач (рис. 3.4).

Копір-розпушувач містить культиваторну лапу 1, яка з обох боків має видовжені лезові частини та жорстко закріплюється на кронштейнах кріплення 2. До зазначених кронштейнів за допомогою кріпильних елементів нерухомо приєднані праве 3 і ліве 4 пера. У вершині культиваторна лапа 1 формує центральний кут атаки α_k , який на видовжених кінцях переходить у кут відстежування рядків β_k , менший за кут атаки. Сукупність культиваторної

лапи 1 та перів 3 і 4 утворює клиноподібну конструкцію необхідної робочої ширини, що забезпечує формування захисної зони по обидва боки копіра-розпушувача.

З метою підвищення міцності пера 3 і 4 оснащені ребрами жорсткості 5 відповідної конфігурації. Пера жорстко кріпляться до видовжених кінців 6 культиваторної лапи 1 двома болтами через крайні ліві циліндричні отвори 7 та еліпсні пази 8 або 9. Регулювання кута встановлення пер 3 і 4 відносно горизонту здійснюється за допомогою пазів 8 і 9. При цьому пази виконані у вигляді дуг радіусів $R_k^{R_k}$, що дорівнюють міжосьовій відстані між суміжними кріпильними отворами, а відстань між крайнім лівим циліндричним отвором 7 і пазом 8, а також між пазами 8 і 9 є однаковою та становить величину $t_k^{t_k}$.

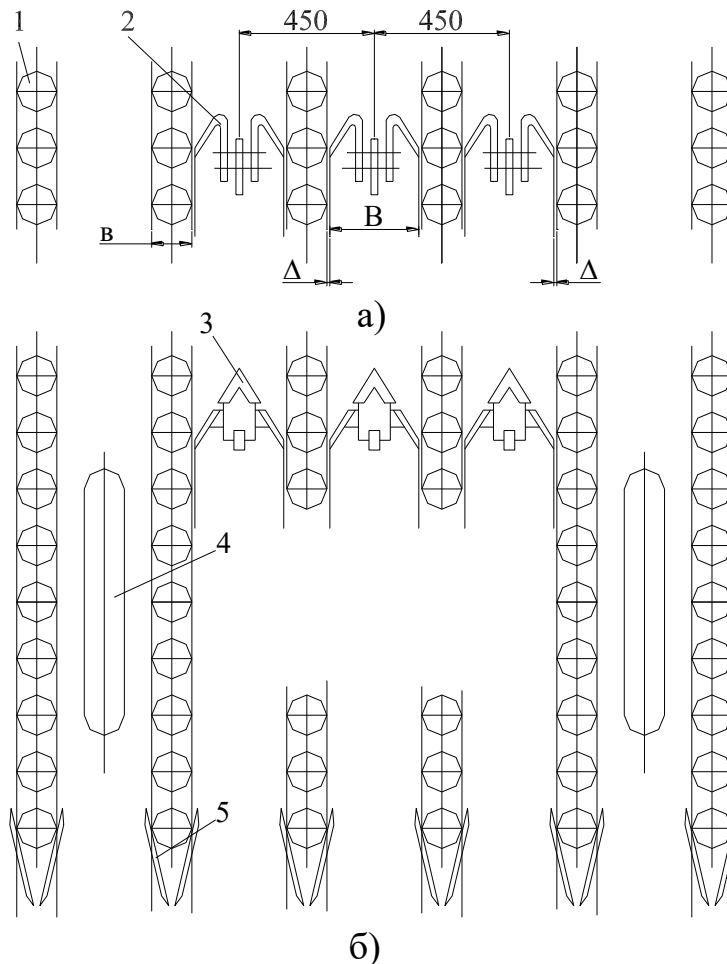
Кріпильний кронштейн 2 жорстко з'єднаний із вертикальною стійкою 10, яка, у свою чергу, закріплюється на рамі машини (на кресленні не показана). На кінцях перів 6 встановлюються планки 11 і 12, що підвищують загальну жорсткість копіра-розпушувача та покращують його контакт із ґрунтом.

Характерною особливістю копіра-розпушувача є використання культиваторної лапи як його вершини, яка жорстко закріплена на відповідному кронштейні, до якого приєднані ліве і праве пера з необхідними елементами кріплення. У такій конфігурації культиваторна лапа разом із перами формує клин заданої ширини, що забезпечує створення захисної зони з обох боків копіра. Функціональне призначення копіра-розпушувача полягає у відстежуванні рядків буряків, розпушуванні ґрунту та підрізанні бур'янів. Додатковою перевагою є стабілізація процесу орієнтації по рядках коренеплодів за малої висоти їх головок, а також запобігання різким коливанням робочих органів під час роботи.

Робота копіра-розпушувача здійснюється таким чином. Спочатку встановлюють необхідну ширину копіра $b_k^{b_k}$ і кут нахилу пер до горизонту за допомогою кріпильних елементів, використовуючи крайній лівий отвір 7 і паз 8 або пази 8 і 9. У разі зменшення загальної ширини $b_k^{b_k}$ пера 3 і 4 закріплюють

на видовжених кінцях 6 культиваторної лапи через пази 8 і 9. За потреби зміни ширини пера можуть також кріпитися до кронштейнів 2 через крайній лівий циліндричний отвір 7 і паз 8 або через пази 8 і 9. Після регулювання копирозпушувачі жорстко фіксуються на паралелограмній підвісці за допомогою вертикальної стійки 10, виставляються на однакову висоту, після чого машина готова до роботи.

На технологічній карті (рис. 3.5) представлено дві схеми датчиків-копірів, які контактують з коренями 1 цукрових буряків. На рис. 3.5,а представлено полозковий датчик з відповідними параметрами налагодження, а на рис. 3.5,б – копирозпушувач 3.



- а) – з використанням полозкового датчика 2; б) – з використанням копіра-розрихлювача 3;
 1 – рядки буряків, 2 – полозковий копир, 3 – копир-розпушувачі, 4 – колеса машини,
 5 – викопуючі диски.

Рисунок 3.5 – Технологічна карта встановлення копирів автомата керування бурякозбиральної машини

Для забезпечення надійного та точного відстежування (копіювання) рядків необхідно вибрати таку відстань установлення датчиків, за якої плоскі елементи пер не заклинюватимуться коренеплодами направляючих рядків, але водночас не будуть надмірно віддалені від них. Таким чином, датчики мають працювати з мінімально можливим зазором відносно рядка.

Величина розхилу датчиків B (рис. 3.5) визначається рівнем урожайності буряків і встановлюється безпосередньо під час заїзду машини в рядки на плантації. За ширини міжряддя 450 мм розтір датчиків обчислюють за такою залежністю:

$$B=450-(\varphi+2\Delta), \quad (3.13)$$

де φ – ширина рядка коренів, мм;

Δ – ширина захисної зони, мм.

Ширина рядка вважається рівною найбільшому діаметру кореня на контрольному відрізку.

Величина захисної зони Δ (рис. 3.5) для полозкового датчика рекомендується в межах 5-10 мм, і для датчика “копір-розрихлювач” – 15-20 мм. У випадку частого спрацьовування автомата водіння рекомендується збільшити Δ , а при виникненні пошкодження коренів через неточність водіння – зменшити Δ [1].

Визначивши розхил датчиків B , виставляють ширину пер наступним чином. У полозковому датчику (рис. 3.3) відпускають стяжні болти 5 на кронштейнах 4 і обертаючи полозки 3 і 6, розставляють розхил пер 2 і 7 симетрично відносно стійки 8 на ширину B .

В датчику типу „копір – розпушувач” (рис. 3.4) пера 3 і 4 розставляють на ширину B переміщенням пер між видовженим кінцем 6 та планкою 11, попередньо відпустивши стяжні болти, які можуть вільно переміщатися у циліндричних отворах 7.

При цьому, крім симетричності пер відносно осі рядка, необхідно забезпечувати паралельність їх відносно поверхні ґрунту.

Встановлення датчиків на ширину міжрядь (450 мм) здійснюється з допомогою поперечної тяги 12 (рис. 2.4), яка має для цього гвинти 11 (між підвісками датчиків). Відпустивши затискні гайки 10 та повертаючи у відповідний бік регулювальний гвинт 11, встановлюють відстань між стійками 9 суміжних датчиків, рівною 450 мм.

Регулювання кута копіювання датчика. Встановлено, що найточніше копіювання міжрядь датчиком типу „копір - розпушувач” відбувається при глибині його ходу в межах 20-30 мм. Надлишкове заглиблення культиваторної лапи 1 (рис. 3.4) знижує чутливість датчика, оскільки зусилля з боку коренів рядка може виявитися недостатнім для зміщення „копіра - розпушувача”. Зростання опору руху може також викликати поломки підвіски датчика. При виглибленні культиваторної лапи датчика знижується надійність копіювання рядків і може відбуватись накопичення рослинної маси на культиваторну лапу, що викликає підняття над поверхнею „копіра - розпушувача”.

Регулювання кута копіювання проводиться за допомогою регулювального гвинта верхньої тяги паралелограмної підвіски 4 (рис. 2.4). При зменшенні довжини тяги кут збільшується, а при збільшенні довжини тяги - зменшується.

Після регулювання кута копіювання (особливо на ґрунтах підвищеної густини) необхідно кінці пер 3 та 4 (рис. 3.4) притиснути до низу і надійно закріпити стяжними болтами між видовженим кінцем 6 та планкою 11. Необхідно слідкувати, щоб не порушувався контакт пер по довжині (пера втискалися в ґрунт).

При встановленні датчиків полозкового типу регулюванням довжини верхньої тяги паралелограмної підвіски забезпечується контакт пер по всій довжині. Для запобігання попадання датчиків в робочі органи машини

необхідно надійно закріплювати стійки 9 (рис. 2.4) в кронштейнах 8 паралелограмної підвіски штопорними болтами 7 та фіксувати шпінтами 6.

Використання трьох датчиків підвищує надійність відслідковування рядків буряка, особливо при наявності пропусків коренів. Для усереднення показів датчики жорстко сполучені між собою поперечною тягою 12 (рис.2.4).

При русі машини датчики, переміщаючись у міжряддях рядків, копіюють відхилення, що примушує їх повертатися у відповідний бік (вслід за рядками). Величина кута повороту датчиків від нейтрального положення є вихідним сигналом для автомата водіння.

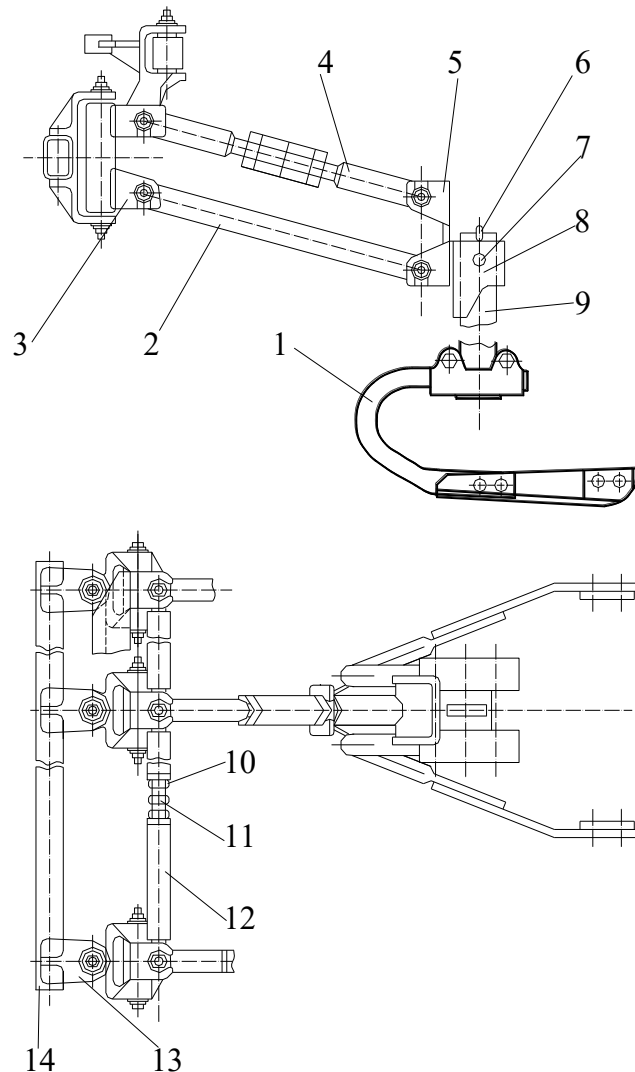
На забур'ячених площах в копірах автоматичного водіння коренезбиральної машини здійснюється відслідковування трьох рядків – одного центрального і двох крайніх. При цьому відслідковування центрального рядка здійснюється копіром з лівим і правим перами, а крайнього правого – тільки лівим, а крайнього лівого – тільки правим, з утворенням в останніх односторонніх зон відповідно лівої і правої.

3.3. Обґрунтування параметрів роботи системи керування з різними копірами

Автомат водіння коренезбиральної машини являє собою гідромеханічну слідувальну систему, призначену для забезпечення заданої точності орієнтації та стабільного напрямку руху машини вздовж рядків коренеплодів цукрових буряків.

Копіювальний пристрій (рис. 3.6) призначений для відстежування рядків коренеплодів у процесі руху машини. Він складається з трьох датчиків-копірів 1 ползкового типу, які встановлені за допомогою паралелограмних підвісок 2 і 4 та кронштейнів 3 і 5. Датчики-копіри 1 жорстко з'єднані між собою

поперечною тягою 12 з регулювальним гвинтом 11 і підвішені до горизонтального бруса рами на поворотних кронштейнах 3 [1].



1 – датчик-копір полозкового типу; 2, 4 – паралелограмна підвіска; 3 – кронштейн поворотний; 5 – кронштейн паралелограмної підвіски; 6 – шплінт; 7 – болт фіксації; 8 – кронштейн датчика; 9 – стійка датчика; 10 – гайка фіксації; 11 – регулювальний гвинт; 12 – поперечна тяга; 13 – кронштейн; 14 – рама

Рисунок 3.5 – Пристрій копіювання міжрядь коренеплодів

Паралелограмні підвіски 2 і 4 забезпечують збереження паралельності руху датчиків-копірів під час зміни висоти копіювання, а поворотні кронштейни дозволяють копірам відхилятися при відтворенні напрямку рядків.

Застосування трьох датчиків-копірів підвищує надійність відстежування викопувальних рядків, зокрема за наявності пропусків коренеплодів. Водночас

де L – висота копіра;

α - кут відхилення копіра;

Величину BD визначимо з рівняння піднімання копіра при зміні кута його нахилу α з $\triangle OAD$:

$$BD = OD - R, \quad (3.15)$$

$$\sin(90^\circ - \alpha) = h / (OD - R), \quad (3.16)$$

$$h = (OD - R) \cos \alpha,$$

де h – висота підйому копіра.

З теореми синусів з $\triangle OAD$ і $\triangle BKD$ справедливе таке співвідношення:

$$OA/BK = OD/BD; BK = R \cdot BD / OD = R \cdot (OD - R) / OD.$$

Спростивши вираз, отримаємо залежність для висоти підймання копіра:

$$h = R^2 (1/R - 1/OD) = R(1 - 1/OD \cdot R). \quad (3.17)$$

3.4. Розрахунок НДС поворотного кронштейна

Проведемо аналіз напружено-деформованого стану (НДС) кронштейна поворотного автомату водіння самохідної коренезбиральної машини, який забезпечує функціонування механічної копіювальної частини автомату.

Для цього створюємо 3D-модель кронштейна за допомогою системи твердотільного моделювання Компас-3D (рис. 3.8, а). Задаємо умови защемлення у нижній частині кронштейна (рис. 3.8, б). Задаємо зовнішнє навантаження у верхній частині. Для цього у отворах, до яких кріпиться циліндр тяги паралелограмної підвіски, задаємо зусилля $P_p = 500 \text{ Н}$ (рис. 3.8, в).

Створюємо сітку кінцевих елементів (рис. 3.8, г) [12].

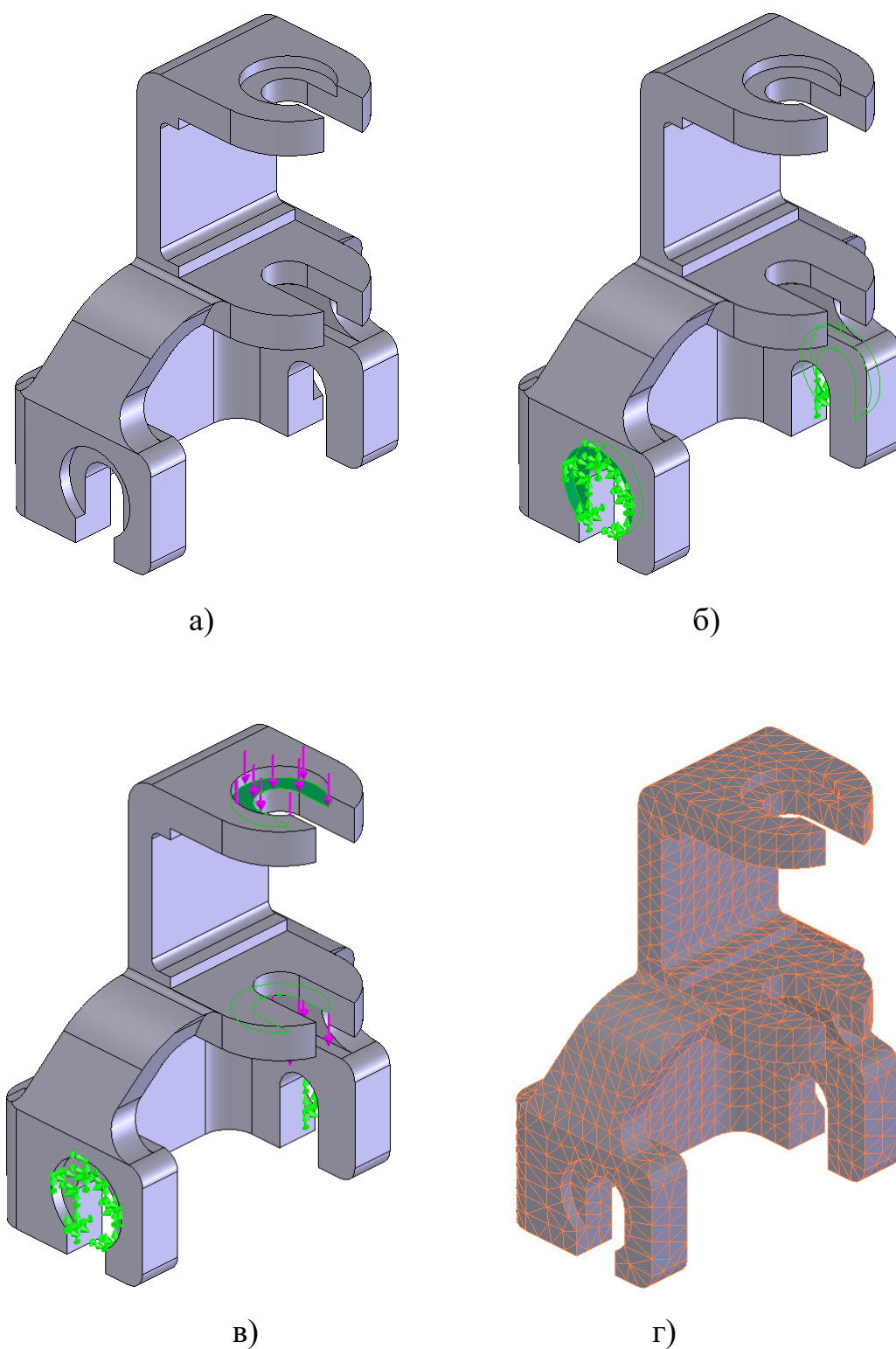
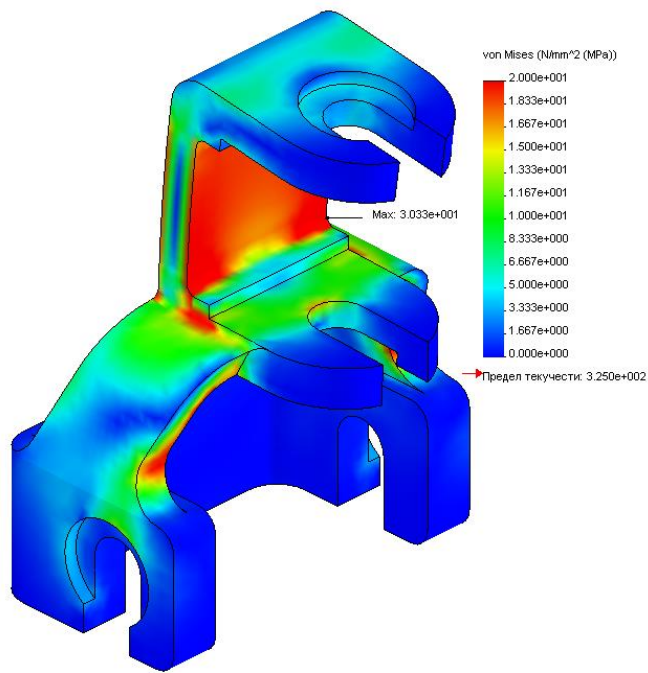
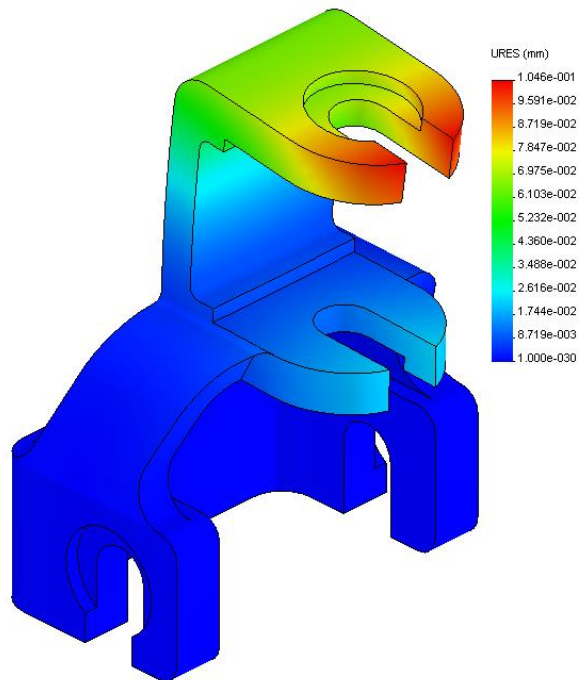


Рисунок 3.8 – Підготовка моделі кронштейна поворотного до аналізу НДС

Результати розрахунку напружено-деформованого стану кронштейна за допомогою модуля кінцевоелементного аналізу Simulation системи тривимірного моделювання SolidWorks подано на рис. 3.9.



а)



б)

Рисунок 3.9 – Результати розрахунку НДС кронштейна поворотного:
а - напруження, МПа (за теорією Фон Мізеса); б - переміщення точок, мм.

Як бачимо з результатів розрахунків, найбільш небезпечною ділянкою кронштейна є його середня частина, де виникають максимальні напруження $\sigma \approx 30$ МПа. Найбільше переміщення точок кронштейна становить $\approx 0,1$ мм.

Результати аналізу коефіцієнтів запасу міцності кронштейна поворотного показано на рис. 3.10.

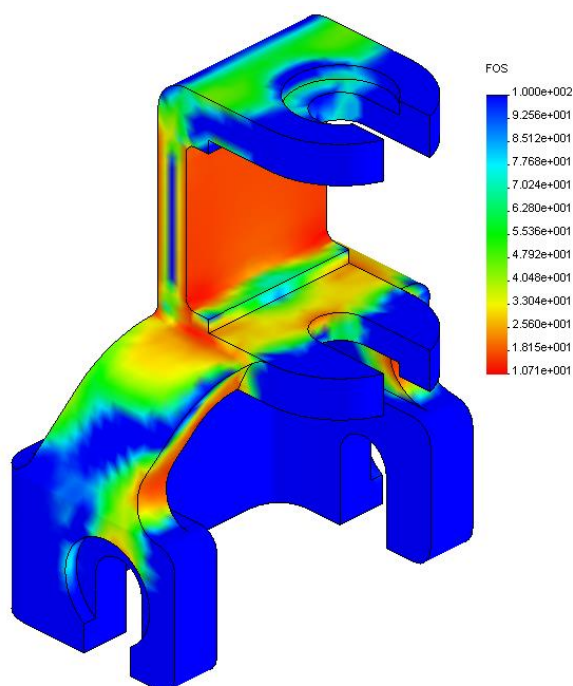


Рисунок 3.10 – Розподіл запасу міцності у кронштейні поворотному

Мінімальний коефіцієнт запасу міцності становить ≈ 11 .

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Охорона праці під час дослідження роботи автомату водіння

Охорона праці при дослідженні автомату водіння коренезбиральної машини є складовою системи забезпечення безпеки праці в агроінженерній галузі та регламентується чинним законодавством України, зокрема Законом України «Про охорону праці», Кодексом законів про працю України, а також галузевими нормативно-правовими актами та державними стандартами. Особливістю даної теми є поєднання двох потенційно небезпечних сфер діяльності – експлуатації сільськогосподарської машини з автоматизованою системою керування та проведення експериментальних досліджень на лабораторному стенді з використанням електротехнічних, електронних і механічних компонентів.

Відповідно до вимог НПАОП 01.0-1.01-12 «Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві», експлуатація коренезбиральних машин та проведення дослідницьких робіт з їх системами керування відносяться до робіт підвищеної небезпеки, що потребує спеціальної організації робочих місць, навчання персоналу та контролю технічного стану обладнання. Особливої уваги потребують автоматизовані системи водіння, оскільки їх відмова або некоректна робота може призвести до втрати керованості машини та створення небезпечних ситуацій для оператора і навколишніх осіб.

Під час дослідження автомату водіння на лабораторному стенді на обслуговчий персонал можуть впливати механічні, електричні, фізичні та психофізіологічні небезпечні фактори. До механічних факторів належать рухомі елементи стенду, імітатори виконавчих механізмів рульового керування, приводи датчиків положення, а також можливість раптового переміщення елементів у разі програмної або апаратної помилки. Згідно з ДСТУ EN ISO 12100, при проєктуванні експериментальних установок необхідно виконувати

систематичну ідентифікацію небезпек і оцінювання ризиків з подальшим впровадженням технічних і організаційних заходів для їх зменшення.

Електрична небезпека є однією з основних при роботі з лабораторним стендом автомату водіння, оскільки система зазвичай включає джерела живлення, електронні блоки керування, датчики, сервоприводи та комутаційну апаратуру. Вимоги до безпечної експлуатації електроустановок споживачів встановлені ДНАОП 0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів». Відповідно до цього документа, усі струмопровідні частини повинні бути ізольовані або закриті захисними кожухами, а металеві корпуси обладнання – заземлені. Роботи з налагодження, вимірювання та ремонту електричних схем дозволяється виконувати лише особам, які мають відповідну групу з електробезпеки.

Фізичні фактори під час експериментальних досліджень проявляються у вигляді підвищеного рівня шуму та вібрацій, які можуть виникати при роботі приводів стенду або при імітації режимів реальної коренезбиральної машини. Вимоги щодо захисту працівників від шкідливого впливу вібрації встановлені ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008, який регламентує допустимі рівні вібрації та методи їх контролю. Надмірні вібрації не лише негативно впливають на здоров'я персоналу, а й можуть спотворювати результати експериментів, що знижує достовірність досліджень автомату водіння.

Організація безпечних умов праці передбачає чітке дотримання вимог щодо навчання та інструктажів з охорони праці. Згідно з НПАОП 0.00-4.12-05, усі працівники, залучені до експлуатації лабораторного стенду або проведення досліджень, повинні проходити вступний, первинний та періодичний інструктажі, а також перевірку знань з питань охорони праці. Особливу увагу слід приділяти інструктажам щодо безпечної роботи з автоматизованими системами керування, програмним забезпеченням і аварійними режимами.

Конструкція лабораторного стенду повинна відповідати вимогам безпеки машин і обладнання, визначеним у ДСТУ EN ISO 13857, який встановлює

безпечні відстані для запобігання доступу до небезпечних зон. Рухомі елементи стенду мають бути огорожені, а доступ до них дозволений лише після повної зупинки системи та знеструмлення. Елементи керування, зокрема кнопки пуску та аварійної зупинки, повинні бути розташовані у зручних і безпечних місцях, легко ідентифіковані та позначені відповідно до ДСТУ EN ISO 7010:2019.

Під час дослідження автомату водіння, який у перспективі застосовується на реальній коренезбиральній машині, необхідно враховувати ергономічні аспекти роботи оператора. Неправильне налаштування інтерфейсу керування, надмірне інформаційне навантаження або затримки у реакції системи можуть призводити до підвищеної втоми та помилок керування. Це, у свою чергу, створює потенційні небезпеки під час експлуатації машини в польових умовах. Тому при розробці і дослідженні автомату водіння доцільно враховувати вимоги стандартів з ергономіки та безпеки людино-машинної взаємодії.

Охорона праці під час дослідження автомату водіння коренезбиральної машини та експлуатації лабораторного стенду є комплексним завданням, що поєднує технічні, організаційні та санітарно-гігієнічні заходи. Дотримання вимог НПАОП 01.0-1.01-12, НПАОП 0.00-4.12-05, ДНАОП 0.00-1.21-98, а також стандартів ДСТУ EN ISO 12100, ДСТУ EN ISO 13857 і ДСТУ EN ISO 7010:2019 забезпечує створення безпечних умов праці та підвищує надійність і достовірність результатів досліджень.

4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях при експлуатації автомату водіння коренезбиральної машини

Безпека в надзвичайних ситуаціях є невід'ємною складовою системи управління охороною праці та цивільного захисту на підприємствах і в навчально-наукових лабораторіях. Відповідно до Кодексу цивільного захисту України, надзвичайні ситуації поділяються на техногенні, природні та соціальні, а їх виникнення під час експлуатації автоматизованих

сільськогосподарських машин може призвести до серйозних наслідків для здоров'я людей і збереження матеріальних цінностей.

Під час роботи коренезбиральної машини з автоматом водіння найбільш імовірними є надзвичайні ситуації техногенного характеру, пов'язані з відмовами систем керування, порушенням електроживлення, збоєм програмного забезпечення або механічними несправностями виконавчих механізмів. Некоректна робота автомату водіння може спричинити втрату курсової стійкості машини, вихід за межі технологічного коридору руху або зіткнення з перешкодами. З метою запобігання таким ситуаціям система повинна мати режими ручного керування та аварійного відключення, що відповідає принципам безпечного проєктування згідно ДСТУ EN ISO 12100.

Надзвичайні ситуації можуть виникати і під час експлуатації лабораторного стенду. До них належать короткі замикання, займання електрообладнання, руйнування механічних елементів або неконтрольований рух приводів. Пожежна небезпека є особливо актуальною при використанні електронних блоків живлення та силових модулів. Відповідно до вимог пожежної безпеки, лабораторні приміщення повинні бути оснащені первинними засобами пожежогасіння, а персонал – навчений діям у разі пожежі згідно з програмами інструктажів за НПАОП 0.00-4.12-05.

У разі виникнення аварійної ситуації з електрообладнанням першочерговим заходом є негайне знеструмлення стенду або машини та недопущення контакту людей зі струмопровідними частинами. Дії персоналу в таких умовах повинні відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98, які регламентують порядок безпечного відключення електроустановок та надання першої допомоги при ураженні електричним струмом.

Аварійні ситуації, пов'язані з механічними пошкодженнями або руйнуванням елементів стенду, можуть призводити до вторинних небезпек, зокрема падіння деталей, травмування обслуговуючого персоналу або пошкодження електричних мереж. Для мінімізації наслідків таких ситуацій

конструкція стенду повинна передбачати механічні обмежувачі руху, запобіжні кожухи та можливість швидкої зупинки системи. Безпечні відстані та вимоги до огорожень визначаються ДСТУ EN ISO 13857.

Природні надзвичайні ситуації, такі як гроза, різкі перепади напруги або аварійні відключення електроенергії, також можуть впливати на безпеку проведення досліджень. Для захисту електронних компонентів автомату водіння доцільно застосовувати стабілізатори напруги та пристрої захисту від імпульсних перенапруг. У разі тривалого відключення електроенергії роботи на лабораторному стенді повинні бути припинені, а обладнання – переведене у безпечний стан.

Особливу увагу необхідно приділяти діям персоналу у разі травмування. При будь-якому нещасному випадку першочерговими є зупинка обладнання, надання домедичної допомоги постраждалому та виклик медичних служб. Подальші дії здійснюються відповідно до внутрішніх інструкцій підприємства та вимог чинного законодавства щодо розслідування нещасних випадків.

Для ефективного реагування на надзвичайні ситуації важливе значення має інформаційне забезпечення. У лабораторних приміщеннях і на робочих місцях повинні бути розміщені попереджувальні та приписувальні знаки безпеки відповідно до ДСТУ EN ISO 7010:2019, а також схеми евакуації і вказівки щодо дій у разі аварії. Це забезпечує швидке орієнтування персоналу та зменшує імовірність паніки в критичних умовах.

Таким чином, безпека в надзвичайних ситуаціях при дослідженні автомату водіння коренезбиральної машини та роботі з лабораторним стендом ґрунтується на поєднанні технічних рішень, організаційних заходів і належної підготовки персоналу. Дотримання вимог НПАОП 01.0-1.01-12, НПАОП 0.00-4.12-05, ДНАОП 0.00-1.21-98 та стандартів ДСТУ EN ISO 12100, ДСТУ EN ISO 13857 і ДСТУ EN ISO 7010:2019 дозволяє суттєво знизити ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій і мінімізувати їх наслідки.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі на основі аналізу конструкції автомата водіння коренезбиральної машини досліджено його гідравлічно-кінематичну схему і встановлено взаємозв'язок між копіюючим пристроєм, передавальним механізмом і системою керування керованими колесами машини. Показано, що ефективність роботи автомата водіння істотно залежить від передавального відношення важільного механізму та параметрів зворотного зв'язку.

На основі кінематичного аналізу важільного механізму автомата водіння отримано аналітичну залежність між кутом повороту копіра та кутом повороту керованих коліс, а також визначено передавальне відношення механізму. Встановлено, що за прийнятих конструктивних параметрів важільного механізму забезпечується достатня лінійність керування, а коефіцієнт нерівномірності не перевищує допустимих.

З метою експериментальної перевірки теоретичних положень розроблено та виготовлено лабораторну установку для дослідження роботи автомата водіння. Запропонований стенд дозволяє моделювати роботу автомата в контрольованих умовах, змінювати кінематичні параметри важільного механізму та фіксувати реакцію системи керування на зовнішні впливи на копір

За результатами експериментальних досліджень встановлено залежності між кутом повороту копіра та кутом повороту керованих коліс для різних значень передавального коефіцієнта важільного механізму. Підтверджено, що збільшення передавального відношення приводить до зростання чутливості автомата водіння, що є доцільним за підвищених робочих швидкостей коренезбиральної машини.

Отримані теоретичні та експериментальні результати можуть бути використані в навчальному процесі при підготовці фахівців спеціальності Агроінженерія.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Автомат водіння коренезбиральної машини КС-6Б: Технічний опис, основні регулювання, правила експлуатації. Тернопіль, 1979. 42 с.
2. Бабій А.В. Динаміка машин. Навчальний посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування» та 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Магістр» / А.В. Бабій, Т.А. Довбуш, М.В. Бабій, О.І. Ткаченко, М.Я. Сташків. Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2023. 246 с.
3. Безпека життєдіяльності / За ред. Я. Бедрія. Львів: Афіша, 1998. 275 с.
4. Бережецький О.В. Підвищення точності водіння коренезбиральних машин в технологічному процесі вирощування цукрових буряків: Автореферат дисертації. Харків, 1996. 26 с.
5. Білик С.Г. Кінематичний аналіз руху комбайна з напрямним копиром // Науковий вісник Національного аграрного університету. Вип. 60. Київ: Вид-во НАУ, 2003. С.37-44.
6. Воліховський В. Особливості застосування систем автоматичного керування сільськогосподарською технікою // Матер. VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». Тернопіль: ТНТУ, 2018. С. 185.
7. Гайченко В.А. Основи безпеки життєдіяльності людини. К.: МАУП, 2002. 232 с.
8. Гевко Б.М. Дослідження стійкості руху бурякозбирального комбайна обладнаного автоматом керування / Б.М. Гевко, С.Г. Білик // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Вип. 15 „Підвищення надійності відновлюємих деталей машин”. Харків: ХНТУСГ, 2003. С. 106 – 109.
9. Гевко Б.М. Обґрунтування конструктивних параметрів автомата водіння бурякозбирального комбайна / Б.М. Гевко, С.Г. Білик // Машинознавство, 2003. №4. С. 40-43.

10. Гевко Р.Б. Системи доочищення коренеплодів при їх механізованому збиранні: монографія / Р.Б. Гевко, І.Г. Ткаченко, Р.М. Рогатинський, С.В. Синій та ін. Тернопіль: Осадца Ю. В., 2020. 216 с.
11. Довбуш Т.А. Опір матеріалів: навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи / Т.А. Довбуш, Н.І. Хомик, А.В. Бабій, Г.Б. Цьонь, А.Д. Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.
12. Кветний Р.Н. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень / Р.Н. Кветний, І.В. Богач, О.Р. Бойко та ін. / За ред. Р.Н. Кветного. У двох част. Вінниця: ВНТУ, 2012.
13. Машина коренезбиральна самохідна КС-6Б. Технічний опис та інструкція з експлуатації. Тернопіль: Облполіграфвидат., 1981. 196 с.
14. Олексюк В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія». / В.П. Олексюк, А.В. Бабій, М.Я. Сташків, Н.І. Хомик та ін. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. 93 с.
15. Пат. 53989 А, України, МКИ А01В69/04. Пристрій для автоматичного керування самохідною машиною по рядках рослин / І.Б. Гевко, С.Г. Білик, В.М. Осуховський. №2002043028; Опубл. 17.02.2003. Бюл. №2.
16. Попович П.В. Моделювання експлуатаційної навантаженості несучих систем розкидачів добрив типу ПРТ–10 / П.В. Попович, М.Я. Сташків, Т.А. Довбуш // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва». Харків: ХНТУСГ, 2014. Вип. 151. С. 367-372.
17. Рибак Т. Проблеми пошукового конструювання сільськогосподарських машин / Т. Рибак, М. Підгурський, М. Сташків // Техніка АПК, 2007. №11-12. С. 6-9.

18. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропівний. Т.1. Машини для рільництва. К.: Урожай, 2001. 384 с.
19. Хомик Н.І. Методичний посібник до виконання дипломної роботи для здобуття освітнього ступеня «магістр» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 133 Галузеве машинобудування з орієнтацією на спеціалізацію «Машини сільськогосподарського виробництва» / Н.І. Хомик, М.Я. Сташків, В.П. Олексюк. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2018. 164 с.
20. Хомик Н.І. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності Агроінженерія / Н.І. Хомик, В.П. Олексюк, М.Я. Сташків, А.В. Бабій, Т.А. Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2025. 180 с.
21. Хомик Н.І. Агрозахист: навчальний посібник / Н.І. Хомик, В.В. Мартинюк, А.В. Бабій, Г.Б. Цьонь та ін. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2025. 520 с.
22. Nanka, A., Morozov, I., Morozov, V., Krekot, M., Poliakov, A., Kiralhazi, I., Lohvynenko, M., Ryndiaiev, V., Dyakonov, S., & Stashkiv, M. (2021). Substantiation of the presence and parameters of seed guides in the openers, which increase the quality of sowing and yield. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 4, №. 1 (112), 61–75.
23. Pidgurskyi M., Stashkiv M., Pidgurskyi I., Oleksyuk V., Pidluzhnyi O., Bykiv D., Borys I., Bulaienko R., Stashkiv V., Mushak A. (2024) Methodology of experimental and analytical research of technical systems. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 116, 4, 50–58.
24. Stashkiv, Mykola & Matsiuk, Oleksandr (2021) nCode GlyphWorks Software Use for Test Data Processing. The 1st International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems 2021 (ITTAP 2021). Vol-3039. 192-205.

ДОДАТКИ