

**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 дипломної роботи
освітнього ступеня "Бакалавр" на тему:

**Удосконалення механізації збирання цукрових
буряків з модернізацією коренезбиральної машини
МКК-6**

Виконав: студент 4 курсу,
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____ Скляр Дмитро Іванович

Керівник: _____ Пугач Андрій Миколайович

Рецензент: _____

Дніпро 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

ініціали

(прізвище,

« » 2025 р.

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

Скляру Дмитру Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення механізації збирання цукрових буряків з модернізацією коренезбиральної машини МКК-6

Пугач Андрій Миколайович, д.н. держ. упр., к.т.н., проф.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«07» травня 2025 року № 964

2. Строк подання студентом роботи 30.05.2025 р.

3. Вихідні дані до проєкту Огляд стану питання в галузі машинобудування та існуючих машин. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Коротка характеристика підприємства. 2. Аналіз способів і технічних засобів. 3. Обґрунтування конструктивних параметрів. 4. Охорона праці та захист навколишнього середовища. 5. Техніко-економічне обґрунтування проєкту. Висновки та пропозиції. Список використаних джерел.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Огляд існуючих конструкцій. 2. Загальний вигляд машини (вузла) 3. Складальне креслення 4. Деталювання 5. Економічні показники. 6. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пугач А.М., професор		
2	Пугач А.М., професор		
3	Пугач А.М., професор		
4	Пугач А.М., професор		
5	Пугач А.М., професор		
нормоконтроль	Теслюк Г.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 16.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 30.09.2024 р.	Виконав
2	Технологічний	до 28.10.2024 р.	Виконав
3	Конструкційний	до 24.02.2025 р.	Виконав
4	Охорона праці та захист навк. серед.	до 31.03.2025 р.	Виконав
5	Економічний	до 28.04.2025 р.	Виконав
6	Графічна частина	до 30.05.2025 р.	Виконав

Студент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

(прізвище та ініціали)

[illegible]

АНОТАЦІЯ

Скляр Дмитро Іванович Удосконалення механізації збирання цукрових буряків з модернізацією коренезбиральної машини МКК-6 / Випускний кваліфікаційний проєкт на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» - ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

У першому розділі представлено аналіз діяльності базового господарства.

У другому розділі проведено огляд існуючих конструкцій та технічних рішень за темою проєкту.

У третьому розділі представлено обґрунтування технологічного процесу та конструкції.

У четвертому розділі приведено основні заходи з охорони праці при роботі з розробленою конструкцією.

У п'ятому розділі приведено оцінку економічної ефективності від впровадження.

Дипломний проєкт виконано на 64 сторінках машинописного тексту, містить 30 джерел використаної літератури.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ І ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ ПРОЕКТУ.....	10
Висновки.....	14
2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ І СПОСОБІВ	15
2.1 Агротехнічні вимоги.....	15
2.2 Конструкцій існуючих огляд	18
2.3 Особливості використання систем гідроавтоматики в сільськогосподарських машинах.....	20
Висновки.....	33
3 КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБГРУНТУВАННЯ	34
3.1 Опис розробленої конструкції.....	34
3.2 Розрахунок основних параметрів автомата керування	37
3.3 Розрахунок кінематики важільного механізму системи керування....	42
3.4 Перевірочний розрахунок на міцність.....	46
Висновки.....	48
4 ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ВИМОГИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ.....	49
Висновки.....	52
5 ПОКАЗНИКИ ПРОЄКТУ ЕКОНОМІЧНІ.....	53
Висновки.....	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	60
ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА.....	62
ДОДАТКИ.....	65

ВСТУП

Одним із найважливіших етапів технологічного процесу вирощування коренеплідних культур є збирання врожаю. Враховуючи специфіку морфологічної будови коренеплодів, зокрема їх розташування у ґрунтовому шарі, високу масу та чутливість до механічних пошкоджень, процес збирання вимагає застосування спеціалізованих технічних засобів. Машини для збирання коренеплодів розробляються з урахуванням агротехнічних вимог, фізико-механічних властивостей рослин і ґрунту, а також необхідності збереження якості продукції під час механічного впливу.

Збирання коренеплодів є надзвичайно енергоємним і трудомістким процесом. До основних операцій належать: підкопування коренеплодів, очищення їх від ґрунту, відокремлення від бадилля, транспортування до накопичувальних ємностей або транспортних засобів. Усі ці операції повинні здійснюватися з мінімальними втратами, пошкодженнями та витратами енергії. Тому важливе значення має удосконалення конструкцій машин, спрямоване на підвищення ефективності роботи, адаптивність до різних ґрунтово-кліматичних умов і здатність до саморегулювання технологічних режимів.

Сучасні тенденції розвитку аграрного машинобудування передбачають інтеграцію цифрових технологій, автоматизацію управління та застосування енергозберігаючих рішень. Це зумовлено потребою підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва, зменшення собівартості продукції та забезпечення сталого розвитку галузі. Особливої актуальності ці завдання набувають у контексті зміни клімату, деградації ґрунтів та необхідності збереження родючості сільськогосподарських угідь.

Машини для збирання коренеплодів класифікуються за рядом ознак, серед яких тип коренеплоду (цукрові буряки, столові буряки, морква, ріпа тощо), спосіб агрегування з трактором (причіпні, напівпричіпні, самохідні), кількість оброблюваних рядків, ступінь автоматизації, наявність додаткових

функціональних модулів. Кожен із цих факторів визначає технічні параметри та конструктивні особливості машини.

Упродовж останніх десятиліть спостерігається активний розвиток машин для комплексного збирання, які поєднують у собі кілька технологічних операцій і здатні виконувати їх у єдиному технологічному циклі. Це дозволяє значно скоротити терміни збирання, зменшити витрати пального, підвищити якість зібраної продукції та знизити негативний вплив на ґрунт. Такі машини можуть бути оснащені електронними системами контролю, GPS-навігацією, датчиками навантаження та вологості, що відкриває нові можливості для точного землеробства.

Таким чином, ефективність і надійність машин для збирання коренеплодів є визначальним чинником у забезпеченні високих врожаїв, збереженні товарної якості продукції та оптимізації агротехнологічних процесів. Подальше вдосконалення цих машин повинно базуватись на комплексному підході, що враховує як інженерно-конструкторські аспекти, так і вимоги агроєкології, економіки та логістики. У цьому контексті надзвичайно важливо проводити систематичний аналіз існуючих технічних рішень, досліджувати їх ефективність за різних умов експлуатації, а також формувати засади для створення нових поколінь машин з урахуванням сучасних технологічних викликів.

Незважаючи на досягнення в галузі механізації збирання коренеплодів, на практиці все ще залишаються невирішеними низка проблем. Однією з них є висока залежність ефективності роботи машин від погодних умов та фізико-механічних властивостей ґрунту. Надмірна вологість або ж надмірне ущільнення ґрунту можуть значно знизити якість підкопування, збільшити навантаження на робочі органи, підвищити знос техніки та ймовірність механічних пошкоджень коренеплодів. Це, у свою чергу, призводить до зменшення виходу товарної продукції та скорочення строків її зберігання.

Ще одним важливим аспектом є недосконалість систем очищення коренеплодів від залишків ґрунту, бадилля та домішок. Сучасні машини

нерідко демонструють недостатню ефективність при збиранні врожаю на полях з великою кількістю бур'янів або залишків рослинної маси. Потреба в удосконаленні робочих органів, зокрема очисних і транспортувальних систем, залишається актуальною, особливо в умовах інтенсивного землеробства та скорочення оброблюваних площ.

Крім того, в умовах змін аграрного ринку та зростаючих вимог до екологічної безпеки, особливої уваги потребує розробка машин з меншим енергоспоживанням, зменшеним навантаженням на ґрунт та можливістю ефективної роботи в системах органічного землеробства. В цьому контексті перспективними напрямками є застосування електроприводів, гібридних силових установок, адаптивних систем керування та нових матеріалів, які зменшують масу та підвищують зносостійкість конструкцій.

Окреме місце займає питання автоматизації та цифровізації процесів збирання. Системи дистанційного моніторингу, датчики контролю функціональних параметрів, блоки автоматичного регулювання режимів роботи дозволяють оперативно адаптувати машину до змінних умов поля, зменшити людський фактор і забезпечити стабільність показників якості. У перспективі важливим етапом розвитку є впровадження автономних самохідних машин для збирання коренеплодів, які зможуть функціонувати без постійної участі оператора, підвищуючи продуктивність праці та ефективність використання техніки.

Таким чином, сучасний етап розвитку машин для збирання коренеплодів характеризується комплексністю вимог: поєднанням високої продуктивності, якості збирання, адаптивності до агротехнічних і природних умов, екологічної безпеки та економічної доцільності. Успішна реалізація цих вимог можлива лише за умови тісної взаємодії інженерних, агрономічних, інформаційних та екологічних наук. Наукові дослідження у цій сфері повинні бути спрямовані не лише на вдосконалення окремих технічних вузлів, але й на створення цілісних інтегрованих систем, здатних ефективно функціонувати в межах сучасного аграрного виробництва.

1 АНАЛІЗ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ І ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМИ ПРОЕКТУ

Господарство розміщене в Магдалинівському районі Дніпропетровської області розташоване в селі Шевське.

Район в якому знаходиться господарство відноситься до центрального помірно-засушливого агро кліматичного району.

Згідно даних метеостанції середньо річна температура складає +9,2 °С . Зима відносно м'яка, малосніжна. Глибина промерзання ґрунту не перевищує 1,1м. В загалі погода взимку мінлива. Рівень підземних вод - 4,5...6,1м. (рівень коливається в осінньо-весняний період до 3,0...3,5 метрів). Річна кількість опадів - 558мм, добовий максимум опадів 82мм.

Економічні умови характеризуються, перш за все, наявністю великого масиву родючих земель і порівняно непоганим забезпеченням робочою силою.

Ці показники впливають на виробничу діяльність господарства, рівень затрат по матеріально – технічному забезпеченню та реалізації продукції, а також на умови життя сільського населення.

Розміри господарства, його організація структура впливають на впровадження нової техніки, нових форм організації праці, на збільшення продуктивності праці та зниження собівартості продукції, що виробляється.

Господарство має у своєму володінні земельну площу, яка приведена у табл. 1.1.

Дані таблиці свідчать про те, що структура земельних угідь за останні 3 роки змінилася, в 2022 р у порівнянні з 2024 р відбулося зменшення на 26,8%. В свою чергу площа сільськогосподарських угідь зменшилась на 26,7 %, у тому числі рілля на 9,7%. Сінокоси в 2024 році відсутні, але відбулося збільшення площі пасовищ на 371,4% за рахунок збільшення тваринницького поголів'я.

Таблиця 1.1

Динаміка складу та структури земельних угідь

Показники	2022 р.		2023 р.		2024 р.	
	га	%	га	%	га	%
1	2	3	4	5	6	7
Загальна земельна площа	4998	100	4998	100	3656	100
Всього с-г угідь:	4974	99,6	4974	99,6	3641	99,7
Пасовища	70	1,2	70	1,2	330	13,5
Сінокоси	458	31	458	31	-	-
Рілля	4446	67,4	4446	67,4	3111	86,2
Площа лісу	24	0,4	24	0,4	15	0,3

Таблиця 1.2

Структура посівних площ за роки аналізу

№	Сільськогосподарські культури	Площа, га		
		2022 р.	2023 р.	2024 р.
1	Озимі всього:	1450	1350	1220
2	В тому числі: озима пшениця	930	950	980
3	Кукурудза	723	751	785
4	Цукровий буряк	225	235	290
5	Ячмінь	488	470	400
6	Горох	260	240	286
	Всього:	4046	4046	3811

Урожайність основних сільськогосподарських культур приведені в табл. 1.3

Таблиця 1.3

Урожайність основних сільськогосподарських культур

№	Культура	Врожайність, ц/га		
		2022 р.	2023 р.	2024 р.
1	Озима пшениця	32,58	10,15	36,24
2	Ячмінь	24,60	11,02	28,43
3	Цукровий буряк	115	-	204
4	Горох	15,3	8,7	16,4
5	Кукурудза	30,4	30,5	35,1

Рациональне використання землі, як засобу виробництва, виражається системою показників економічної активності використання земельних угідь. Це дає можливість отримати максимальну кількість продукції з 1 га земельної площі при найменших витратах праці на вирощування одиниці продукції.

Таблиця 1.4

Економічна ефективність

Показники	2022 р.	2023 р.	2024 р.
Вироблено на 100 га сільськогосподарських угідь:			
зерно, ц	601	423,7	965,1
молоко, ц	69,5	51,2	75,5
Приріст живої маси, ц свиней	1,15	0,83	0,95
Вартість валової продукції, т. грн.	1197	641	841
Середньорічна кількість робітників, чол.	179	140	122
Валова продукція на 1 середньорічного працівника, грн	4694	3356	4833
Прибуток, тис. грн.	-152	-94	12
Фондовіддача	0,2	0,2	1,6
Рівень рентабельності, %	-30	-41,6	0,7

За даними таблиці можна зробити висновки, що виробництво зернових культур в 2022 р в порівнянні з 2024 р збільшилось на 60,6%.

На основі приведених даних можна зробити наступний висновок, що виробництво направлене на вирощування зернових, що складає 45,6 %, а також цукрового буряку 21%. Має місце реалізація іншої продукції, робіт та послуг, яка складає 16 %.

Таблиця 1.5

Наявність сільськогосподарської техніки станом на 2024 рік

Найменування	Кількість (шт.)
К-700А	2
ХТЗ-17021	6
Т-150	3
МТЗ-102	8
МТЗ-82	5
ЮМЗ-6	4
КЗС-9«Славутич»	2
New Holand S8080	1
Class Mega 350	1
МКК-6	2
СУПН-8	6
СПЧ-6	3
СЗ-3,6	2
СЗ-5,4	3
КПС-4	9
УСМК-5,4	4
КРН-5,6	7
„Фрегат”	8
ДДН-100	1
АКП-5	2
КАОП-4,2	1
АП-4	2
БДВП-4,2	2
Catros 6000	2
ПЛН-8-40	2
ПЛН-4-35	5
ПЛН-3-35	2
ЗА-М1500	1
МВД-900	6
ПРТ-10	2
UG-3000	2
ЖВП-6	2
ЖВН-6	2
ЖРБ-4,2	2
ППК-4	3
ККП-3	3
2ПТС-4	10

Аналіз оброблених даних показує, що обсяг тракторних робіт постійно збільшується і його перевиконання на 7 %, в основному за рахунок збільшення кількості тракторів. Одночасно спостерігається невиконання плану по кількості днів роботи тракторів і зменшення річного виробітку на трактор. Фактична собівартість еталонного гектара була дещо вища порівняно з 2023 роком, але значно нижчою (на 15,6 %) порівняно з 2024 роком.

Висновки

З аналізу посівних площ видно, що основними вирощувальними культурами є озима пшениця, ячмінь, цукровий буряк, горох, кукурудза.

Проведений аналіз, способів збирання та засобів механізації, прийнято рішення модернізувати конструкцію автомата водіння комбайну МКК-6.

2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ І СПОСОБІВ

2.1 Агротехнічні вимоги

Мінімальні втрати врожаю.

Машини повинні забезпечувати збирання не менше 95–97% коренеплодів із ґрунту. Допустимі втрати не мають перевищувати 3–5%, оскільки недобір продукції призводить до зниження рентабельності виробництва.

Зниження пошкоджень коренеплодів.

Важливо забезпечити дбайливе підкопування, очищення та транспортування коренеплодів, аби не допускати їх механічного травмування. Пошкодження зменшують лежкість буряків, погіршують умови зберігання та переробки.

Якісне відокремлення бадилля.

Залишки гички повинні бути повністю або майже повністю видалені, при цьому слід зберегти точку росту коренеплоду для зменшення пошкоджень і збереження маси буряка.

Оптимальна глибина підкопування.

Робочі органи повинні забезпечувати підкопування на глибину, яка повністю охоплює коренеплоди, не допускаючи їх зрізання або залишення в ґрунті.

Якісне очищення коренеплодів від ґрунту.

Ступінь очищення повинен забезпечувати зниження масової частки ґрунтових домішок до нормативних значень (зазвичай не більше 8–10% у масі), що особливо важливо для зберігання і транспортування.

Рівномірне транспортування і укладання в накопичувач або на транспорт.

Транспортувальні системи машини повинні забезпечувати рівномірне та дбайливе переміщення коренеплодів без додаткового пошкодження.

Адаптація до різних ґрунтово-кліматичних умов.

Машина повинна ефективно працювати як на легких, так і на важких типах ґрунтів, за різних умов вологості, не створюючи надмірного ущільнення або руйнування ґрунтового шару.

Висока продуктивність при одночасному збереженні якості.

Машина повинна забезпечувати високу швидкість збирання (наприклад, 1,5–2,0 га/год), не знижуючи якісних показників обробки коренеплодів.

Стабільність роботи на полях із нерівною поверхнею.

Агрегат має коригувати роботу робочих органів відповідно до мікрорельєфу поля, що дозволяє уникнути перевитрат енергії та пошкоджень буряків.

Екологічна безпека та мінімальний вплив на ґрунт.

Необхідно мінімізувати ущільнення оброблюваного шару ґрунту, руйнування його структури, а також дотримуватися вимог сталого землеробства.

Збереження агрофізичних властивостей ґрунту.

Збирання буряків має відбуватись з урахуванням вимог до збереження структури ґрунту, уникнення його переущільнення та ерозійних процесів. Особливо це актуально при збиранні в умовах надмірної вологості або після дощів. Слід мінімізувати площу контакту опорних елементів машини з поверхнею поля.

Підвищена надійність і безвідмовність роботи техніки.

Агротехнічні вимоги передбачають забезпечення безперервного циклу збирання у найоптимальніші агрономічні строки. Будь-які збої або простої техніки призводять до перезрівання буряків, втрати цукристості та ускладнення переробки. Відтак машини мають працювати стабільно протягом усього періоду збирання з мінімальними технічними простоєм.

Універсальність та можливість налаштування.

Конструкція машин повинна дозволити швидке переналаштування на різні сорти буряків, які можуть мати різну довжину, форму, щільність або

глибину залягання. Наявність системи налаштувань робочих органів (глибина підкопування, висота зрізування гички, інтенсивність очищення тощо) забезпечує адаптивність до конкретних умов поля.

Сумісність з логістичними операціями.

Технологічний процес збирання повинен бути гармонізований із транспортуванням зібраної маси з поля. Машини мають бути здатні формувати накопичувальні бурти або безпосередньо завантажувати коренеплоди у транспортні засоби, мінімізуючи додаткові операції.

Забезпечення санітарно-гігієнічних вимог.

Залишки бадилля, частини буряків, ґрунтові домішки не повинні створювати надмірне забруднення поля або навколишнього середовища. У конструкціях сучасних машин враховуються вимоги до зменшення пиління, розкидання рослинних решток та утворення глибоких колій.

Мінімальні витрати енергетичних ресурсів.

Збирання буряків є енерговитратним процесом. Агротехнічні вимоги передбачають зменшення питомих витрат пального та енергії, підвищення коефіцієнта корисної дії машини, раціональне використання потужності силових агрегатів.

Можливість інтеграції у цифрові системи управління.

У сучасному точному землеробстві збирання повинно бути інтегроване у систему аграрного моніторингу. Машини повинні бути обладнані засобами супутникової навігації (GPS), моніторингу врожайності, системами точного позиціонування та реєстрації зібраної маси.

Збереження технологічних строків збирання.

Важливо забезпечити збирання у найоптимальніший період, коли цукристість буряків досягає максимуму. Затягування збирання знижує якість продукції, ускладнює обробку та збільшує втрати.

З метою своєчасного і якісного збирання цукрових буряків машини для їх збирання повинні забезпечувати певні агротехнічні вимоги.

Гичкозбиральні машини мають зрізувати гичку не нижче рівня нижніх

зелених листків і не вище 2 см від верхньої частини головки коренеплоду. Зрізана частина головки повинна бути рівною і горизонтальною. Кількість коренеплодів з необрізаною гичкою не повинно перевищувати 8%, а з косим зрізом – 10%, відходи частин головок коренеплодів у гичку при збиранні – 5%, можливе забруднення зрізаної гички землею – 0,5%. Втрати зеленої гички на полі допускаються до 10%.

Коренезбиральні машини повинні забезпечувати підкопування та вибирання з ґрунту 98,5% коренеплодів. Можливі втрати до 1,5% коренеплодів та їх частин. Кількість дуже пошкоджених коренеплодів не повинна перевищувати 5 – 8%. Забрудненість вороху коренеплодів гичкою допускається до 3%, а наявність землі у ньому – 1%.

Навантажувачі-очисники повинні забезпечувати 99,5% повноти підбирання коренеплодів.

Забрудненість вороху коренеплодів рослинними рештками при навантаженні у транспортні засоби допускається до 1%. Кількість дуже пошкоджених коренеплодів не повинна перевищувати 3 – 4%.

2.2 Конструкцій існуючих огляд

Керування розподільною і контрольно-регулюючою гідроапаратурою СК відбувається безпосередньо від механічних датчиків через кінематичні передачі (варіант ГМ СК), або від електромеханічних перетворювачів – електромагнітів, що вмикаються сигналами різних датчиків за допомогою електричних чи електронних підсилювачів-перетворювачів (варіант ЕГ СК).

СК сільськогосподарських машин можна класифікувати за наступними ознаками:

- за призначенням: відповідно до процесу регулювання робочого органу чи технологічного режиму, відповідно переліку задач автоматизації;
- за параметром регулювання, що відображає: положення робочого органу (лінійне, кутове); навантаження на робочі органи (зусилля, момент сили);

швидкісний режим (поступальна швидкість, частота обертання); втрату, подачу

сільськогосподарських матеріалів (в одиницю часу, на одиницю площі);

– за видом енергії, що використовується: ГМ СК, ЕГ СК, у тому числі електронно-гідравлічні;

– за типом вхідних перетворювачів (датчиків): контактні, безконтактні;

– за типом проміжних перетворювачів вхідного сигналу: механічні перетворювачі (у виді кінематичних передач сигналу), механоелектричні (у виді керованих електроконтактів), механоелектронні, електронні;

– за типом гідравлічного регулюючого органу: з гідроапаратом керування напрямку потоку робочої рідини (з гідророзподільником), з гідроапаратом регулювання величини потоку робочої рідини (з регулятором втрати) і регулювання тиску (з напірним гідроклапаном);

– за типом виконавчого гідродвигуна: із двигуном поступального переміщення (з гідроциліндром) і обертального руху (з гідромотором);

– за характером процесу керування гідродвигуном: безперервні системи (у тому числі з пропорційним керуванням), дискретні (з релейним вмиканням) і системи імпульсного керування з частотною чи імпульсною модуляцією;

– за способом підключення до джерела гідравлічного живлення: агрегатовані з гідросистемою енергетичного засобу сільськогосподарського агрегату (трактора чи самохідної машини) через загальний гідророзподільник; автономні, що живляться від власного насоса і мають свій бак, фільтр та іншу допоміжну гідроапаратуру; комбіновані;

– за числом однотипних робочих органів, регульованих незалежно один від одного: односекційні і багатосекційні (з індивідуальним регульовальним органом і виконавчим гідродвигуном у кожній секції). У кожному конкретному випадку та чи інша СК сільськогосподарської машини може бути реалізована при найрізноманітніших сполученнях із вище зазначених ознак.

В електрогідравлічній системі електричний сигнал механоелектричного перетворювача трансформується в позицію вхідного елемента гідравлічного

регулюючого органа, наприклад, золотника гідророзподільника за допомогою електромеханічного перетворювача.

В електронно-гідравлічній системі функції пристрою порівняння сигналів датчиків на вході і виході, а також датчика регульованої величини зазвичай поєднуються в керуючому електронному блоці, що одночасно є і підсилювачем.

Параметром регулювання СК, в більшості випадків, є просторове положення робочих органів або їх кінематичний режим. Загальний принцип процесу регулювання СК полягає у зміні цих параметрів, який спрямований на усунення неузгодженості між сигналом датчика, регульованого на виході системи, і керуючого сигналу на вході.

Перетворення сигналу в кожній ланці ГМ СГА позиційного регулювання характеризується передаточною функцією з урахуванням, в загальному випадку, його динамічних властивостей. У часткових випадках, для без інерційних ланок, перетворення сигналу характеризується коефіцієнтом підсилення або коефіцієнтом передачі, що характеризує статичну залежність між величинами вихідного і вхідного сигналів.

2.3 Особливості використання систем гідроавтоматики в сільськогосподарських машинах

Гідромеханічний автомат керування коренезбиральної машини (рис. 2.1.) призначений для автоматичного спрямовування машини вздовж осі рядків цукрових буряків.

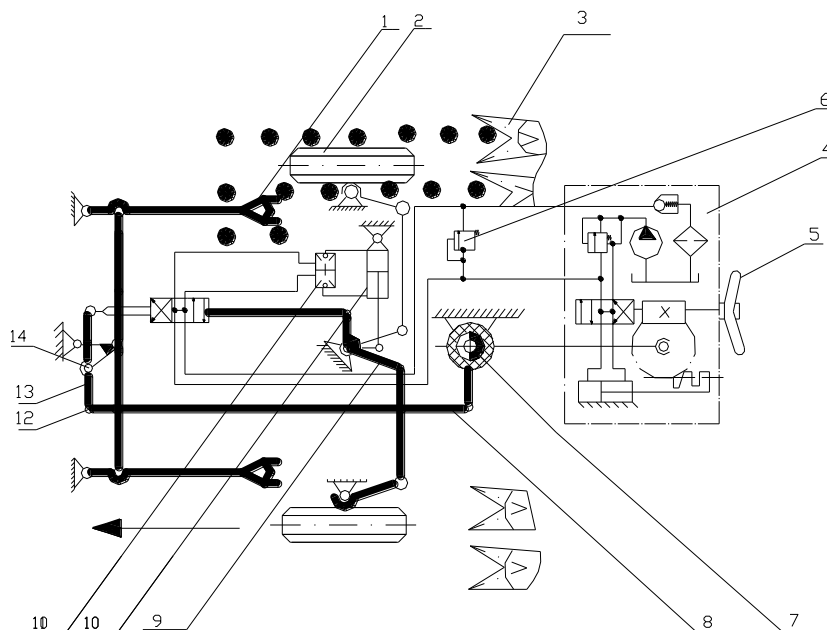


Рисунок 2.1 - Гідравлічна і кінематична схеми системи автоводіння самохідної коренезбиральної машини РКС-6: 1 – пери копирів; 2 – керовані колеса; 3 – робочі органи; 4 – гідропідсилювач керма; 5 – керуюче колесо (кермо); 6 – гідро замок; 7 – фрикційних механізм; 8, 9, 13, 15 – важелі; 10 – гідроциліндр; 11 – тяга; 12, 14 – шарніри; 16 – гідророзподільник.

Шток гідроциліндра, через важіль 9, зв'язаний з корпусом гідророзподільника. У такий спосіб здійснюється зворотній зв'язок. Одночасно з поворотом керованих коліс відбувається переміщення корпусу гідророзподільника доти, поки він не займе нейтрального положення. Після чого поворот керованих коліс припиняється.

При необхідності, коректування траєкторії руху забезпечується ручним керуванням. Поворот кермового колеса (керма) пускає в хід гідропідсилювач керма 4, відбувається поворот важеля 8, тому що гальмівний момент фрикційного механізму легко долається гідропідсилювачем.

При цьому копирі не втрачають зв'язку з ґрунтом, тому важіль 13 починає повертатися відносно шарніра 14. Далі відпрацьовування сигналу аналогічне автоматичному режиму. Недоліками даної системи є: складність

конструкції і регулювання; велика кількість кінематичних зв'язків; сумарні зазори в шарнірах, які погіршують точність водіння машини.

Гідромеханічна відслідковуюча система авто водіння самохідної бурякозбиральної машини МБС-6 із жорстким зворотнім зв'язком (рис. 2.2) призначена для автоматичного руху гичкозрізуючих робочих органів по осі рядків цукрових буряків.

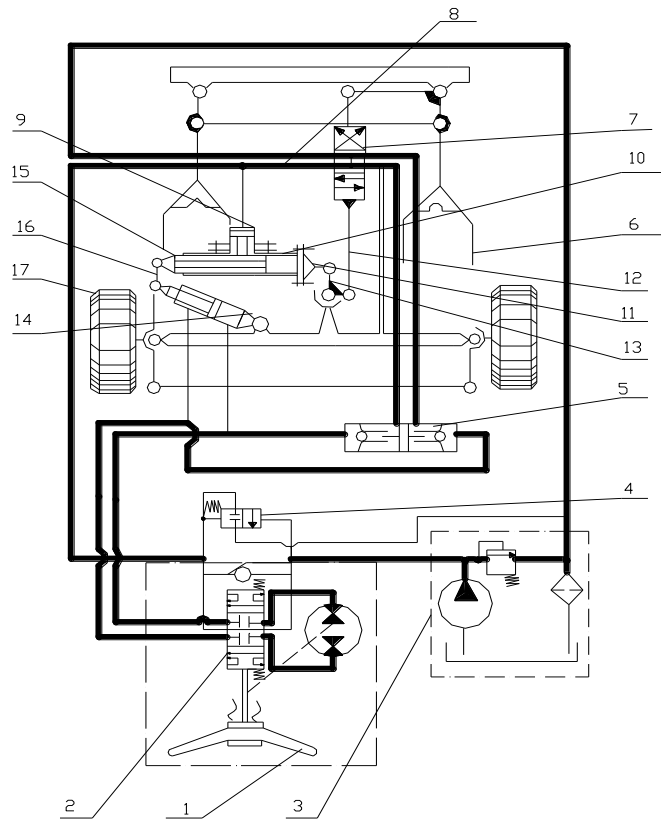


Рисунок 2.2 - Гідравлічна і кінематична схема системи автоводіння самохідної гичкозбиральної машини МБС-6: 1 – кермо; 2 – гідропідсилювач керма; 3 – насос; 4 – двопозиційний клапан; 5 – гідрозамок; 6 – копії; 7 – гідророзподільник; 8 – дросель; 9 – поршень гідроциліндра; 10, 15 – стержні; 11, 12 – тяги; 13, 16 – важелі; 14 – гідроциліндр; 17 - керовані колеса

Працює система наступним чином. При відсутності впливу на кермове колесо 1, потік робочої рідини, від насоса 3 через гідропідсилювач керма 2, подається до гідророзподільника 7. При цьому тиск (0,6-0,8 МПа), створений на дроселі 8, забезпечує поршнем гідроциліндра 9 надійну фіксацію внутрішнього стержня 15 відповідно до зовнішньої частини стержня 10 і

зворотного зв'язку тяги 11, тобто жорсткий механічний зв'язок важеля 16 керуючого колеса 17 і корпуса гідро розподільника.

При наявності вхідного сигналу, від копіїв 6, золотник гідро розподільника пересувається, подаючи робочу рідину через гідрозамок 5 в одну з порожнин гідроциліндра 14. Кут повороту керованих коліс пропорційний зсуву копіїв за рахунок жорсткого зворотного зв'язку через важелі 13 і 16, тяги 11 і 12.

Перевагу має ручне керування за рахунок двопозиційного клапана 4. Робота гідропідсилювача викликає зміну тисків (більше 0,7-0,9 Мпа) в торцевих порожнинах клапана, що приводить до його перемикання в позицію "вільний прохід". При цьому на доріжці 18 тиск падає до нуля, розфіксується тяга зворотного зв'язку 11, що забезпечує вільне взаємне переміщення частин 10 і 15. Після припинення впливу на кермо режим автоводіння відновлюється автоматично.

Недолік такої системи: необхідні забезпечення жорсткого зворотного зв'язку та побудова системи на оригінальній елементарній базі.

Система автоводіння САВ-1 кукурудзозбирального комбайна КСКУ-6 призначена для керування самохідним кукурудзозбиральним комбайном вздовж рядів кукурудзи. Гідравлічна частина системи автоводіння (рис. 2.3) забезпечує перетворення електричних керуючих сигналів у відповідний поворот керованих коліс комбайна.

Розташування датчика-копіра в прямому сигнальному ланцюзі і механізмові зворотного зв'язку, з кутом повороту керованих коліс, з відповідними перетворювачами сигналів, показано на кінематичній схемі. Гідросистема включає: гідробак Б, фільтр Ф, насос Н, запобіжний клапан КП, насос-дозатор НД, гідророзподільник з електроуправлінням Р1, і гідроциліндр Ц.

Гідросистема автоводіння об'єднана з гідросистемою ручного рульового керування. Датчик-копір (рис. 2.4) складається з копіїв 1, із пружинним центруючим пристроєм, а також з індукційного перетворювача 3, який

з'єднаний з копіром-тросом 4. Під час впливу стебел кукурудзи на копір відбувається його поворот і, отже, поворот вала перетворювача.

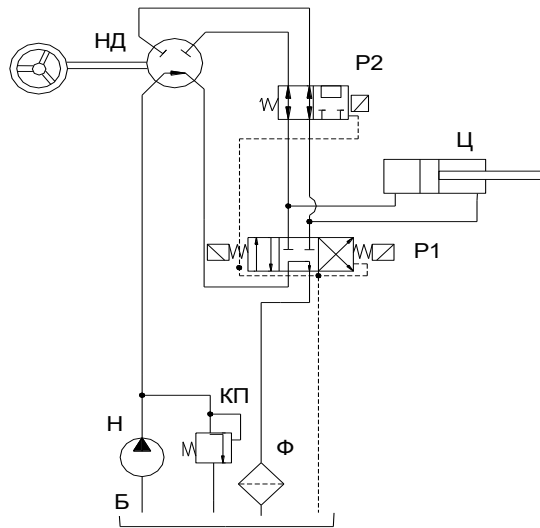


Рисунок 2.3 - Гідравлічна схема системи автоводіння САВ-1 кукурудзозбирального комбайна КСКУ-6: гідробак -Б, фільтр -Ф; насос – Н; запобіжний клапан – КП; насос-дозатор - НД; гідророзподільник з електроуправлінням - P1; гідроциліндр - Ц

Датчик зворотного зв'язку, за положенням керуючих коліс 5, споряджений перетворювачем 6, який аналогічний перетворювачу 3. Електричний сигнал керування електромагнітним гідророзподільником P1, пропорційний неспівпаданню сигналів від перетворювачів 3 і 6, формується спеціальним електронним блоком системи.

У системі використаний широтно-імпульсний спосіб дискретного регулювання швидкості руху штока гідроциліндра при обробці керування. Регулювання швидкості руху здійснюється шляхом подачі імпульсів, що відповідають подачі насоса і модульованих, по ширині, в межах періоду частоти, керуючих сигналів.

Подібна система автоводіння СК-1М використовується на коренезбиральній машині КС-6В. Основним недоліком цієї системи є використання складного електронного обладнання, обслуговування якого, в умовах вітчизняних господарств, є ускладненим.

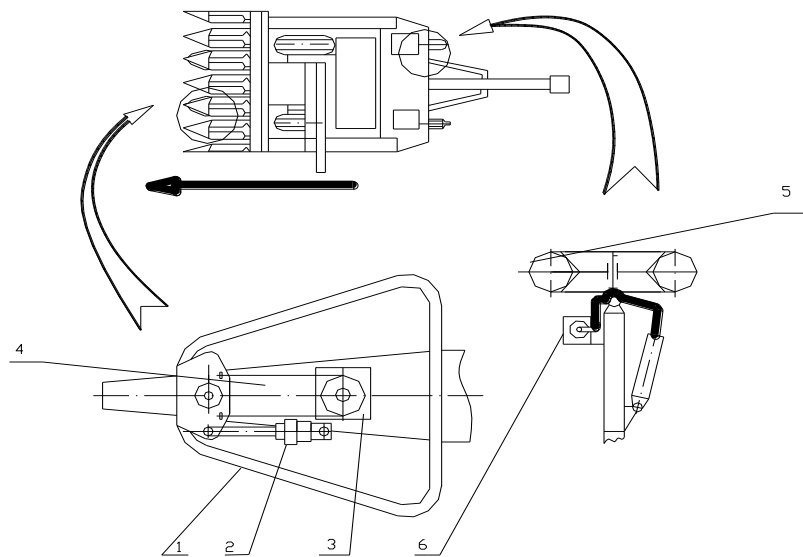


Рисунок 2.4 - Кінематична схема системи автоводіння САВ-1 кукурудзозбирального комбайна КСКУ-6: 1 – копір; 2 – пружний центруючий пристрій; 3, 6 – індукційний перетворювач; 4 – копір-трос; 5 – керуючі колеса; P_1 – електромагнітний гідророзподільник

Система автоматичного регулювання викопуючих і теребильних робочих органів коренеплодозбиральної машини ММТ-1 призначена для копіювання рядків рослин, шляхом поперечного переміщення основної рами машини з робочими органами (гичкопіднімачами, теребильним апаратом і підкопувальним лемешем) відносно дишла, а також для копіювання рельєфу поля, шляхом переміщення теребильної секції в повздовжньо-вертикальній площині.

Система являє собою двохканальний електронно-гідравлічний пристрій з механічними щупами-копірами. Загальними вузлами і елементами для обох каналів САК є електронний блок з пультом керування і гідросистема.

Канал копіювання рядків рослин СК складається з: двох датчиків 6 з контактними щупами, рами 4 із встановленими на ній робочими органами, а також з гідроциліндра 3 (рис. 2.5). При невідповідності положення робочих органів, зокрема гичкопіднімачів 7, щупи датчиків відхиляються від

нейтрального положення і таким чином надходить електричний сигнал, що після обробки і підсилення подається на гідророзподільник з електричним керуванням. Переміщення гідроциліндра $y_{гц}$ забезпечує зсув $y_{сп}$ рами машини і встановлених на ній робочих органів $y_{ор}$ відносно причепа 1 і дишля 2. У результаті відбувається зміна траєкторії руху робочих органів відповідно до розташування рядка рослин.

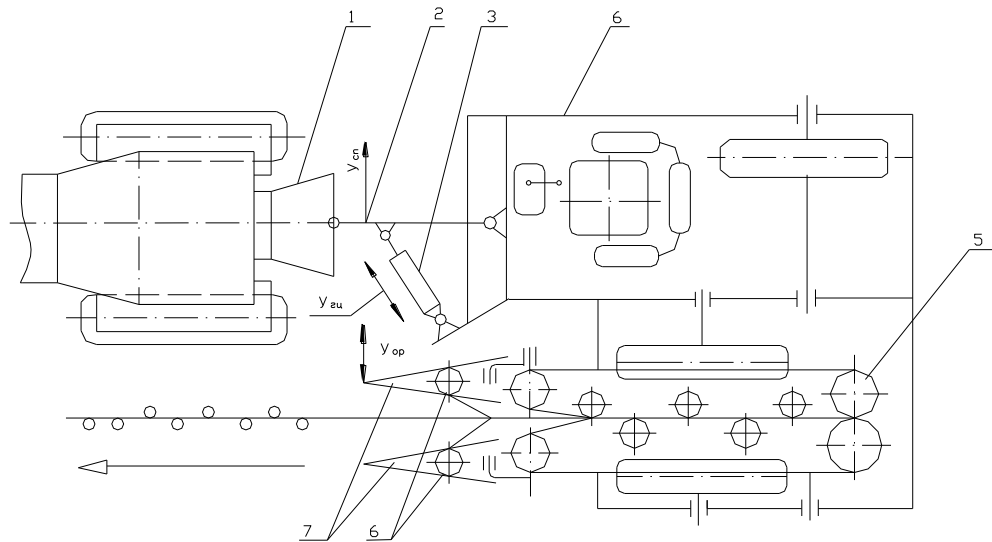


Рисунок 2.5 - Кінематична схема системи копіювання рядів моркви машини ММТ-1: 1 – причеп; 2 – дишель; 3 – гідро циліндр; 4 – рами; 5 – терebильна секція; 6 – датчик; 7 – гичкопіднімачі

Канал висотного регулювання (рис. 2.6) системи складається з двох гичкопіднімачів-щупів 3, на яких встановлено по одному датчику 4, терebильної секції 6, шарнірно закріпленої на основній рамі 5, і гідроциліндра 7. Вихідне положення Н передньої частини машини забезпечується навіскою трактора 1 і дишлом 2. При відхиленні y_d від нейтрального положення кожного з гичкопіднімачів-щупів, на виході індукційного датчика виробляється електричний сигнал, який надходить в електронний блок. Сигнал після обробки і підсилення подається у вигляді імпульсів на один з електромагнітів гідророзподільника, що керує гідроциліндром підйому-опускання підкопуючого лемеша.

Для живлення виконавчих механізмів робочих органів СК обладнана гідросистемою постійного тиску з використанням у якості джерела гідравлічної енергії гідросистеми трактора 1 (рис. 2.7). Гідросистема включає гідроциліндри 10, 11, 13, 14 двосторонньої дії поршневого типу, гідророзподільники 7 з електричним керуванням, дроселі 8 зі зворотним гідроклапаном, клапан розвантаження 16, гідропневмоакумулятор 4, напірний кран 15, кран манометра 6, манометр 5, фільтр 3 із перепускним клапаном, розривні муфти 2 і гасники коливання 9, виконані у вигляді здвоєних запобіжних клапанів прямої дії.

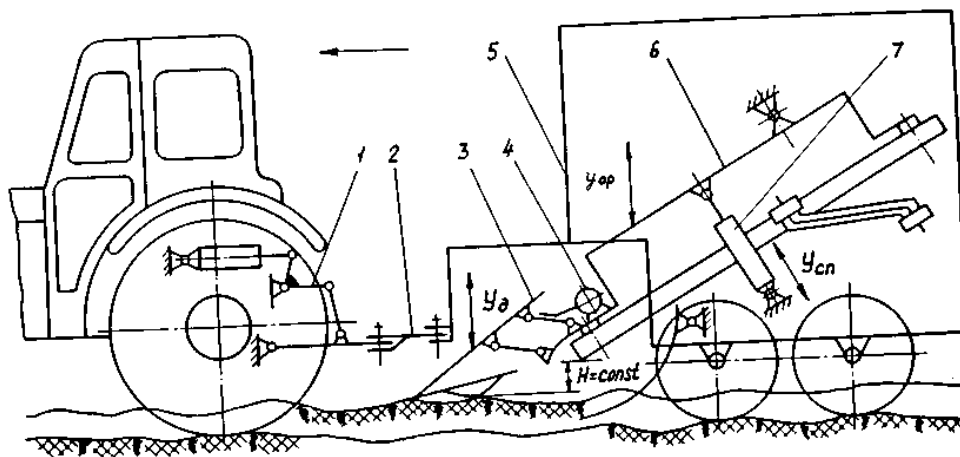


Рисунок 2.6 - Кінематична схема системи висотного регулювання гичкопіднімачів машини ММТ-1: 1 – навіска трактора; 2 – дишель; 3 – гичкопіднімач-шуп; 4 – датчик; 5 – основна рама; 6 – теревильна секція; 7 – гідро циліндр

Особливість гідросистем - використання згасаючих коливань, що шунтує порожнини гідроциліндра, з метою підвищення ефективності демпфування інерційного навантаження, при збереженні необхідної жорсткості, з одночасною дією постійної складової навантаження робочих органів. Від гідросистеми трактора 1, через фільтр високого тиску 3 рідина, надходить до клапана розвантаження для підживлення гідропневмоакумулятора. При тиску 8 МПа, в напірній магістралі верхньої

межі, спрацьовує клапан розвантаження і рідина надходить, через дроселі 12 і зливну магістраль, безпосередньо в гідробак трактора. У цей час насос гідросистеми трактора працює вхолосту і не споживає потужності. У процесі роботи СГА, через втрату рідини гідроциліндрами, тиск у напірній магістралі знижується.

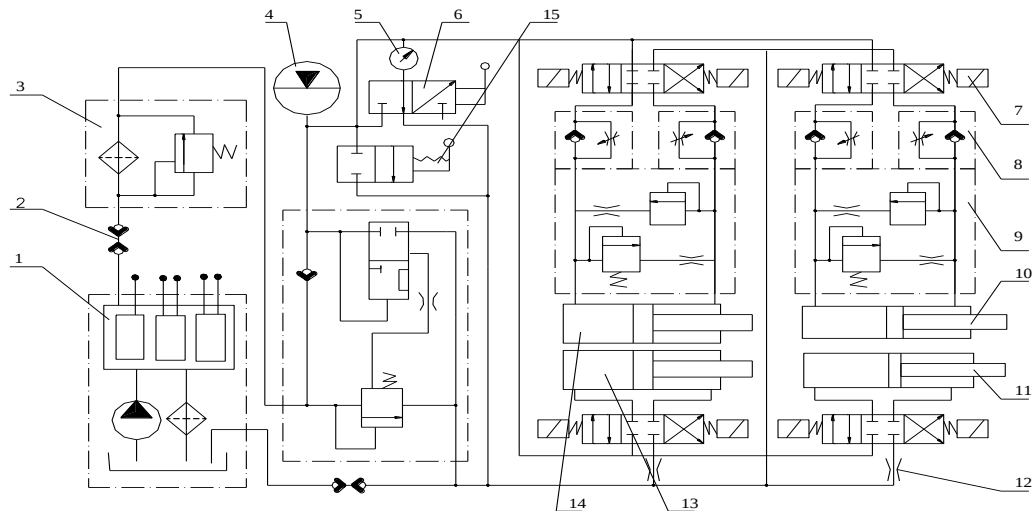


Рисунок 2.7 - Гідравлічна схема СК машини ММТ-1: 1 – гідросистема трактора; 2 – розривні муфти; 3 – фільтр; 4 – гідропневмо-акумулятор; 5 – манометр; 6 – кран манометра; 7 – гідророзподільник; 8 – дросель; 9 – гасник коливань; 10, 11, 13, 14 – гідроциліндри; 12 – дроселі; 15 – запірний кран; 16 – клапан розвантаження

З досягненням тиску 7,0-7,5 МПа знову спрацьовує клапан розвантаження, направляючи рідину в напірну магістраль, що забезпечує роботу гідроциліндрів і зарядку гідропневмоакумулятора. При досягненні тиску, на який відрегульовано клапан, процес повторюється.

Перевага даної системи полягає в тому, що вона має високий коефіцієнт корисної дії, тому що рідина при регульованій швидкості гідроциліндрів не перекачується через пропускний клапан під тиском. Крім того, з'являється можливість живлення декількох споживачів, які не залежать один від одного, без застосування подільників потоку.

У СК передбачена можливість швидкого переходу від автоматичного режиму до ручного керування без яких-небудь додаткових перемикачів. Для цього досить надати державці керування положення, що відповідає обраному каналу СК. При опусканні, державка повертається в нейтральне положення і система знову переходить в автоматичний режим. Для запобігання порушення технологічного процесу, забивання і усунення поломок робочих органів, передбачена визначена послідовність дій. Так, наприклад, при переводі теребильної секції і підкопувального лемеша в транспортне положення одним рухом рукоятки спочатку піднімається теребильна секція, а потім - підкопуючий леміш. При переводі, зазначених робочих органів у робоче положення, послідовність операцій - зворотна. Здійснюється це електронним блоком без застосування традиційних блокуючих комутаційних пристроїв. Дана система має ті самі недоліки, що притаманні попередній.

Проріджувач ПСА-2,7 призначений для механізованого формування густоти насадження цукрових буряків з одночасним розпушуванням ґрунту в зоні рядків між рослинами. Він являє собою шестирядкову машину з гідравлічним приводом робочих органів і електронною системою керування.

При русі агрегату, вздовж сходів - рядків цукрових буряків, датчик (щуп) дотикається до першої рослини (рис. 2.8). При цьому на вхід електронного блоку надходить сигнал. З виходу електронного блоку підсилений сигнал передається на електромагніт розподільника гідромотора. Завдяки цьому масло з напірної магістралі гідросистеми надходить в один з циліндрів гідромотора, що приводить до повороту його вала з одного крайнього положення в інше. Ножі, які закріплені на валу гідромотора, роблять рух впоперек рядків, вирізаючи прорости, які розташовані попереду і позаду рослин. При дотику датчика до наступної рослини, після заданого інтервалу, відбувається така ж серія електричних і гідравлічних імпульсів, які надходять до другого поршня гідромотора, повертаючи перший у початкове положення. При цьому ножі роблять рух впоперек рядка в зворотному напрямку.

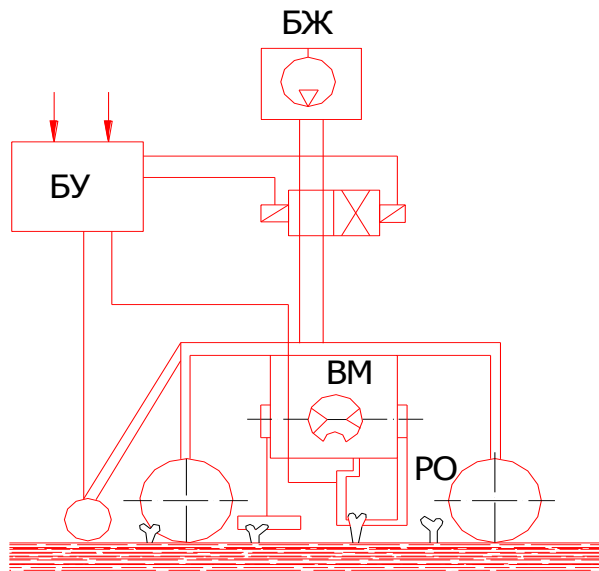


Рисунок 2.8 - Кінематична схема проріджувача ПСА-2,7 БЖ – блок гідравлічного живлення; БУ – блок управління; ВМ – виконавчий механізм; РО – робочий орган

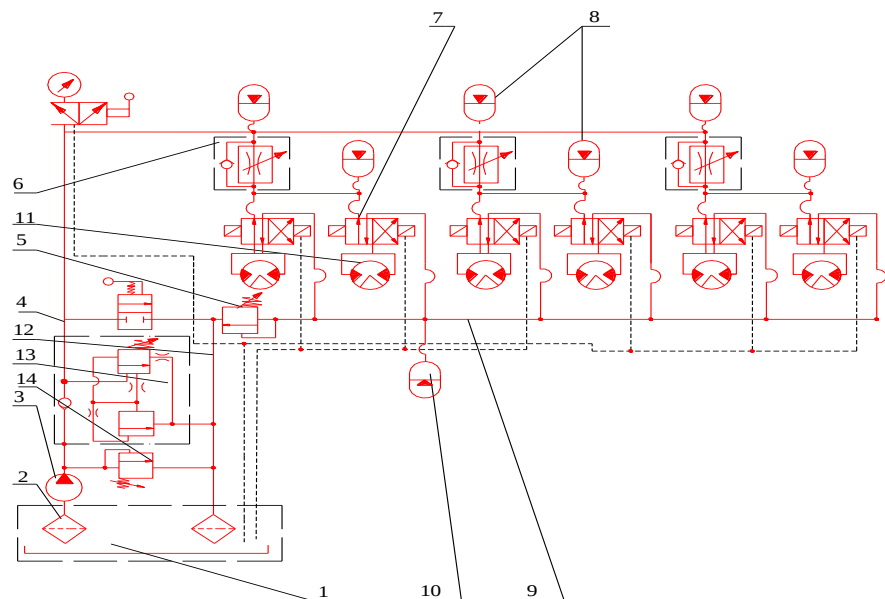


Рисунок 2.9 - Гідравлічна схема проріджувача ПСА 2,7: 1. резервуар; 2 – фільтр; 3 – шестеренний насос; 4 – напірна магістраль; 5 – підпірний клапан; 6 – дросельний клапан; 7 – електрогідорозподільник; 8 – гідропневмоакумулятор високого тиску; 9 – підпірна магістраль; 10 – гідропневмоакумулятор низького тиску; 11 – гідромотори; 12 – зливна магістраль; 13 – клапан розвантаження; 14 – запобіжний клапан

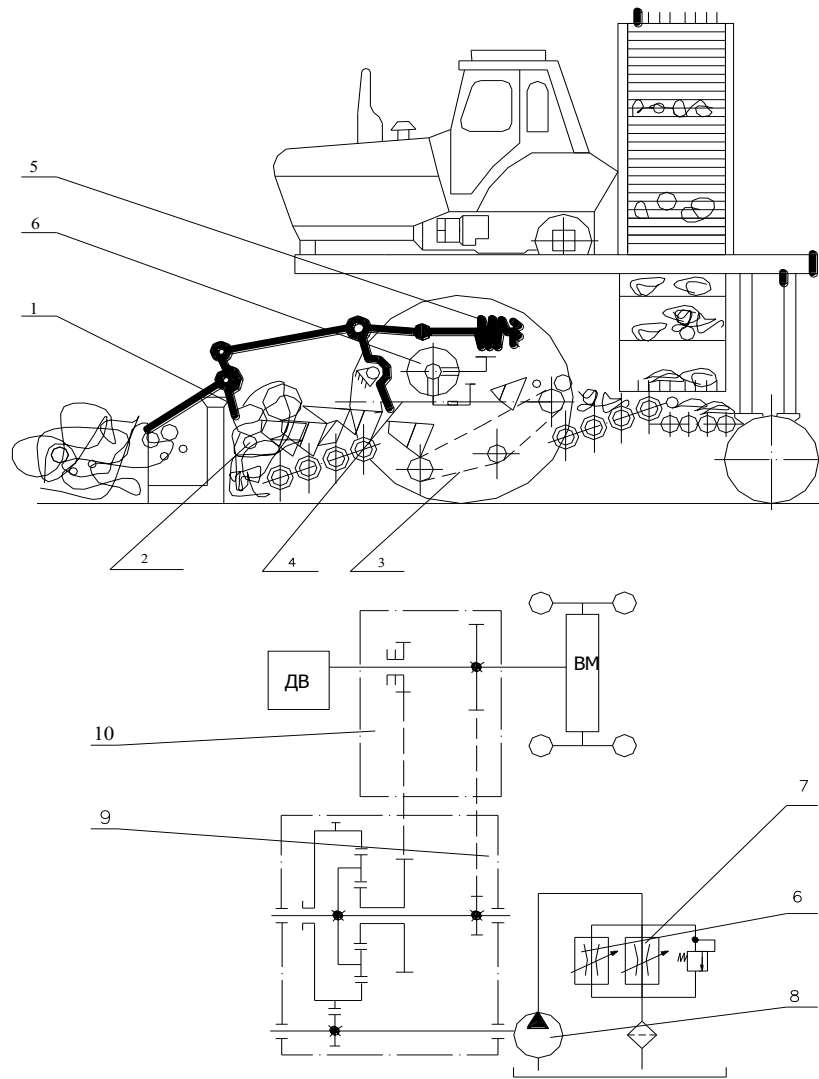


Рисунок 2.10 - Кінематична і гідравлічна схема автоматичного регулятора завантаження завантажувача – очисника буряків СПС-4,2: 1, 4 – датчики; 2 – живильник; 3 – транспортер; 5 – пружини; 6 – дросельний регулятор; 7 – дросель у кабіні; 8 – насос; 9 – ходозменшувач; 10 – коробка передач

Крок між залишеними рослинами і величина букета задаються до початку проріджування. Після завершення робочого циклу ножі залишаються нерухомими збоку від рядка над ґрунтом до появи чергового сигналу. Масло з резервуара 1 (рис. 2.9) по трубопроводу, через фільтр 2, надходить у шестеренний насос 3. За насосом розташований запобіжний клапан 14 і клапан розвантаження 13, які з'єднані зі зливною магістраллю 12. Від насоса робоча рідина надходить у напірну магістраль 4 і через дросельні клапани 6 – у

попарно з'єднані гідромотори 11.

Робочий тиск у напірній магістралі регулюється в межах 8-10 МПа. Запобіжний клапан налаштований на тиск спрацьовування 13 МПа.

При тиску в напірній магістралі, біля верхньої межі налаштування, (наприклад, 10 МПа), спрацьовує клапан розвантаження і рідина від насоса надходить у зливну магістраль. Тиск у напірній магістралі підтримується гідропневмоакумуляторами високого тиску 8.

У процесі роботи гідромоторів через втрату рідини тиск у напірній магістралі зменшується. При досягненні тиску 8,0-8,5 МПа спрацьовує клапан розвантаження і тиск у напірній магістралі збільшується до верхньої межі (10 МПа). З гідромоторів рідина надходить у підпірну магістраль 9 і через підпірний клапан 5 - у зливну магістраль 12, потім через фільтр проходить у резервуар.

Гідромотор - поршневий, який включає дві поршневі групи: кривошипно-шатунний механізм і у верхній частині розміщений електрогідророзподільник.

Недоліками такої системи є складність власної гідросистеми.

Система автоматичного регулювання завантаження навантажувача-очисника буряків СПС-4,2 призначена для автоматичного регулювання подачі коренеплодів цукрових буряків в результаті зміни поступальної швидкості переміщення навантажувача, що приводиться від двигуна ДВ (рис. 2.11).

Авторегулятор складається з датчиків 1, 4, дросельного регулятора 6, пружини 5. Поки рівень коренеплодів в живильнику 2 і на транспортері 3 нижче граничного (датчики не відхиляються), навантажувач рухається з максимальною робочою швидкістю. При відхиленні датчиків відкривається дросель 6, починає обертатися насос 8, зв'язаний з ходозменшувачем 9 і коробкою передач 10, у результаті чого швидкість машини зменшується. При зменшенні висоти шару коренеплодів датчики закривають дросель 6, швидкість машини збільшується. Ручне регулювання швидкості машини

здійснюється дроселем 7 з кабіни. Застосувати подібну систему для автомата керування неможливо через низьку чутливість і точність спрацьовування.

Висновки

Виявлено, що більшість систем автоматичного керування мобільними збиральними сільськогосподарськими машинами є конструктивно складними і побудованими на оригінальній елементній базі, що викликає їх значну собівартість, а також труднощі при експлуатації та ремонті. В дипломному проекті нами буде проведено модернізацію коренезбиральної машини МКК-6 з розробкою копіра автомата водіння машини.

3 КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБГРУНТУВАННЯ

3.1 Опис розробленої конструкції

В даному розділі нами буде представлено опис запропонованої конструкції копіра автомата водіння, що має ряд переваг перед базовою конструкцією, а саме:

- менша кількість кінематичних зв'язків;
- простота регулювання;
- забезпечення більш якісного зворотного зв'язку.

Гідромеханічна відслідковуюча система автоводіння самохідної коренезбиральної машини МКК-6 із жорстким зворотним зв'язком (рис. 3.1) призначена для автоматичного напрямлення робочих викопуючих органів машини по осі рядів рослин.

При відхиленні машини, наприклад, вправо від траєкторії рядків, копіри 1, під дією коренеплодів буряків, повертаються вліво і через важелі 3, 12 і тяги 2, 10, 11 зміщують золотник гідророзподільника P_1 вліво від нейтрального положення. Тоді масло від гідророзподільника надходить у ліву порожнину гідроциліндра Π_1 . З правої порожнини масло іде на злив. Корпус гідроциліндра зміщується вліво і через гідроциліндр керування Π_2 , жорстко сполучений з гідроциліндром Π_1 елементи 7, 8 впливають на керовані колеса 4, повертаючи їх уліво. Одночасно з поворотом керованих коліс зміщується корпус гідророзподільника в тому ж напрямку, в якому перемістився корпус гідроциліндра Π_1 . За рахунок цього, золотник гідророзподільника повертається в нейтральне положення, поворот коліс припиняється.

Аналогічно, автомат працює при відхиленні машини вліво від рядків буряків, забезпечуючи поворот керованих коліс у протилежний бік. У такий спосіб відбувається автоматичне керування машиною.

Пропорційність кута повороту керованих коліс до кута повороту копіїв забезпечується механізмами прямого (важелі 3, 12) і зворотного зв'язків (важіль 8, гідроциліндр Ц₂, кронштейн 9).

При переводі робочих органів машини в транспортне положення, спеціальний механізм фіксує в середньому положенні золотник гідророзподільника Р1, відповідно і поршень гідроциліндра Ц1. У цьому випадку виключається вплив автомата водіння над керуванням машиною.

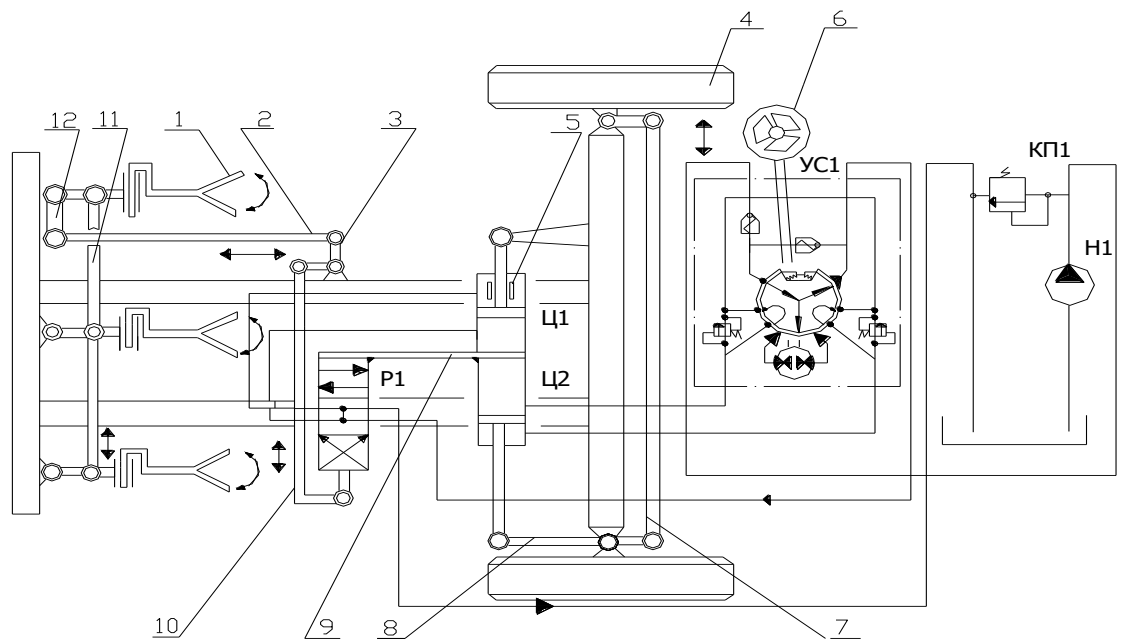
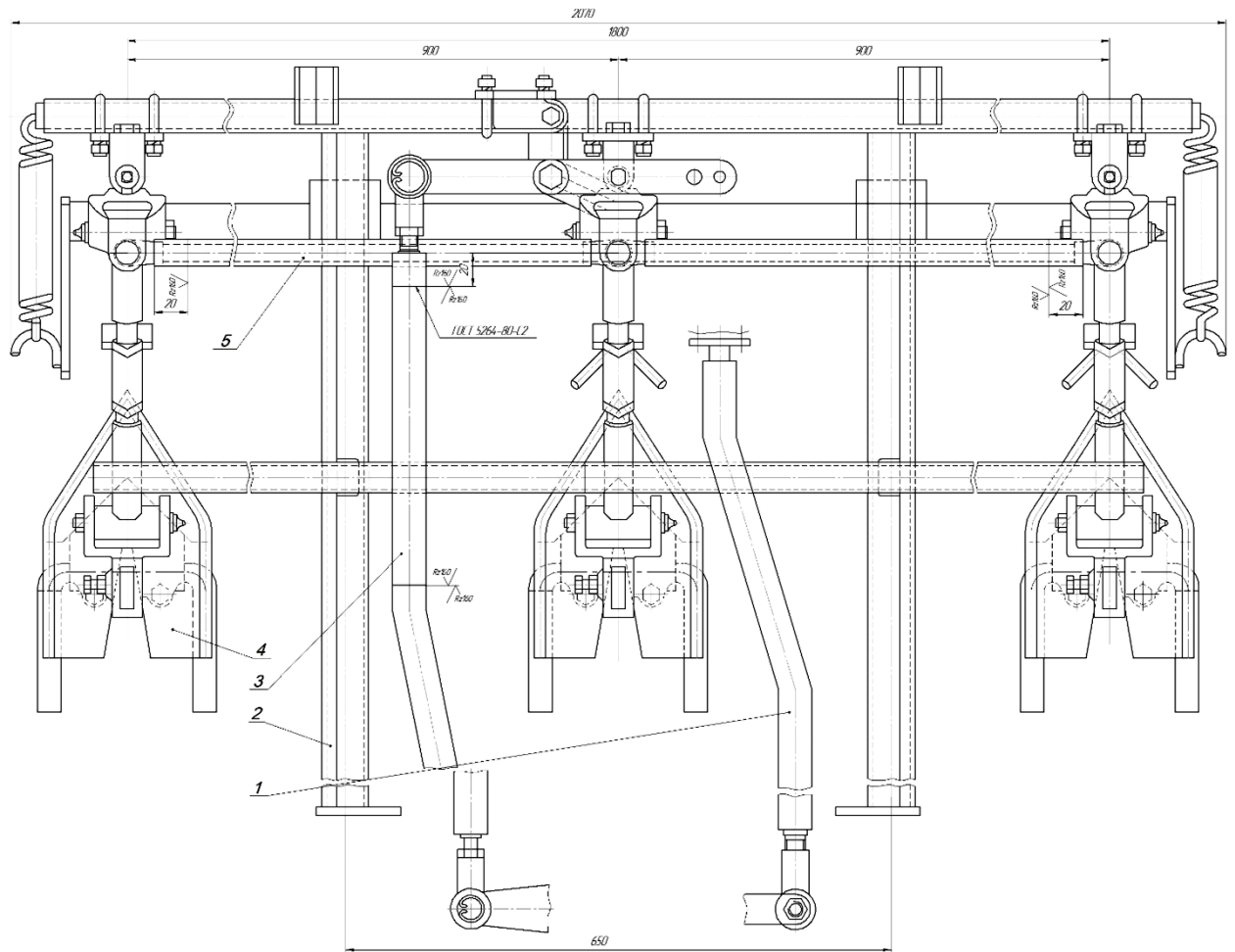


Рисунок 3.1 - Гідравлічна і кінематична схеми системи автомата керування коренезбиральної машини МКК-6: 1 – копір; 2, 10, 11 – тяга; 3, 2, 8, 7 – важіль; 4 – керовані колеса; 6 – кермо; 9 – кронштейн; Р₁ – золотник гідророзподільник; Ц₁ – порожнина гідророзподільника; Ц₂ – гідроциліндр керування; УС₁ – насос-дозатор

На рис 3.2. приведено запропоновану схему автомату водіння.

Перед початком роботи машини встановлюється необхідна відстань між копірами так, щоб при русі, копії постійно контактували з рядками коренеплодів. При відхиленні машини і робочих органів, від траєкторії рядків коренеплодів, копії повертаються у відповідний бік. Зв'язаний з ними важіль

повертається відносно шарніра, який переміщає золотник гідророзподільника. При цьому масло подається через гідрозамок у відповідну порожнину



гідроциліндра, керовані колеса і траєкторія руху машини - коректується.

Рисунок 3.2 - Автомат водіння

1 – тяга золотника; 2 – рама; 3 – тяга золотника; 4 – копір; 5 – тяга поперечна.

Шток гідроциліндра, через важіль, зв'язаний з корпусом гідророзподільника. У такий спосіб здійснюється зворотній зв'язок. Одночасно з поворотом керованих коліс відбувається переміщення корпусу гідророзподільника доти, поки він не займе нейтрального положення. Після чого поворот керованих коліс припиняється.

При цьому копіри не втрачають зв'язку з ґрунтом.

При необхідності, коректування траєкторії руху забезпечується ручним керуванням. Поворот кермового колеса (керма) пускає в хід гідропідсилювач керма, відбувається поворот важеля, тому що гальмівний момент фрикційного механізму легко долається гідропідсилювачем.

3.2 Розрахунок основних параметрів автомата керування

Кінематичний аналіз руху машини з направляючим органом

Для проведення кінематичного дослідження руху коренезбиральної машини розглянемо її розрахункову схему із копиром, який направляє рух машини згідно траєкторії рядків коренеплодів буряків на полі (рис. 3.3).

Вважаємо, у першому наближенні, що копір керує поворотом коліс передньої осі за законом:

$$\varphi = Kz, \quad (3.1)$$

де φ - усереднений кут повороту коліс передньої осі;

K - коефіцієнт пропорційності;

z - зміщення копіра від його середнього положення.

При повертанні коліс на певний кут, машина починає рухатися по дузі кола, радіус якої R_1 визначається з геометричних співвідношень для центру обертання тіла:

$$R_1 = \frac{L_1}{\operatorname{tg} \varphi}, \quad (3.2)$$

де L_1 - відстань між осями комбайна.

Під час руху по колу копір, переміщається вбік до моменту контакту із коренеплодом (тертям копіра по поверхні ґрунту у поперечному напрямку нехтуємо). Після цього, подальший рух машини призводить до зміщення копіра в сторону, яка протилежна поворотові машини. Це призводить до зміни кута повороту коліс і, відповідно, машина починає рухатися в інший бік.

Такий процес повторюється регулярно, тобто спостерігається ривкання машини із амплітудою, що відповідає зазору між копіром та коренеплодом у рядку.

Розглянемо рух середньої (нульової) точки копіра відносно середньої лінії траєкторії руху машини, координату якої позначимо x .

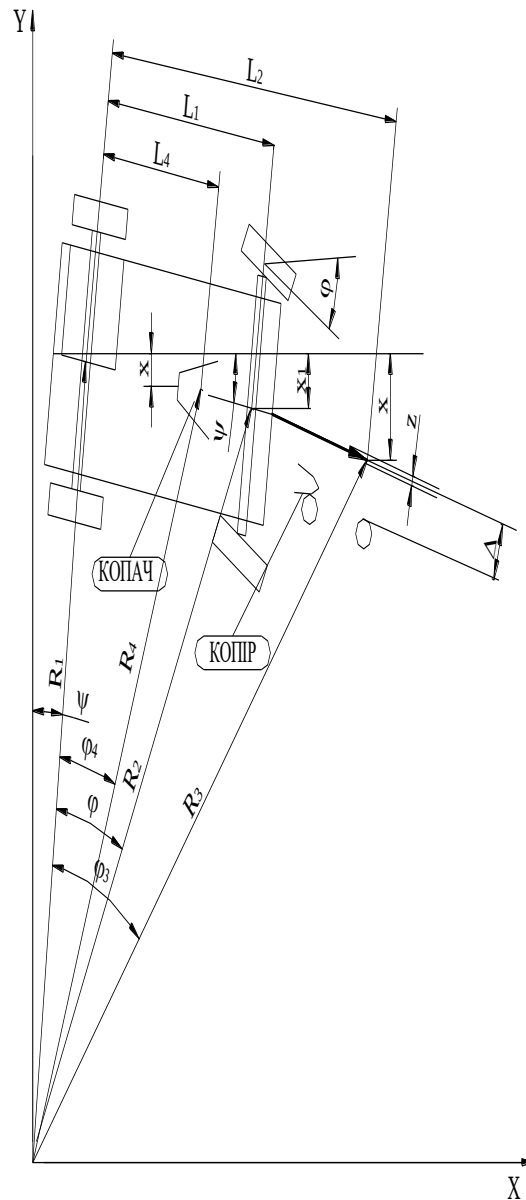


Рисунок 3.3 - Розрахункова схема коренезбиральної машини з копіром

Елементарне зміщення копіра dx , за рахунок руху машини по дузі кола за час dt , визначимо із рис. 3.3 та геометричних співвідношень для центру обертання тіла:

$$dx = dt \frac{vR_3}{R_1} \sin(\psi + \varphi_3), \quad (3.3)$$

де v - швидкість руху машини;

$R_3 = \sqrt{R_1^2 + L_2^2}$ - радіус повороту середньої точки копіра за рахунок руху машини по дузі кола;

ψ - кут повороту корпусу машини разом із копіром по дузі кола;

φ_3 - кут, що визначається із формули $\sin \varphi_3 = \frac{L_2}{R_3}$;

L_2 - відстань від задньої осі до копіра.

Кут ψ визначається дугою кола змінного радіуса R_1 , яку описала машина за певний час t . Для обчислення цієї координати запишемо диференціальне рівняння, яке враховує зміну радіуса дуги

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{v}{R_1}. \quad (3.4)$$

Рівняння (3.2-3.4) описують траєкторію руху машини по міжряддях без врахування керування копіра (при $\varphi = const$). Цей випадок має місце, коли копір машини рухається по міжряддях, не торкаючись коренеплоду. При цьому всі змінні радіуси приймають постійне значення $R_1 = const$, $R_3 = const$, $\varphi_3 = const$, коренезбиральна машина рухається по дузі кола, а система диференціальних рівнянь спрощується і набуває вигляду:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{vR_3}{R_1} \sin\left(\psi_0 + \frac{vt}{R_1} + \varphi_3\right), \quad (3.5)$$

де ψ_0 - початкове значення кута повороту машини.

При сталих значеннях коефіцієнтів рівняння (3.5) легко інтегрується

$$\begin{aligned} x &= x_0 + \frac{vR_3}{R_1} \int_0^t \sin\left(\psi_0 + \varphi_3 + \frac{v\tau}{R_1}\right) d\tau = \\ &= x_0 - \frac{vR_3}{R_1} \left(\cos\left(\psi_0 + \varphi_3 + \frac{vt}{R_1}\right) - \cos(\psi_0 + \varphi_3) \right); \end{aligned} \quad (3.6)$$

де x_0 - початкове зміщення середньої точки копіра.

Прискорення, з яким рухається середня точка копіра, визначиться диференціюванням виразу (3.5):

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{v^2 R_3}{R_1^2} \cos(\psi_0 + \frac{vt}{R_1} + \phi_3). \quad (3.7)$$

Легко бачити, що рух копіра комбайна по координаті x відбувається по частині косинусоїди. В найгіршому випадку, при відсутності коренеплодів та відповідної корекції з боку водія, це призведе до зацикленого руху машини по колу.

В дійсності, через певний час, копір стикнеться із коренеплодом, в результаті чого зміниться положення копіра відносно коренезбиральної машини, тобто зміниться координата z , і, відповідно до (3.1), кут повороту φ . Це, в свою чергу, призведе до зміни всіх відповідних коефіцієнтів у рівняннях (3.2-3.4).

Зміна координати зміщення копіра z відбувається під час контакту копіра з коренеплодом, причому, внаслідок невеликих значень зміщення z , можна записати наступне співвідношення:

$$-\Delta \leq x + z \leq \Delta, \quad (3.8)$$

яке описує наявність копіра між обмеженнями, що накладаються розміщенням коренеплодів (2Δ - величина максимального зазору між копіром та коренеплодом). Якщо під час розрахунків нерівність (3.8) не справджується, це означає, що копір стикається із коренеплодом і його треба відвернути в протилежний бік, тобто знайти нове значення зміщення z з умови:

$$z = \pm\Delta - x. \quad (3.9)$$

Встановлено, що копір здійснює коливальні рухи з амплітудою, що незначно перевищує величину зазору, період коливань приблизно рівний 10 сек. Швидкість коливань має чітко виражений стрибкоподібний характер, причому напрямок швидкості змінюється при контакті копіра з коренеплодом. Збільшення швидкості руху коренезбиральної машини суттєво збільшує швидкість та частоту коливань, що є небажаним.

Як встановлено величини зміщень x_1 та x_2 будуть менші, ніж допустимі величини зміщення x , а це означає, що машина не вийде із міждряддя.

У реальних системах автоматизованого керування, як правило, існує деяка зона нечутливості керування виконавчим органом за допомогою копіра та обмеження на кут повороту коліс, які накладаються конструкцією комбайна.

На основі розробленої програми проведені розрахунки кінематичних параметрів для випадків відсутності зони нечутливості та при її наявності.

Розрахункові величини мають такі чисельні значення:

- 1 відстань між осями $L_1 = 3$ м;
- 2 відстань від задньої осі до копіра $L_2 = 4$ м;
- 3 швидкість комбайна $v = 1$ м/с;
- 4 зазор між копіром і буряком $\Delta = 0.05$ м;
- 5 зона нечутливості $z_0 = 0.05$ м;
- 6 коефіцієнт чутливості $K = 10$;
- 7 максимальний час розрахунку $T_{\max} = 50$ сек.

Як видно з порівняння наявності зони нечутливості призводить до збільшення кутових коливань комбайна на величину цієї зони і, відповідно, до збільшення зсуву копіра на цю ж величину. Одночасно зменшується частота коливань комбайна внаслідок збільшення кута керування копіра. Очевидно, що наявність зони нечутливості керування комбайном спричиняє вихід робочого органу із робочої зони і, як наслідок, пошкодження коренів та втрату продукції. Технологічно необхідно прагнути звужити зону нечутливості до мінімуму (1..2 см) та оптимально підібрати коефіцієнт чутливості керуючого механізму.

Розрахунок параметрів за наведеною вище методикою та застосування програми і графічної інтерпретації отриманих результатів дає можливість достатньо швидко проаналізувати рух комбайна із системою автоматичного

керування в різних режимах і визначити оптимальні зі всіх сторін зору її параметри.

3.3 Розрахунок кінематики важільного механізму системи керування

Важільний механізм автомата керування складається із трьох ланок a , b , c , причому ланка a є ведучою, а ланка b - веденою. До ланки a приєднаний копір, який надає їй переміщення на кут j_1 , від чого ланка b повертається на кут j_3 .

Кінематична схема механізму автомата керування зображена на рис. 3.4, на якій вектори зображають відповідні ланки механізму, та показано кути їх повороту. Ланка d є базовою, відносно якої коливаються ланки механізму. Для розрахунку кінематичних параметрів зручно застосовувати векторний метод замкнених контурів. Для вказаного механізму справедливе наступне векторне рівняння:

$$\vec{a} + \vec{b} + \vec{c} = \vec{d}$$

у проекціях на осі x та y рівняння матиме вигляд:

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

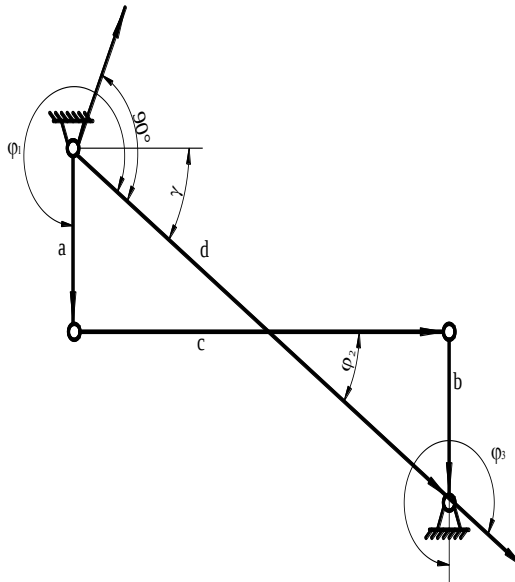


Рисунок 3.4 - Кінематична схема механізму автомата керування
коренезбиральної машини

Визначимо залежність кута j_1 від кута j_3 . Для цього перенесемо доданки з кутом j_2 в ліву частину рівняння, а всі інші - у праву, після чого піднесемо обидва рівняння до квадрату і додамо. В результаті перетворень отримаємо рівняння:

$$A \sin \varphi_3 + B \cos \varphi_3 = D,$$

де

$$A = a b \sin \varphi_1; B = a b \cos \varphi_1 - b d; D = a d \cos \varphi_1 - (a^2 + b^2 + a b).$$

Розв'язок рівняння має вигляд:

$$\varphi_3 = \pm \arcsin\left(\frac{D}{\sqrt{A^2 + B^2}}\right) - \arctan \frac{B}{A}.$$

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

Таблиця 3.1

Розрахункові значення передаточного відношення механізму

Відхилення кута ведучої ланки a , град	Передаточне відношення k	Коефіцієнт нерівномірності K_n
-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

Для роботи вказаного механізму автомата керування важливе значення має передаточне відношення, тобто відношення зміни кута j_3 до зміни кута j_1 при малих кутах коливання останнього ($\pm 5^\circ$) відносно початкового положення:

$$\varphi_{1n} = \frac{3}{2}\pi + \arctan \frac{a+b}{c}.$$

Розрахуємо значення кута j_3 у вказаному випадку та визначимо його відхилення від початкового значення. Обчислимо передаточне відношення, як частку від ділення відхилення кута j_3 до відповідного відхилення кута j_1 :

$$k = \frac{\varphi_3}{\varphi_1}.$$

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

$$K_H = \frac{k}{k_n}.$$

Для досягнення передаточного відношення $k = 3$ із конструктивних міркувань для реального автомата керування обираємо $a = 150$ мм, $b = 50$ мм, $d = 170$ мм, обчислюємо $c = 262,49$ мм.

Розрахункові значення передаточного відношення механізму представлені у таблиці 3.1.

Наведені в таблиці 3.1 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%.

Для визначення параметрів копіра, при його регулюванні, звернемося до розрахункової схеми (рис. 3.5).

Визначення висоти піднімання копіра і його опускання при регулюванні його ширини визначимо з DAOD розрахункової схеми рис. 3.5

$$OD = L / \cos a,$$

де L - висота копіра;

a - кут відхилення копіра.

Величину BD визначимо з рівняння піднімання копіра при зміні кута його

нахилу a з DOAD

$$BD = OD - R; \sin(90 - a) = h / (OD - R);$$

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

де h - висота підйому копіра.

З теореми синусів з DOAD і DBKD справедливе таке співвідношення

$$OA / BK = OD / BD; BK = R \cdot \sin \angle BOD / OD = R \cdot \sin \angle BOD \cdot OD / OD$$

Спростивши вираз, отримаємо

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

Для забезпечення надійності і точності відслідковування (копіювання) рядків необхідно встановити таку відстань розміщення датчиків, щоб плоскі елементи пер не затискалися коренями направляючих рядків, але й не знаходилися далеко від них, тобто були з мінімальним зазором.

Звідки

$$d_1 = \sqrt{\frac{4P}{\pi[\sigma_p]}}$$

де P - сила, яка діє вздовж осі гвинта, Н;

d_1 - внутрішній діаметр різі, мм;

$[\sigma_p]$ - допустиме напруження розтягу, МПа.

За формулою (3.2) обчислюємо:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 30}{\pi[680]}} = 0,013 \text{ м} = 13 \text{ мм}$$

Розрахунок різі болта.

Вихідні дані для розрахунку різі М10×1,5 приймаємо по СТ СЕВ 182 – 75:

- зовнішній діаметр різі $d = 10 \text{ мм}$;

- середній діаметр різі d_2

$$d_2 = d - 1 + 0,026 = 10 - 1 + 0,026 = 9,026 \text{ мм};$$

- внутрішній діаметр різі d_1

$$d_1 = d - 2 + 0,376 = 10 - 2 + 0,376 = 8,376 \text{ мм};$$

- довжина різьбового отвору $h = 25 \text{ мм}$

Визначаємо кількість витків різі в отворі:

$$Z = h_2 / P$$

$$Z = 25 / 1,5 = 16,67, \text{ приймаємо } 17 \text{ витків.}$$

Визначаємо зусилля на витку:

$$Q = (P \times L) / (R_{CH} \times t_g (d + \gamma) \times 0,6 \times M \times Z);$$

де P - прикладене зусилля;

L - довжина різьбової ділянки;

d - кут підйому різі $t = 6^\circ$;

γ - кут тертя $t_g \gamma = 8^\circ 30'$;

Z - коефіцієнт, що враховує кут опорного торця, $Z = 0,6$;

M - коефіцієнт тертя.

$$Q = (20 \times 60) / 120 \times 0,2549 \times 0,6 \times 0,1 \times 5 = 653,85 \text{ кг.с.}$$

$$\delta_M = (4 \times Q) / (\pi \times (d_2 - d_1) \times h)$$

$$\delta_M = (4 \times 65 \times 85) / (3,14 \times (9,026 - 8,376) \times 14 = 51,28 \text{ кг.с./мм}^2$$

Визначаємо запас міцності різі з умови

$$\delta_{CM} \leq [\delta_{CM}],$$

де δ_{CM} - допустиме напруження на зниження рівня $[\delta_{CM}] = 250 \text{ кгс/мм}^2$.

$$n = [\delta_{CM}] / \delta_{CM}$$

$$n = 250 / 51,28 = 4,785 \text{ кгс/мм}^2$$

запас міцності забезпечується.

Висновки

В даному розділі приведено опис запропонованої конструкції копіра автомата водіння, що має ряд переваг перед базовою конструкцією, а саме:

- менша кількість кінематичних зв'язків;
- простота регулювання;
- забезпечення більш якісного зворотного зв'язку.

В наступних розділах будуть проведені розрахунки конструктивних і параметрів, виконано розрахунки на міцність.

В даному розділі виконано кінематичний аналіз руху машини з направляючим органом, приведені розрахунки важільного механізму системи керування.

Визначено розхил датчиків копіра і величину захисної зони: для полозкового датчика 10...15 мм, для датчика «копір-розрихлювач» 15...20 мм.

Приведено перевірочний розрахунок на міцність гвинта кріплення.

4 ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ВИМОГИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

До роботи з машинами для збирання коренеплодів допускаються особи, які пройшли навчання, перевірку знань з охорони праці, техніки безпеки, пожежної безпеки та інструктаж з правил експлуатації конкретного типу техніки.

Справність та перевірка технічного стану агрегатів.

Перед початком роботи необхідно перевірити справність усіх вузлів і механізмів: гідравліки, електропроводки, гальмівної системи, освітлення, сигнальних пристроїв. Забороняється експлуатація техніки з несправними або відсутніми захисними кожухами на обертових частинах.

Заборона перебування людей у зоні дії робочих органів.

Під час роботи техніки суворо заборонено знаходитися поблизу копачів, транспортерів, вивантажувальних пристроїв, очисних барабанів та інших рухомих частин. Усі регулювання, очищення або змащування здійснюються лише після повної зупинки двигуна.

Безпечне агрегування та буксирування.

Машини повинні бути правильно агреговані з тяговим засобом, із застосуванням сертифікованих з'єднувальних елементів (шкворнів, пальців, тросів тощо). Під час руху забороняється перебування людей між агрегованими машинами.

Робота у зручному одязі та засобах індивідуального захисту.

Працівники повинні використовувати щільно прилягаючий до тіла одяг без звисаючих елементів, захисне взуття, рукавиці, при потребі — захисні окуляри та засоби індивідуального захисту слуху.

Організація безпечного руху техніки.

Швидкість руху під час збирання не повинна перевищувати встановлені технічні норми. При русі заднім ходом або при маневрах оператор зобов'язаний переконатись у відсутності людей у зоні руху агрегату.

Заборона самовільного внесення змін у конструкцію машин.

Будь-яке втручання у конструкцію, від'єднання елементів без дозволу інженерно-технічного персоналу суворо заборонене. Це може спричинити аварійну ситуацію та загрозу життю.

Освітлення робочої зони.

Робота у темну пору доби або при недостатньому природному освітленні дозволяється лише за умови справної роботи фар та сигнальних ліхтарів, що забезпечують повну видимість робочої зони.

Протипожежна безпека.

Техніка повинна бути укомплектована вогнегасником, що відповідає встановленим нормам. Забороняється паління біля машин і заправка паливом при працюючому двигуні.

Наявність аптечки та засобів зв'язку.

У кабіні трактора або самохідної машини має бути аптечка першої допомоги, а оператор повинен мати можливість зв'язку (радіозв'язок, мобільний телефон) у разі надзвичайної ситуації.

Всі роботи повинні проводитися відповідно до чинних Правил охорони праці у сільському господарстві, інструкцій з експлуатації машин, а також державних стандартів безпеки праці (ДСТУ, ISO).

Регулярне технічне обслуговування та контроль за станом техніки.

Всі машини, що задіяні у процесі збирання, мають проходити планове технічне обслуговування відповідно до графіка. Особливу увагу слід приділяти гідравлічній системі, піднімальним механізмам, гальмівним елементам та системам змащення. Виявлені несправності необхідно усунути до початку роботи.

Використання засобів колективного захисту.

Усі небезпечні вузли й механізми мають бути обладнані захисними кожухами, огороженнями, блокуваннями та попереджувальними знаками. Розміщення цих засобів не повинно обмежувати огляд оператора або доступ до органів управління.

Правила поводження з електрообладнанням.

Якщо машина має електричні або електронні системи (GPS, датчики, блоки керування), оператори повинні дотримуватись правил безпечного користування електроприладами: уникати коротких замикань, не використовувати обладнання з пошкодженими проводами або корпусами.

Безпека при завантаженні та транспортуванні буряків.

Завантаження коренеплодів у транспортні засоби має здійснюватися лише при повній зупинці їхнього руху. Забороняється стояти або перебувати між комбайном і причепом під час завантаження. Водій повинен залишатись у кабіні або чітко бачити сигнали оператора.

Забезпечення стабільної посадки та безпечного виходу з техніки.

Усі агрегати повинні бути обладнані зручними сходами та поручнями для безпечного підйому й спуску. Оператор повинен утримуватись обома руками при підйомі та не поспішати під час посадки/висадки.

Погодні обмеження.

Робота на полі під час сильної зливи, грози, обмерзання або в умовах недостатньої видимості (туман, пилові бурі) повинна бути припинена. Погодні умови можуть погіршити зчеплення з ґрунтом, вплинути на ефективність гальмування та створити небезпеку перевертання техніки.

Організація зони очікування та відпочинку персоналу.

Працівники, що не задіяні в момент збирання, повинні перебувати у безпечному місці, поза зоною дії техніки. Робоча зона має бути чітко визначена, позначена і контрольована.

Врахування ергономічних вимог.

Робоче місце оператора має бути оснащено зручним сидінням із амортизатором, системою вентиляції або обігріву (залежно від сезону), освітленням та дзеркалами огляду. Тривала робота без належних ергономічних умов сприяє зниженню концентрації уваги та втомлюваності оператора, що збільшує ризик нещасних випадків.

Регламентовані перерви у роботі.

Тривалість безперервної роботи оператора не повинна перевищувати 2 годин, після чого необхідна технологічна перерва не менше 10–15 хвилин. Це сприяє зниженню фізичної та психоемоційної втоми.

Реагування на аварійні ситуації.

Усі працівники повинні бути проінструктовані щодо дій у разі аварійної зупинки, задимлення, витoku пального, відмови гідросистеми або пожежі. Важливо знати місце розташування аварійного вимикача, запасного виходу (у самохідних машинах), а також мати доступ до засобів зв'язку для виклику допомоги.

Висновки

Забезпечення належного рівня техніки безпеки та охорони праці під час експлуатації машин для збирання коренеплодів є критично важливим аспектом організації сільськогосподарського виробництва. Високий ступінь механізації, інтенсивність робіт у стислі агротехнічні строки, а також складність конструкцій сучасної техніки обумовлюють підвищений рівень потенційних ризиків для операторів і обслуговуючого персоналу.

Системне дотримання вимог безпеки – починаючи від проходження інструктажів і закінчуючи регулярним технічним обслуговуванням машин – дозволяє не лише мінімізувати ймовірність нещасних випадків, але й забезпечити стабільність та ефективність роботи усього виробничого процесу. Застосування засобів індивідуального і колективного захисту, дотримання технологічної дисципліни, своєчасне реагування на аварійні ситуації та впровадження ергономічних рішень сприяють створенню безпечного виробничого середовища.

Таким чином, охорона праці у процесі збирання коренеплодів є невід'ємним елементом аграрної технології, що має враховуватись на всіх етапах – від підготовки техніки до завершення польових робіт.

5 ПОКАЗНИКИ ПРОЕКТУ ЕКОНОМІЧНІ

Економічна ефективність процесу збирання коренеплодів є одним з ключових факторів, що визначають загальний рівень продуктивності та рентабельності сільськогосподарських підприємств. Збирання коренеплодів, зокрема цукрових буряків, картоплі, моркви та інших, є енергозатратним процесом, що потребує значних інвестицій у технічні засоби, робочу силу та матеріальні ресурси. Враховуючи високі витрати на організацію цього процесу, питання економічної ефективності набуває особливої ваги для аграріїв, оскільки без оптимізації витрат на збирання та збереження урожаю неможливо досягти бажаного рівня прибутковості.

Економічна ефективність процесу збирання коренеплодів включає в себе комплексну оцінку витрат на технічне оснащення, витрати праці, пального, енергії, а також витрат на ремонт та обслуговування техніки. Оцінка ефективності повинна проводитися з урахуванням різних факторів, що впливають на результат, таких як погодні умови, характеристики ґрунтів, сортові особливості культур і технологічні вимоги до збирання.

Аналіз економічної ефективності дозволяє аграрним підприємствам вибирати оптимальні методи та технічні засоби збирання, знижуючи загальні витрати при одночасному забезпеченні високої якості зібраного урожаю. В умовах конкуренції та зростаючих вимог до продуктивності сільськогосподарських робіт, кожен аспект, пов'язаний з оптимізацією процесу збирання, набуває важливості для забезпечення фінансової стабільності та стійкого розвитку аграрних підприємств.

У цьому розділі розглядаються основні складові економічної ефективності процесу збирання коренеплодів, зокрема аналіз витрат на техніку, робочу силу, матеріали та енергію, а також оцінка фінансових результатів цього процесу в умовах реального виробництва.

Цей вступ можна адаптувати, якщо потрібно уточнити конкретні аспекти економічної ефективності, такі як специфіка аналізу для конкретних

культур чи методів збирання. Якщо потрібно, додам кілька прикладів або показників для конкретних розрахунків економічної ефективності.

Економічна ефективність збирання коренеплодів залежить від ряду факторів, які взаємопов'язані між собою і безпосередньо впливають на загальний рівень витрат і прибутковості. Серед основних факторів можна виділити наступні:

Технічне оснащення

Одним з ключових аспектів економічної ефективності є правильний вибір техніки для збирання. Вартість техніки, її продуктивність, витрати пального та часу, а також знос основних механізмів є важливими показниками для оцінки доцільності інвестицій. Різноманітність технічних засобів, таких як комбіновані комбайни, спеціалізовані машини та навісні агрегати, дозволяє вибрати оптимальне рішення залежно від специфіки поля та культури. Однак, високі початкові витрати на закупівлю техніки можуть бути знижені за рахунок її високої продуктивності та довговічності.

Витрати на трудові ресурси

У сучасних умовах сільськогосподарських підприємств механізація процесу збирання коренеплодів дозволяє значно зменшити витрати на працю. Проте важливо враховувати як кількість працівників, так і їх кваліфікацію, оскільки для роботи з технікою потрібні спеціалісти з відповідною підготовкою. Витрати на заробітну плату робітників складають значну частину загальних витрат на збирання, тому важливо забезпечити належну організацію робочих процесів і ефективне використання робочої сили.

Погодні умови та їх вплив на ефективність збирання

Погодні умови відіграють вирішальну роль у процесі збирання коренеплодів. Перезрілі або надмірно вологі рослини можуть призвести до додаткових витрат на збір, а також погіршення якості продукції. Негативні погодні умови (дощ, сніг, заморозки) можуть затримувати початок збирання або збільшувати витрати на підготовчі роботи. Це в свою чергу знижує

економічну ефективність процесу, адже збільшуються витрати на технічне обслуговування та обробку зібраного урожаю.

Час збирання і технологічні строки

Оптимізація часу збирання є важливим елементом забезпечення економічної ефективності. Пропущення оптимальних агротехнічних строків збирання може призвести до зниження врожайності, втрати частини врожаю або погіршення його якості. Потрібно забезпечити точне планування та синхронізацію з іншими агротехнічними процесами для досягнення максимальних результатів при мінімальних витратах.

Витрати на паливо та енергію

Витрати на паливо та енергію є одними з основних чинників, що впливають на економічну ефективність збирання коренеплодів. Висока споживча здатність техніки та використання неекономічних джерел енергії можуть значно підвищити витрати на одиницю зібраної продукції. Тому зниження витрат на енергоносії через використання економічної техніки, впровадження новітніх технологій для зниження витрат пального, а також оптимізація роботи механізмів є важливими аспектами економічної ефективності.

Утилізація та зберігання зібраного врожаю

Процес утилізації та зберігання зібраного врожаю також несе економічну складову. Правильне зберігання і транспортування коренеплодів до місць переробки або продажу є важливим етапом, що дозволяє зберегти продукцію і знизити втрати. Витрати на обробку, упаковку та транспортування також впливають на загальну економічну ефективність.

Оцінка економічної ефективності

Для оцінки економічної ефективності процесу збирання коренеплодів необхідно враховувати кілька основних показників:

Кошти, витрачені на одиницю продукції (збиральної одиниці)

Розрахунок витрат на збирання одного гектара чи одиниці продукції дозволяє визначити рівень рентабельності процесу та порівняти різні методи збирання.

Продуктивність праці

Визначення продуктивності праці дозволяє оцінити ефективність використання робочої сили та визначити, скільки одиниць продукції отримується на одиницю витраченого часу чи робочих ресурсів.

Рентабельність збирання

Рентабельність визначається як співвідношення прибутку, отриманого від реалізації зібраної продукції, до витрат на процес збирання. Це дозволяє оцінити, наскільки ефективно використані ресурси для отримання певного обсягу продукції.

Витрати на обслуговування та ремонт техніки

Технічне обслуговування та своєчасний ремонт машин є необхідною складовою для досягнення високої економічної ефективності, оскільки від цього залежить безперебійна робота техніки та зменшення неочікуваних витрат.

$$E_p = (\Pi_{\sigma} - \Pi_{\sigma} + E')B_z, \quad (5.1)$$

$$E_m = E_p / a_n + E_n, \quad (5.2)$$

$$\Pi_{\sigma} = \Pi_{\sigma m} \delta, \quad (5.3)$$

$$\Pi_{\sigma m} = [E / (a_n + E_n) + B_n] (1 / \delta), \quad (5.4)$$

$$\Pi_{\sigma m} = [(\Pi_{\sigma} - \Pi'_{\sigma} + E') + B_n] (1 / \delta), \quad (5.5)$$

$$Z_p = (Z_{\sigma} - Z_{\sigma n})B_z, \quad (5.6)$$

$$C=(3'_{p\bar{o}} - 3'_{pн})100/3'_{p\bar{o}}, \quad (5.7)$$

$$P=B(r_m+r_k)/W_{зм}T_p, \quad (5.8)$$

$$C_{\partial m}=\sum_i h_{\partial mi} \Pi_{\partial mi}, \quad (5.9)$$

$$3_3=3_{3\bar{o}}/W_{зм}, \quad (5.10)$$

$$C_{om}=\sum_i h_{\partial mi} \Pi_{\partial mi}, \quad (5.11)$$

$$C_n=\sum \Pi_n X_n, \quad (5.12)$$

Закупівельна ціна буряків, грн/т ($C=1900$ грн/т, розрахована емпірично, виходячи з середньої біржової вартості станом на листопад 2024 року).

Таблиця 5.1

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності

Назва показника	Одиниці виміру	Модернізована модель	Базова модель
Продуктивність за 1 год. часу зміни	га/год.	1,45	1,26
Річне планове завантаження	год.	300	300
Середня урожайність	т/га	23,4	23,4
Основні якісні показники: - втрати коренеплодів - сильні пошкодження коренеплодів	%	1,4 4,7	1,5 6,8

Аналіз економічної ефективності процесу збирання коренеплодів показав, що цей етап є одним з найбільш витратних у аграрному виробництві, і його оптимізація має безпосередній вплив на загальну рентабельність підприємства. Врахування таких факторів, як вибір техніки, витрати на паливо, енергію, робочу силу та технічне обслуговування, є важливими для забезпечення ефективного функціонування цього процесу.

Вибір сучасної техніки з високою продуктивністю та економічними показниками споживання пального дозволяє знизити операційні витрати і покращити показники прибутковості. Технічні інновації, що сприяють зниженню витрат на енергоносії, а також оптимізація робочої сили та зменшення часу на збирання, здатні значно підвищити ефективність аграрного виробництва.

Загалом, для досягнення високої економічної ефективності необхідно не лише впроваджувати нові технології збирання, але й постійно вдосконалювати управління витратами на виробничі процеси. Важливою складовою є також адаптація до змінних погодних умов, що дозволяє зберігати якість та кількість врожаю, а отже, знижувати втрати та підвищувати доходність.

Отже, оптимізація процесу збирання коренеплодів через комплексний підхід до аналізу витрат і прибутків є основою для підвищення економічної ефективності сільськогосподарських підприємств. Застосування сучасних методів обчислення економічної ефективності на основі конкретних показників дозволяє чітко оцінювати доцільність інвестицій і виробничих рішень, що, в свою чергу, забезпечує конкурентоспроможність на ринку та фінансову стійкість. Досягнення максимальної економічної ефективності збирання коренеплодів важливо впроваджувати інтегровані підходи до організації виробництва, що включають не лише технологічні інновації, але й комплексний аналіз фінансових і матеріальних витрат. Постійне вдосконалення процесу збирання, на основі детального моніторингу та аналізу витрат і результатів, дозволяє досягати не тільки високих технічних показників, але й забезпечувати стабільність фінансових результатів сільськогосподарського підприємства.

Висновки

Отже, економічна ефективність процесу збирання коренеплодів має великий вплив на загальний фінансовий стан аграрного підприємства, а її

покращення є важливою складовою стратегії сталого розвитку в умовах конкурентного ринку сільськогосподарської продукції.

За рахунок покращення показників роботи коренезбиральної машини, обладнаної модернізованим автоматом керування, річний економічний ефект складе 24967 грн. Економія затрат праці прогнозується в межах 31,2 людино-годин.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведений короткий аналіз господарської діяльності. З аналізу посівних площ видно, що основними вирощувальними культурами є озима пшениця, ячмінь, цукровий буряк, горох, кукурудза. Проведений аналіз, способів збирання та засобів механізації, прийнято рішення модернізувати конструкцію автомата водіння комбайну МКК-6.

2. Приведенні агротехнічні вимоги до бурякозбиральних машин.

3. Виявлено, що більшість систем автоматичного керування мобільними збиральними сільськогосподарськими машинами є конструктивно складними і побудованими на оригінальній елементній базі, що викликає їх значну собівартість, а також труднощі при експлуатації та ремонті. Прийнято рішення провести модернізацію коренезбиральної машини МКК-6 з розробкою копіра автомата водіння машини.

4. Приведено опис запропонованої конструкції копіра автомата водіння, що має ряд переваг перед базовою конструкцією, а саме:

- менша кількість кінематичних зв'язків;
- простота регулювання;
- забезпечення більш якісного зворотного зв'язку.

5. Виконано кінематичний аналіз руху машини з направляючим органом, приведені розрахунки важільного механізму системи керування. Визначено розхил датчиків копіра і величину захисної зони: для полозкового датчика 10...15 мм, для датчика «копір-розрихлювач» 15...20 мм. Приведено перевірочний розрахунок на міцність гвинта кріплення.

6. Розраховані основні експлуатаційні показники роботи модернізованого знаряддя. В результаті проведених розрахунків визначена продуктивність за одну годину змінного часу 1,4 га/год., погектарна витрата палива 6,2 кг/га.

7. Системне дотримання вимог безпеки – починаючи від проходження інструктажів і закінчуючи регулярним технічним обслуговуванням машин –

дозволяє не лише мінімізувати ймовірність нещасних випадків, але й забезпечити стабільність та ефективність роботи усього виробничого процесу. Застосування засобів індивідуального і колективного захисту, дотримання технологічної дисципліни, своєчасне реагування на аварійні ситуації та впровадження ергономічних рішень сприяють створенню безпечного виробничого середовища.

8. За рахунок покращення показників роботи коренезбиральної машини, обладнаної модернізованим автоматом керування, річний економічний ефект складе 24967 грн. Економія затрат праці прогнозується в межах 31,2 людино-годин.

ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА

1. Гречанюк, О. О. (2019). Механізація сільськогосподарського виробництва. Київ: Агропрофі.
2. Козак, В. В., Ткаченко, О. О. (2018). Машини для збирання коренеплодів: технології, конструкції, ефективність використання. Харків: ХНАУ.
3. Рогач, І. І., & Мельник, О. О. (2020). Інноваційні технології в механізації збирання коренеплодів. Львів: Наукова думка.
4. Петров, М. С. (2021). Агротехніка та машини для збирання цукрових буряків. Черкаси: Черкаський національний університет.
5. Бенжамін, Л. В., Сміт, Дж. Г. (2017). Harvesting Machines for Root Crops: Design and Performance. *Journal of Agricultural Engineering*, 34(2), 123–137.
6. Коваленко, А. І. (2015). Економіка та ефективність використання машин для збирання коренеплодів в аграрному виробництві. Київ: Вища школа.
7. Захарова, Л. М. (2016). Сучасні методи механізації збирання коренеплодів: стан та перспективи. *Агропромислова наука*, 58(4), 56–62.
8. Jorgensen, R. H., & Smith, J. D. (2015). Field Machinery for Root Crop Harvesting: Efficiency and Environmental Impact. *International Journal of Agricultural Technology*, 31(1), 45–60.
9. Лукашенко, В. Л. (2017). Машини для збирання коренеплодів та їх роль у модернізації аграрного сектору. *Аграрна наука*, 12(3), 82–90.
10. Котляр, Ю. Б., & Хоменко, Т. І. (2014). Механізми та технології для збирання коренеплодів: інноваційні підходи. Харків: Наукове видання.
11. Шевченко, О. Г. (2020). Інноваційні технології збирання коренеплодів в умовах сучасної механізації. Київ: Агроцентр.

12. Дмитренко, П. В., & Іванов, В. О. (2018). Аналіз техніки для збирання коренеплодів: тенденції та перспективи розвитку. Вісник аграрної науки, 42(5), 65–72.
13. Мельникова, І. В. (2019). Сучасні машини для збирання коренеплодів: принципи конструкції та ефективність використання. Механізація сільського господарства, 36(4), 43–55.
14. Fletcher, B. T., & Miller, S. A. (2017). Development and Performance Evaluation of Root Crop Harvesting Machines. *Agricultural Engineering Journal*, 26(3), 214–223.
15. Сивак, О. М., & Боднар, І. О. (2018). Технічні аспекти ефективного використання машин для збирання коренеплодів. Харків: Агроосвіта.
16. Schultz, J. F., & Robinson, K. E. (2016). Automation and Efficiency in Root Crop Harvesting: A Review. *Journal of Agricultural Machinery*, 22(1), 11–19.
17. Гончаренко, Т. В., & Тимофієнко, М. В. (2017). Проблеми і перспективи розвитку машин для збирання коренеплодів в Україні. Український аграрний журнал, 51(2), 77–86.
18. Volk, A. K., & Kovalev, S. Y. (2020). Technological Solutions for Root Crop Harvesting Machines: Innovations and Challenges. *Agrotechnology Review*, 13(4), 98–106.
19. Гавриленко, В. М. (2021). Машини для збирання коренеплодів: інтернаціональний досвід та вітчизняні розробки. Аграрні технології, 43(6), 113–125.
20. Markov, A. P., & Lysenko, P. P. (2019). Modern Trends in Root Crop Harvesting Machinery Development. *Russian Journal of Agricultural Engineering*, 14(2), 45–53.
21. Давиденко, В. І., & Нечитайло, С. М. (2022). Механізація збирання коренеплодів: сучасні технології та перспективи розвитку. Механізація сільського господарства, 49(7), 123–132.

22. Коваленко, О. С. (2017). Техніка для збирання коренеплодів: конструктивні особливості та вибір. Вісник механізації сільського господарства, 28(3), 34–41.
23. Smith, J. D., & Taylor, R. M. (2016). Innovative Techniques for Root Crop Harvesting and Processing. *International Journal of Agricultural Engineering*, 39(6), 203–212.
24. Ломако, А. І., & Бережний, О. М. (2020). Проблеми та рішення механізації збирання коренеплодів у сучасних умовах. Вісник аграрної науки України, 67(9), 98–106.
25. Залозний, Р. А. (2018). Машини для збирання коренеплодів та їх ефективність: аналіз та практичні рекомендації. Київ: Науково-методичний центр.
26. Шмідт, В. М. (2021). Механізми для збирання коренеплодів: перспективи розвитку в Україні та за кордоном. Техніка і технології в агробізнесі, 36(4), 45–53.
27. Harrison, R. B., & Johnson, M. T. (2017). The Role of Machinery in Root Crop Harvesting: Design and Performance Assessment. *Journal of Agricultural Technology*, 29(8), 347–358.
28. Марченко, С. П., & Єрмаков, І. А. (2019). Сучасні тренди в розвитку машин для збирання коренеплодів. Агросфера, 41(5), 78–85.
29. Karpenko, A. V. (2020). Root Crop Harvesting Technology: Efficiency and Innovations. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 42(1), 67–76.
30. Яременко, П. М., & Лісовий, В. В. (2021). Механізація збирання коренеплодів: підходи до вдосконалення технологій. Сільськогосподарська техніка, 44(7), 88–96.

ДОДАТКИ