

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра агроінжинірингу**

До захисту  
Допускається  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
**Шуляк М.Л.**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

за бакалаврським рівнем вищої освіти

На тему: «Технічне забезпечення підготовки ґрунту під посів сої в умовах  
ФОП «Зеря» Сумського району Сумської області»

Виконав: \_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_ Івченко М.С. \_\_\_\_\_

(Прізвище, ініціали)

Група: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ АІ 2201 – 2 с.т. \_\_\_\_\_

(Науковий) керівник: \_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_ Соколік С.П. \_\_\_\_\_

(Прізвище, ініціали)

Суми – 2025

## **АНОТАЦІЯ**

**Івченко М.С.**

**Технічне забезпечення підготовки ґрунту під посів сої в умовах ФОП «Зеря» Сумського району Сумської області**

**ОПП Агроінженерія**

**Спеціальність 208 Агроінженерія**

**Сумський національний аграрний університет**

**М. Суми, 2025р.**

Робота містить в собі 48 аркушів, 7 – таблиць, 24 – використаних джерел літератури, і 7 – графічних аркушів.

Кваліфікаційна робота присвячена оптимізації процесу культивуації ґрунту під посів сої в умовах ФОП «Зеря» Сумського району. Проаналізовано ґрунтово-кліматичні умови (чорнозем середній) та поточний технічний парк господарства.

Розроблено комплекс технологічних операцій для інтенсивної технології вирощування сої. Обґрунтовано застосування агрегатів, включаючи трактор МТЗ-80 у поєднанні з удосконаленим культиватором КПСП-4 для подальшого передпосівного обробітку. Визначено оптимальні робочі швидкості та тягові навантаження, враховуючи питомий тяговий опір ґрунту (35 кН/м<sup>2</sup>).

Проведено економічний аналіз запропонованих рішень для оранки, підтверджуючи їхню ефективність та потенціал для підвищення рентабельності вирощування сої. Робота має практичне значення для господарства, пропонуючи конкретні рекомендації щодо використання техніки для оранки.

Ключові слова: соя, культивуація, підготовка ґрунту, машиновикористання, агрегат, технологія, МТЗ-80, КПСП-4, економічна ефективність.

## ANNOTATION

**Ivchenko M.S.**

**Topic: "Technical Support for Soil Preparation for Soybean Sowing under the Conditions of FOP "Zerya" in Sumy District, Sumy Region"**

**Educational Professional Program:** Agroengineering

**Specialty:** 208 Agroengineering

**Sumy National Agrarian University**

**Sumy, 2025**

**Volume of Work:** The thesis contains 48 pages, 7 tables, 24 references, and 7 graphic sheets.

### **Brief Abstract:**

This qualification paper focuses on optimizing the process of soil cultivation for soybean sowing at FOP "Zerya" in the Sumy district. The study analyzes the soil and climatic conditions (medium chernozem) and the current machinery park of the farm.

A complex of technological operations for intensive soybean cultivation technology has been developed. The application of machinery, including the MTZ-80 tractor paired with an improved KPSP-4 cultivator for subsequent pre-sowing tillage, is substantiated. Optimal working speeds and traction loads have been determined, considering the specific soil traction resistance (35 kN/m<sup>2</sup>).

An economic analysis of the proposed solutions for plowing was conducted, confirming their effectiveness and potential to increase the profitability of soybean cultivation. The work holds practical significance for the farm, offering specific recommendations for the use of machinery for plowing.

**Keywords:** soybean, cultivation, soil preparation, machinery use, agricultural unit, technology, MTZ-80, KPSP-4, economic efficiency.

## Зміст

1.	Характеристика підприємства .....	6
1.1	Основа характеристика господарства.....	6
1.2	Характеристика земель .....	7
1.3	Кліматичні умови .....	8
1.4	Машино-тракторний парк господарства.....	9
2.	Технологічна частина .....	12
2.1	Підготовка ґрунту для вирощування сої: .....	12
2.2	Основні етапи обробітку ґрунту.....	13
2.3	Значення сої в сільському господарстві.....	14
2.4	Порівняння агрегатів .....	17
2.5	Розрахуємо вибір робочої машини та трактора .....	19
2.6	Розраховуємо найвигідніший агрегат .....	27
3.	Конструкційна частина .....	29
3.1	Конструктивні модифікації базового культиватора.....	29
3.2	Визначення енергетичних показників удосконаленого культиватора.....	37
4.	Економічна частина .....	39
4.1	Розрахунок амортизаційних відрахувань.....	39
4.2	Визначення річного економічного ефекту від впровадження модернізації.....	41
	Висновок .....	42
	Список літератури.....	43

## ВСТУП

Мета дипломної роботи полягає у комплексному дослідженні та глибокому аналізі існуючих технологічних процесів передпосівної підготовки поля, що застосовуються на фермерському господарстві ФОП «Зеря Олександра Іванівна», розташованому в південній частині Чернігівської області. В рамках дослідження передбачається оцінити ефективність використання наявного машинно-тракторного парку підприємства, включаючи трактори різних класів потужності та спеціалізовані сільськогосподарські машини, у контексті передпосівної обробки ґрунту під основні сільськогосподарські культури, такі як зернові та соняшник, з урахуванням агротехнічних вимог, ґрунтово-кліматичних умов регіону та специфіки підприємства.

Основною метою роботи є розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо оптимізації технології передпосівної підготовки поля, спрямованих на підвищення ефективності використання наявних технічних ресурсів, мінімізацію виробничих витрат, зокрема витрат паливно-мастильних матеріалів та експлуатаційних витрат на техніку, а також на забезпечення високої якості підготовленого ґрунтового середовища для досягнення оптимальних показників посіву та подальшої врожайності основних сільськогосподарських культур, що вирощуються на підприємстві.\*\*

У цьому розширеному варіанті більш детально окреслено об'єкт дослідження (ФОП «Зеря Олександра Іванівна», південна частина Чернігівської області), враховано основні культури (зернові та соняшник), підкреслено важливість ґрунтово-кліматичних умов, а також більш конкретно зазначено напрямки оптимізації (ефективність використання техніки, зниження витрат, якість підготовки ґрунту, врожайність).

# 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ФОП «ЗЕРЯ ОЛЕКСАНДРА ІВАНІВНА» СУМСЬКОГО РАЙОНУ

## 1.1 Основа характеристика господарства

ФОП «Зеря Олександра Іванівна» знаходиться в Сумському районі, в селі Косівщина. Розташоване неподалік від міста Суми, де розміщене відоме «сумське море».

Земельна площа, якою користується ФОП «Зеря Олександра Іванівна» 307 га.

Господарство спеціалізується на вирощуванні зернових. Основними культурами є ранні зернові, ярові, технічні рослини, серед яких виділяється соняшник, а також кормові, включаючи кукурудзу.

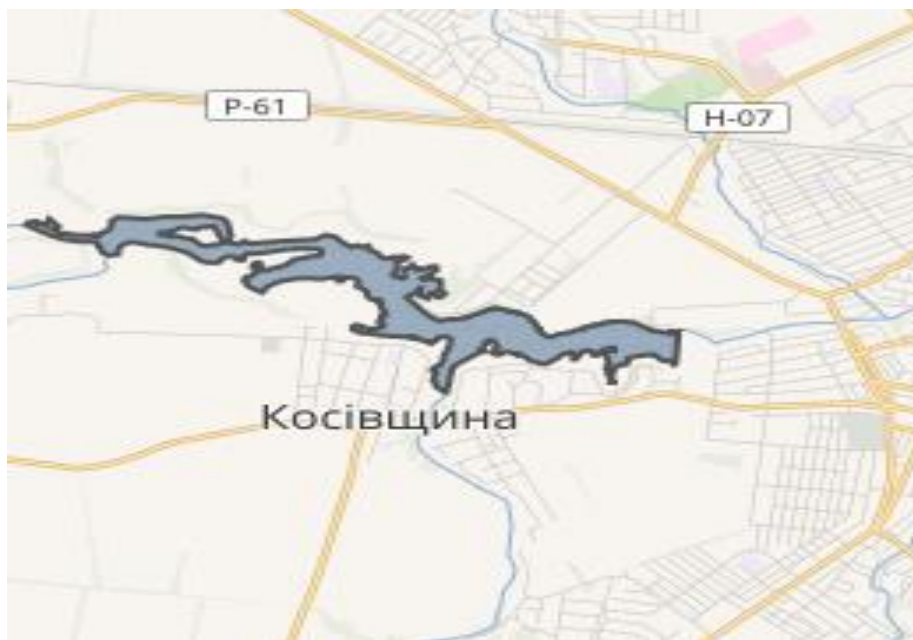


Рис. 1.1 Розташування земель господарства

Господарство зосереджує свою діяльність на вирощуванні зернових культур, які продаються за ринковими цінами здебільшого місцевим підприємствам, а в окремих випадках і іншим покупцям. Це сприяє розвитку аграрного сектору, забезпечує продовольчі потреби регіону та створює економічні можливості для розширення ринку збуту.

Щоб значно підвищити ефективність і якість вирощування сільськогосподарських культур, нині активно застосовуються передові GPS-технології. У поєднанні з системами точного землеробства залучаються висококваліфіковані спеціалісти, які забезпечують глибоке розуміння аграрних процесів та сприяють максимальному зростанню продуктивності господарств. Без досвідчених агрономів і кваліфікованих інженерів існує суттєва загроза серйозних ризиків і втрат.

Таблиця 1.1 Статистика врожайності культур підприємства

Культури	2022 рік		2023 рік		2024 рік	
	Площа, га	Урожайність ц/га	Площа, га	Урожайність ц/га	Площа, га	Урожайність ц/га
Озима пшениця	100	45	105	47	110	50
Кукурудза	120	85	115	88	100	90
Соя	85	30	85	32	85	35

## 1.2 Характеристика земель

Лісостепова зона характеризується достатньо довгим теплим періодом (230-275 днів) та вегетаційним сезоном (190-210 днів), що створює умови для вирощування багатьох сільськогосподарських культур. Фаза активного росту рослин Соя в середньому 150-180 днів. Теплові ресурси регіону, що визначаються сумою активних (понад +5°C) та ефективних (понад +10°C) температур, є значними, що важливо як для розвитку культур, так і для активності шкідників.

Температура ґрунту на глибині залягання вузла куштиння озимих культур в середньому становить близько +10°C, але взимку можливі морози до -21°C. Глибина промерзання ґрунту варіюється від 50 до 70 см, хоча трапляються випадки від 10 до 150 см. Потреба рослин у теплі для росту залежить від фази їх

розвитку. Наприклад, для успішного вирощування вівса необхідна сума температур понад  $+10-13^{\circ}\text{C}$ , кукурудзи –  $15-20^{\circ}\text{C}$ , а озимої пшениці –  $13-16^{\circ}\text{C}$ . Екстремальні температурні коливання негативно впливають на фізіологічні процеси рослин і можуть призвести до зниження врожайності або навіть їх загибелі.

Забезпечення рослин вологою є ключовим фактором для отримання стабільних врожаїв. В Україні значна частина сільськогосподарських угідь страждає від недостатнього зволоження. Основне джерело вологи – атмосферні опади, найбільша кількість яких випадає в період з травня по липень. У Лісостепу липень є найбільш вологим місяцем. Періоди тривалої відсутності опадів (понад 10 днів) є досить частим явищем у цій зоні і можуть завдати значної шкоди сільському господарству. Для оцінки вологозабезпеченості культур враховують запаси вологи в різних шарах ґрунту.

### **1.3 Кліматичні умови**

ФОП «Зеря Олександра Іванівна», має сприятливі природно-кліматичні умови для ведення сільського господарства. Помірний континентальний клімат з м'якою зимою (середня температура січня  $-5,5^{\circ}\text{C}$ ) та теплим літом (середня температура липня  $+21^{\circ}\text{C}$ ), а також достатня кількість опадів у літньо-осінній період створюють добрі передумови для вирощування зернових культур та соняшнику. Родючі ґрунти цього регіону є важливим ресурсом для підвищення ефективності виробництва.

Стабільність врожаю сільськогосподарських культур безпосередньо залежить від рівня вологості ґрунту. В Україні значна частина сільськогосподарських угідь потерпає від дефіциту вологи, що стримує ріст і знижує продуктивність рослин. Головним джерелом поповнення вологи є атмосферні опади. Максимальна кількість опадів фіксується в період з травня по липень, причому липень є найбільш вологим місяцем у Лісостеповій зоні. Після цього спостерігається поступове зменшення опадів, хоча в жовтні є незначне зростання порівняно з вереснем. Найменша кількість дощів випадає в літні та

зимові місяці, часто не перевищуючи 10 мм. У Лісостепу нерідкі тривалі періоди без дощів (понад 10 днів), що негативно позначається на розвитку сільськогосподарських культур. Для оцінки вологозабезпеченості рослин протягом вегетаційного періоду аналізують вміст вологи в різних шарах ґрунту.

Сприятливі природно-кліматичні умови південної частини Суської області, де розташоване ФОП «Зеря Олександра Іванівна», створюють чудові можливості для успішного ведення сільськогосподарської діяльності. Зокрема, клімат цього регіону (помірно континентальний з м'якими зимами та теплим літом) і родючі ґрунти є ідеальними для вирощування різноманітних культур, серед яких особливе місце займають зернові та соняшник. Розподіл опадів, з переважанням у літньо-осінній період, також є сприятливим фактором. Ефективне управління земельними ресурсами дозволяє підтримувати та підвищувати їхню родючість, що безпосередньо впливає на збільшення обсягів виробництва та продажів продукції підприємства.

#### **1.4 Машино-тракторний парк господарства**

Ефективне виконання сільськогосподарських робіт у ФОП «Зеря Олександра Іванівна» забезпечується завдяки наявності добре оснащеного машинно-тракторного парку, ключову роль в якому відіграє тракторна бригада. Підприємство має в своєму розпорядженні широкий спектр сучасної техніки для здійснення повного циклу агровиробництва. Технологічний процес вирощування кожної культури чітко регламентований і включає всі етапи, починаючи з підготовки ґрунту та посіву і закінчуючи збиранням та післязбиральною обробкою. Важливим аспектом є суворе дотримання агротехнічних вимог, використання якісних матеріалів та передових методів обробітку. Для оптимізації виробничих процесів впроваджено такі технології, як технологічні карти та системи контролю якості на кожному етапі робіт. Основне навантаження на техніку припадає на весняно-осінній період, коли виконуються ключові польові роботи.

На нашому підприємстві ефективно вирощування сільськогосподарських культур забезпечується завдяки наявності сучасного та різноманітного машинно-тракторного парку, детальний опис якого наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Машино тракторний парк

Назва техніки	Кількість
Трактори: (Всього)	6
John Deere 7830	2
МТЗ-892	1
ЮМЗ-6	1
Т-150К	2
Грузові машини: (Всього)	5
Камаз 5511	2
ЗІЛ 130	1
МАЗ 555102-220	2
Комбайни: (Всього)	4
Claas Dominator 108	2
ДОН 1500Б	1
Claas Lexion-580	1
Сівалки: (Всього)	4
СЗ-3,6	1
John Deere 1745	2
СУПН-8	1
Культиватори: (Всього)	3
John Deere 960	2
КПС-4	1
Плуги: (Всього)	4
ПЛН-5-35	1
ПЛН-3-35	1
ПОН-5-45 «Умань»	1

ПЛН-4-35	1
Розкидачі добрив: (Всього)	3
ПРТ-10	1
John Deere DN350	1
МЖТ-10	1

Цей парк дозволяє якісно та своєчасно виконувати весь спектр необхідних агротехнічних операцій – від підготовки ґрунту та внесення добрив до посіву, догляду за посівами та збирання врожаю. Використання передової техніки сприяє значній оптимізації трудових витрат, скороченню тривалості польових робіт та більш ефективному використанню наявних ресурсів. Це, в свою чергу, безпосередньо впливає на досягнення високої якості та стабільності врожаїв. Матеріально-технічна база підприємства, що включає не лише техніку, але й виробничі приміщення та інше обладнання, є важливим фактором для підвищення продуктивності, впровадження прогресивних технологій та забезпечення сталого розвитку аграрного виробництва.

Ефективне управління застосуванням техніки складається з п'яти ключових елементів. Планування спрямоване на визначення потреб, оптимальний розподіл ресурсів, складання графіків для уникнення простоїв та мінімізацію потенційних ризиків. Спостереження та контроль забезпечують безперебійну роботу шляхом відстеження стану техніки, оцінки продуктивності на основі даних, регулярних перевірок та своєчасного виявлення несправностей. Технічне обслуговування та ремонт мають на меті підтримання працездатності обладнання через планове ТО, попередження поломок, оперативне усунення несправностей та прогнозування майбутніх потреб у ремонті. Автоматизація використовується для підвищення ефективності за рахунок зменшення ручної праці, дистанційного керування, оптимізації процесів та аналізу даних.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Підготовка ґрунту для вирощування сої:

Сою рекомендується висівати в добре прогрітий ґрунт будь-якого типу, за винятком кислих і сухих ґрунтів з поганою структурою та низьким вмістом органіки. Найкращими попередниками для сої є пшениця, жито, ячмінь, а також кукурудза, картопля та буряк. Не слід сіяти сою після соняшнику, гороху, квасолі, нуту та сочевиці.

Основні передпосівні роботи включають загортання добрив і поживних решток, поліпшення структури ґрунту, накопичення вологи та боротьбу з бур'янами.

Соя є однією з найбільш затребуваних і вигідних сільськогосподарських культур на українському ринку. Високий попит зумовлений економічними перевагами: рослинний білок є значно дешевшим за тваринний, а її вирощування потребує менших витрат на азотні добрива.

Окрім того, соя є чудовим попередником для інших культур, залишаючи в ґрунті 60-80 кг/га азоту.

Правильна підготовка ґрунту є фундаментом для отримання високого врожаю сої.

Якщо ви плануєте вирощувати сою, пропонуємо вам агрономічний порадики, що включає важливі правила, засновані на досвіді українських аграріїв:

Правило 1: Оптимальні строки сівби. Українські фермери кажуть: "Сою сій, коли яблуня цвіте". І це дійсно так. Сівбу проводять при досягненні середньодобової температури +12 °С. Передпосівне поле повинно бути рівним, а сходи мають з'явитися протягом семи днів.

Правило 2: Налагоджена техніка. Для мінімізації травмування насіння необхідно заздалегідь провести технічний огляд посівної техніки. Переконайтеся, що сівалка не пошкоджує насіння сої, і за потреби відрегулюйте

норму висіву. Слід пам'ятати, що пневматичні сівалки можуть бути причиною механічних пошкоджень насіння сої.

Правило 3: Вибір сорту та норми висіву. Ретельно вивчіть характеристики обраного сорту сої, щоб визначити оптимальну норму висіву, глибину загортання насіння та рекомендовану ширину міжрядь.

Правило 4: Контроль кислотності ґрунту. Оптимальний рівень рН для вирощування сої становить 5,5-7. Якщо показник рН нижчий за 5,5, рекомендується застосувати спеціальне мінеральне добриво NPK 9:18:22 для нормалізації кислотності ґрунту.

Правило 5: Спостереження та аналіз розвитку рослин. Важливо уважно стежити за всіма фазами росту сої та аналізувати їх. Слід пам'ятати, що врожайність цієї культури залежить від якості добрив та правильності їх внесення, а не від загальної кількості підживлень.

## **2.2 Основні етапи обробітку ґрунту**

Основні етапи обробітку ґрунту під сою включають:

- Механічний обробіток:
  - Луцнення
  - Зяблева оранка
  - Весняний обробіток
- Внесення добрив (основне живлення)

Кліматичні потреби сої

Соя – культура, яка потребує багато світла та тепла. Оптимальні умови для її росту складаються при температурі повітря вище 15 °С, що характерно для мусонного клімату. Мінімальна температура для проростання насіння сої становить 7 °С, а найкраща – 14-20 °С. Молоді сходи можуть витримувати короточасні заморозки до -3 °С, проте таке зниження температури у фазі трьох справжніх листків є критичним і може призвести до загибелі рослин. Для успішного проростання насінню сої необхідна сума ефективних температур у межах 17-22 °С.

Соя належить до рослин короткого дня. Температурний режим суттєво впливає на кількість та якість врожаю. Підвищення температури на пізніх етапах розвитку прискорює дозрівання насіння, стимулює синтез жирів і зменшує накопичення вуглеводів. Навпаки, низькі температури сприяють збільшенню вмісту вуглеводів у насінні та уповільнюють синтез білків.

Соя є самоzapильною рослиною. Навіть за сприятливих умов сходи сої розвиваються не дуже швидко. На їх якість значно впливає наявність тепла та вологи (першочергово), а також забезпеченість поживними речовинами та якість посіву. Рекомендується проводити посів на однакову глибину з подальшим коткуванням, що забезпечує рівномірність сходів. Також бажано обробити насіння фунгіцидним протруйником, а за наявності великої кількості ґрунтових шкідників – ще й інсектицидним.

### **2.3 Значення сої в сільському господарстві**

Соя відіграє важливу роль як у сільському господарстві, так і в харчовій промисловості, що робить її завжди рентабельною культурою.

З твердого зерна сої виробляють крупи, борошно та рослинне молоко.

Соеве молоко під пресом перетворюють на окару, а також використовують для виготовлення соєвого сиру – тофу.

Популярне соєве м'ясо отримують зі знежиреного соєвого борошна шляхом пресування до набуття ним волокнистої структури.

Шляхом пресування також виробляють соєву олію, яка є корисною та поживною для людини.

Соевий шрот та макуху використовують у тваринництві як корми та цінні кормові добавки.

Однією з особливостей сої, що визначає її місце в сівозміні, є специфіка кореневої системи. На початкових етапах вегетації вона розвивається інтенсивніше, ніж надземна частина рослини. Тому найкраще соя росте та дає високий урожай на полях з низьким рівнем забур'яненості.

Доцільно вирощувати сою після озимих та ярих зернових культур, а також після просапних. Ці попередники рано звільняють поле, що дозволяє якісно та багаторазово підготувати ґрунт до посіву сої.

Сучасний підхід до формування сівозміни з соєю полягає в її чергуванні зі злаковими культурами (пшениця, ячмінь, кукурудза, сорго, просо та інші). Сою не рекомендується як попередник або наступник для інших широколистих культур (олійних, бобових, картоплі тощо) в одній сівозміні.

Оптимальна ротація культур із соєю для традиційної агротехніки та систем No-Till/Strip-Till передбачає чергування широколистих і злакових рослин. Такий підхід покращує врожайність завдяки ефективному контролю шкідливих рослин і захворювань. Додатково можна використовувати сидерати. Ця схема сівозміни успішно застосовується як на поливних, так і на неполивних землях (наприклад, на фермерському господарстві Марка Рорича в Північній Дакоті, США). Рекомендовано вирощувати соняшник (звичайний або SU-стійкий), сою (толерантну до гліфосату), кукурудзу та пшеницю (звичайні сорти без гербіцидної стійкості).

Сучасні агрономи вважають, що використання чистих парів у сівозміні з соєю є неефективним витрачанням часу та ресурсів господарства!

Найкращими попередниками для сої в сівозміні є зернові культури (пшениця, кукурудза, сорго, ячмінь, овес, жито, злакові трави, сорго, просо, рис тощо)!

Найменш придатними попередниками для сої є будь-які широко листикові культури (сама соя, соняшник, олійні, бобові, овочеві та інші).

Ефективна сівозміна для сої може виглядати так: соя – кукурудза – соняшник – пшениця!

Соняшник є одним із найменш бажаних попередників для сої, особливо гібриди, стійкі до сульфонілсечовинних гербіцидів (типу Гранстар) або імідазолінонів (типу Євро-Лайтнінг). Соняшник, подібно до сої, належить до широколистих рослин і має спільні хвороби (наприклад, біла гниль або склеротиніоз). У зв'язку з цим урожайність сої після соняшнику може суттєво

знижуватися. Крім того, проростання насіння соняшнику, особливо стійкого до гербіцидів, створює додаткові труднощі при вирощуванні сої.

Соя – культура, яка потребує достатнього зволоження, тому поле для її вирощування повинно мати необхідний запас вологи або бути обладнане іригаційною системою. Хорошими попередниками для сої є зернові, кукурудза на силос або багаторічні трави. Негативними попередниками для кукурудзи, особливо в регіонах з недостатнім рівнем опадів, є соняшник, цукровий буряк та інші культури, що інтенсивно висушують ґрунт. Також на розвиток сої може несприятливо вплинути сусіднє поле з іншими бобовими культурами через спільних шкідників. Повторне вирощування сої на тому ж полі рекомендується не раніше ніж через 2-3 роки. Соя, як і більшість бобових, є цінним попередником для будь-яких не бобових культур.

У регіонах з достатнім зволоженням і на зрошуваних землях широко застосовуються сівозміни з чергуванням кукурудзи та сої.

Після збирання сої поле залишається відносно чистим від рослинних решток, що дозволяє здійснювати прямий посів озимої пшениці з позитивним ефектом. У випадку прямого посіву пшениці може бути доцільним проведення глибокого розпушування ґрунту (щільювання) перед сівбою.

Озима пшениця, кукурудза та інші злакові культури є одними з найкращих попередників для сої. Їх використання сприяє значному зниженню витрат на засоби захисту рослин і підвищенню врожайності сої.

Знищення бур'янів є першочерговим завданням при підготовці ґрунту для сої. Тому механічна обробка є обов'язковою.

Після збирання зернових культур необхідно своєчасно провести лущення ґрунту дисковими лушчильниками на глибину 6-8 см. На ділянках, де поширений осот, рекомендується повторне лущення полицевими лушчильниками на глибину 12-14 см. У випадку забур'янення пирієм ефективним буде подвійне дискування на глибину 10-12 см. На сильно засмічених полях за 2-3 тижні до оранки доцільно обробити їх гербіцидами суцільної дії.

Недостатня аерація ґрунту, що характеризується щільністю понад 1,27 г/см<sup>3</sup>, негативно впливає на розвиток кореневої системи сої та зменшує кількість бульбочкових бактерій. Оптимальна щільність ґрунту становить 1-1,2 г/см<sup>3</sup>.

Зяблеву оранку під посів сої проводять на глибину 28-30 см. Найкращий час для цього агрозаходу – кінець літа – початок осені (серпень-вересень).

Інтервал між весняною обробкою ґрунту та посівом сої має становити 30-40 днів. Ця часова пауза дає змогу якісно підготувати ґрунт і знищити бур'яни агротехнічними методами.

Для збереження вологи в ґрунті проводять боронування важкими боронами.

Культивацію здійснюють після появи перших проростків бур'янів ("біла ниточка"). За необхідності цей агро прийом повторюють для знищення наступної хвилі бур'янів.

Важливою умовою перед посівом є вирівнювання поверхні поля. Це значно полегшить збирання врожаю, оскільки на нерівному полі частина бобів, розташованих у нижній частині стебла, може залишитися незібраною.

## **2.4 Порівняння агрегатів**

Щоб техніка в полі працювала добре, треба правильно підбирати, які машини чіпляти до трактора і з якою швидкістю їхати. Це ціла наука! Треба дивитися, що саме ми хочемо зробити в полі.

Коли ми збираємо такий "потяг" з трактора та інших машин, треба думати про кілька важливих речей:

Щоб робота була зроблена якісно, так як треба по технології.

Щоб ми зробили якомога більше роботи, витративши при цьому якомога менше грошей на паливо, запчастини, зарплату і все інше.

Щоб ми не шкодили природі.

Щоб людям, які працюють на цій техніці, було зручно і безпечно працювати довго і продуктивно.

Щоб все це вийшло, треба добре продумати, як з'єднати машини з трактором ще на етапі їхнього проектування. А потім, вже в полі, треба правильно їх використовувати.

Основна задача – це підібрати, скільки машин чіпляти до трактора і з якою швидкістю їхати. Це робиться в два етапи.

Спочатку ми дивимося, яке в нас поле (довге чи коротке), яке воно велике, і який опір чинять машини, коли працюють в землі. Потім ми вибираємо такий трактор і такі машини, щоб ми могли заощаджувати ресурси, не псувати природу і робити багато роботи.

Щоб наш агрегат працював добре, треба, щоб і трактор, і машини були хороші. Треба правильно їх підібрати, правильно з'єднати і вибрати таку швидкість і навантаження на трактор, щоб все працювало як годинник.

Є два способи визначити, скільки машин чіпляти до трактора:

На досвіді: Ми беремо інструкції до машин, слухаємо поради досвідчених механізаторів і пробуємо різні варіанти в полі. Потім дивимося, з якою швидкістю їдемо, як використовується потужність трактора, скільки роботи робимо і скільки палива витрачаємо. Якщо щось не так, ми змінюємо кількість машин.

По розрахунку: Ми рахуємо, який опір чинить кожен робочий орган машини (наприклад, кожен плуг). У полі ми часто використовуємо таке поняття, як "тяговий еталон" – це опір якоїсь однієї стандартної частини машини (наприклад, один корпус плуга). Знаючи опір кожного "еталону", ми можемо розрахувати, скільки їх можна причепити до трактора, щоб він працював з оптимальним навантаженням. Наприклад, для плуга це опір одного лемеша, для борони – однієї секції, і так далі для інших машин. Це допомагає точніше визначити, скільки машин можна причепити до трактора, щоб він використовував свою силу максимально ефективно.

Обґрунтуємо оптимальний склад агрегату та його швидкісного режиму для виконання технологічної операції

## 2.5 Розрахуємо вибір робочої машини та трактора

Відповідно до призначення технологічної операції, агротехнічних вимог до її виконання, технологічних умов роботи та результатів багатокритеріального аналізу обрав марку робочої машини та трактора який її агрегатує.

Таблиця 2.1: Технічні характеристики та енергетичні параметри робочої машини

Назва і марка	Маса $M_m$ , кН	Конструкційна ширина захвату $b_m$ , м	Потужність на привід робочих органів від ВВП $N_{ВВП}$ , кВт	Інтервал агротехнічно-допустимих швидкостей $V_{lim}$ , км/год	Питомий тяговий опір $k_o$ , кН/м (для комбінованих $k_{o1}, k_{o2} \dots$ )
1	2	3	4	5	6
КНК-6	2600	6	-	8-12	-
КПСП-4	7	4	-	8-12	-

Таблиця 2.2: Основні технічні параметри трактора

Марка	Маса $M_{тр}$ , кг	Номінальна потужність, $N_{ен}$ , кВт	Передача	Робоча швидкість $V_p$ , км/год	Тягове зусилля $P_{тн}$ , кН
1	2	3	4	5	6
Т-150К	8200	128,7	2	9,30	35,80
МТЗ-892	3350	58,9	2	3,40	21,10

Вибір енергетичних параметрів робочих машин та режимних параметрів трактора

Вибір оптимальних параметрів роботи машин в полі

Спочатку потрібно визначити допустимий діапазон швидкостей ( $V_{lim}$ , км/год), при яких забезпечується хороша якість виконання операції. Дивимось таблицю D.4 та записуємо ці межі в таблицю 2.1.

Далі — обираємо питомий тяговий опір ( $k_o$ , кН/м) для робочих органів сільськогосподарських машин. Для орієнтиру беремо швидкість  $V_{lim} = 5$  км/год, знаходимо відповідні дані та заносимо їх у таблицю 2.1.

Після цього звертаємося до таблиці D.7 і, враховуючи тягову характеристику трактора ( $N_T = N_{Tmax}$ ) та умови агрофону, вибираємо параметри тяги для передач, швидкість яких входить у допустимий інтервал. Записуємо ці дані в таблицю 2.3.

Отже, після всіх розрахунків можна буде остаточно визначити параметри роботи агрегату в полі.

Таблиця 2.3: Тягові параметри трактора МТЗ-892

	2	3	4	5	6	7	8
$V_r$ , км/год	3,40	6,20	8,00	9,30	11,20	12,40	19,00
$P_{тн}$ , кН	21,10	17,90	15,00	13,10	11,00	9,70	7,75
$N_{T max}$ , кВт	29,80	30,80	33,30	33,80	34,00	33,40	32,20

Вибір оптимальної передачі для ефективної роботи трактора

Щоб раціонально використовувати енергію трактора під час роботи, потрібно визначити найкращу передачу, яка забезпечує найбільшу потужність ( $N_{T max}$ ). Важливими параметрами тут є робоча швидкість ( $V_r$ ) та номінальне тягове зусилля ( $P_{тн}$ ). Їх потрібно внести у таблицю 2.2, щоб провести подальші розрахунки.

Визначаємо питомий тяговий опір робочих органів

Якщо робоча швидкість ( $V_r$ ) перевищує оптимальну ( $V_o$ ), доведеться уточнити тяговий опір робочих органів машин. Тут важливий темп приросту опору ( $\Delta C_m$ ) – це показник, що визначає, як змінюється тяговий опір при збільшенні швидкості на кожен 1 км/год (табл. D.8). Якщо працюємо з комбінованими агрегатами, то потрібно розрахувати опір для всіх типів робочих органів.

$$K_v = 4.5 * \left[ 1 + \frac{3}{100} (8 - 5) \right] = 4.91$$

Визначення найбільшої можливої ширини захвату є важливим кроком для обґрунтування оптимального складу агрегату з однотипними робочими органами, оскільки це впливає на ефективність його функціонування.

$$B_{max} = \frac{(P_{TH} + G_{TP} * \sin a) * \eta_{PH}}{k_v + q_m * \sin a} \quad (1)$$

$$B_{max} = \frac{(21,1 + 33,5 * 0,014) * 0,93}{4,91 + (1,5 * 0,014)} = 4,08$$

Ось перелік параметрів, необхідних для розрахунку ширини захвату агрегату з причіпними машинами:

- $G_{TP}$  – маса трактора, що вимірюється в кілограмах (кг).
- $g$  – прискорення вільного падіння, яке становить приблизно 9,8 метрів на секунду в квадраті ( $m/c^2$ ).
- $\eta_{PH}$  – оптимальне значення коефіцієнта використання номінальної сили тяги для конкретної технологічної операції.
- $q_{зч}$  – відношення ваги зчіпки до її ширини захвату, виражене в кілоньютонах на метр (кН/м).
- $f_{зч}$  – коефіцієнт опору коченню опорних коліс зчіпки.
- $q_m$  – відношення ваги сільськогосподарської машини до її конструкційної ширини захвату, виражене в кілоньютонах на метр (кН/м).

$$q_m = \frac{6,37}{4,0} = 1,59 \quad (2)$$

$G_m$  – маса с.-г. машини, кН:

$$G_m = 10^{-3} * 650 * 9,8 = 6,37$$

Визначаємо кількість машин у складі агрегату

Щоб визначити оптимальну кількість сільськогосподарських машин, які мають входити до складу агрегату, потрібно врахувати його технічні та експлуатаційні параметри. Розрахунок має показати, скільки машин буде найбільш ефективним для виконання технологічної операції, щоб досягти максимальної продуктивності та раціонального використання ресурсів.

$$n_m = \frac{4}{4} = 1 \quad (3)$$

Визначаємо тяговий опір робочих органів агрегату

Розрахував тяговий опір робочих органів агрегату, якщо він працює з начіпними машинами. Для цього треба взяти до уваги технічні характеристики обладнання та умови експлуатації, щоб отримати точні показники і забезпечити ефективну роботу.

$$R_a = 4,91 * 4 + 6,37(1,1 * 7,00 + 0,017) = 19,76 \quad (4)$$

Ось основні параметри, які використовуються для розрахунку тягового опору агрегату:

- $f_m$  – коефіцієнт опору коченню опорних коліс сільськогосподарської машини. Цей коефіцієнт враховує втрати енергії на деформацію ґрунту та елементів кочення.
- $f_{tr}$  – коефіцієнт опору руху рушіїв трактора. Він характеризує опір, що виникає при русі трактора через взаємодію його рушіїв (коліс або гусениць) з поверхнею поля.
- $\lambda_d$  – коефіцієнт довантаження. Цей коефіцієнт враховує додаткове навантаження на ходову систему трактора, яке виникає від ваги начіпної машини та вертикальних складових сили тягового опору. Зазвичай його значення коливається в межах від 1,1 до 1,2. Більші значення  $\lambda_d$  застосовуються при роботі на важких ґрунтах, де опір обробітку є вищим і, відповідно, зростає вертикальна складова тягового опору.

Для оцінки обґрунтованості обраного швидкісного режиму роботи агрегату необхідно проаналізувати ступінь використання його номінального тягового зусилля. З цією метою визначається відповідний коефіцієнт, що дає змогу оцінити ефективність функціонування агрегату в конкретних умовах.

На підйом :

$$\eta_p = \frac{19,76}{21,1 - 33,5 * 0,017} = 0,96 \quad (5)$$

На спуск:

$$\eta_p = \frac{19,76}{21,1+33,5*0,017} = 0,91 \quad (6)$$

розрахунки підтверджують, що при нахилі поля 1°, швидкісний режим на 2-й передачі є оптимальним—трактор працює ефективно в допустимому діапазоні (0.82–0.96).

Фактична потужність двигуна в процесі виконання технологічної операції  
Аналіз витрат фактичної потужності двигуна трактора в конкретних умовах виконання технологічної операції, а також під час маневрування на поворотах та розворотах.

Розрахунок фактичної потужності двигуна

Для того щоб оцінити, яку потужність двигуна можна реально використати при роботі трактора, потрібно провести розрахунок його ефективної потужності. Цей показник визначає, скільки енергії рушії трактора зможуть застосувати в процесі виконання технологічної операції – зокрема, під час поверхневого обробітку ґрунту.

$$N_{\phi} = \frac{22,19*6,2}{3,6*0,9*0,95} = 44,69 \quad (7)$$

Розрахунок залежності потужності двигуна від тягового опору агрегату

Для проведення розрахунку використовуємо попередньо визначений опір агрегату ( $Ra$ ) у умовах «підйому» під час виконання технологічної операції.

$\eta_b$  – коефіцієнт, що характеризує втрати швидкості при буксуванні агрегату.

$$\eta_b = \left(1 - \frac{\delta}{100}\right), \quad (8)$$

Оцінюємо ступень використання ефективної потужності двигуна

Розрахунок ступеня використання ефективної потужності двигуна проводимо за формулою:

$$\xi_N = \frac{44,69}{58,9} = 0,75 \quad (9)$$

Економічний режим роботи двигуна трактора

Ефективне використання номінальної потужності двигуна під час виконання технологічної операції досягається, коли її рівень складає не менше 70–80%.

Обґрунтуємо параметри робочої зміни агрегату

Щоб оптимізувати роботу агрегату, необхідно визначити ключові складові робочого часу протягом зміни. ак, саме тому аналіз використання номінального тягового зусилля є важливим. Він допомагає оптимізувати продуктивність агрегату, скоротити до мінімуму непродуктивні затрати часу та в результаті підвищити загальну ефективність виконання технологічних операцій.

Розрахунок часу робочої зміни агрегату враховує такі складові:

$$T_{зм} = T_p + T_x + T_T + T_{оп} \quad (10)$$

- $T_{зм}$  – нормативна тривалість зміни в годинах. Для більшості сільськогосподарських робіт вона становить 7 годин, а при роботі з отрутохімікатами – 6 годин.

- $T_p$  – час чистої роботи агрегату протягом зміни в годинах.

- $T_x$  – час, витрачений на непродуктивні переміщення, такі як повороти, заїзди та холості переїзди, у годинах.

- $T_T$  – тривалість технологічного обслуговування агрегату, включаючи контроль якості роботи та перевірку налаштувань, у годинах. Зазвичай цей час становить від 4% до 5% від нормативного часу зміни ( $T_T = (0,04 \dots 0,05) T_{зм}$ ).

$$T_T = 0,05 * 7 = 0,35$$

$T_{оп}$  – час, відведений на регламентовані перерви для відпочинку та особистих потреб, у годинах. Він становить 7% від нормативного часу зміни ( $T_{оп} = 0,07 \cdot T_{зм}$ ).

$$T_{оп} = 0,10 * 7 = 0,7$$

Час руху та зупинок:

- Час руху для виконання роботи ( $T_{рух}$ ): сума  $T_p + T_x$ .

$$T_{рух} = 7 - 1,05 = 5,95$$

Ефективність виконання технологічної операції напряду залежить від балансу між часом чистої роботи ( $T_p$ ) та часом, витраченим на холості повороти ( $T_x$ ). Їхнє співвідношення є ключовим фактором, що визначає загальну продуктивність агрегату та оптимізується шляхом вибору відповідного способу руху та типу поворотів.

Для комплексної оцінки ефективності проводиться аналіз часу зміни, в якому розраховуються основні його складові з використанням коефіцієнта використання часу руху ( $\tau_{рух}$ ). Цей коефіцієнт дає змогу кількісно оцінити, наскільки раціонально агрегат використовує свій робочий час для безпосереднього виконання технологічної операції.

Час регламентованих зупинок визначається згідно з чинними нормативними документами, які встановлюють умови експлуатації агрегату.

$$\tau_{рух} = \frac{T_p}{T_{рух}} = \frac{T_p}{T_{зм} - T_{зуп}} = \frac{T_p}{T_p + T_x} \quad (11)$$

$$\tau_{рух} = \frac{5}{5,95} = 0,84$$

Нормативний час зміни ( $T_{зм}$ ) = 7 год Чистий час роботи ( $T_p$ ) = 5 год Час на повороти і холості переїзди ( $T_x$ ) = 0.95 год Час регламентованих зупинок ( $T_{зуп}$ ) = 1.05 год Коефіцієнт використання часу руху ( $\tau_{рух}$ ) = 84%

Оскільки коефіцієнт ( $\tau_{рух}$ ) > 80%, це свідчить про ефективне використання часу руху без значних непродуктивних витрат!

Оцінка ефективного використання часу робочої зміни

Щоб зрозуміти, наскільки ефективно використовується робочий час зміни, потрібно провести аналіз. Для цього визначається спеціальний коефіцієнт, який показує, яка частина зміни реально витрачається на виконання корисної роботи.

Нормативний час зміни ( $T_{зм}$ ) = 7 год Чистий час роботи ( $T_p$ ) = 5 год Час на повороти і холості переїзди ( $T_x$ ) = 0.95 год Час регламентованих зупинок ( $T_{зуп}$ ) = 1.05 год Коефіцієнт використання часу руху ( $\tau_{рух}$ ) = 84%

Оскільки коефіцієнт ( $\tau_{рух}$ ) > 80%, це свідчить про ефективне використання часу руху без значних непродуктивних витрат!

Визначення обсягу виконаної роботи агрегатом

Щоб розрахувати загальний обсяг виконаної роботи, потрібно оцінити площу, яку агрегат обробляє за певний проміжок часу.

$$W_{зм} = 1,097 * 7 = 7,68 \text{ га}$$

Експлуатаційні витрати на роботу агрегатів

Визначення витрат пального на одиницю обсягу роботи

Щоб оцінити паливні витрати при виконанні технологічної операції, ми провели розрахунок кількості пального на одиницю оброблюваної площі (кг/га).

Враховуються:

- Фактичні витрати пального ( $G$ ) за зміну.
- Загальна площа обробленої території ( $S$ , га).

Розрахунок дає змогу оцінити економічність роботи агрегату та визначити можливі шляхи зменшення паливних витрат.

$$q_{га} = \frac{G_{тр}T_p + G_{тх}T_x + G_{тз}T_{зуп}}{T_{зм}W_{г}}, \quad (12)$$

$$q_{га} = \frac{(12 * 5) + (8 * 0,95) + (4 * 1,05)}{7 * 1,097} = 9,35$$

Прямі затрати праці на одиницю обсягу роботи

$$z_{п} = \frac{1}{1,097} = 0,91 \approx 1$$

Обсяг роботи за годину змінного часу = 1.097 га/год

Обсяг роботи за зміну = 7.68 га Витрати пального на 1 га роботи = 9.35 кг/га Прямі затрати праці = 1 люд·год/га

## 2.6 Розраховуємо найвигідніший агрегат

Амортизаційні відрахування

Формула:

$$A = \frac{(Ц_{н} - Ц_{к})}{T_{в.тз} * T_{з.тз}} \quad (13)$$

Розрахунок для МТЗ-892 – КПС-4:

$$A_{\text{МТЗ}} = \frac{(3373500 - 20000)}{10 * 1200} = 279,5 \text{ грн/год}$$

$$A_{\text{КПС-4}} = \frac{(622800 - 6000)}{8 * 800} = 96,4 \text{ грн/год}$$

$$A_{\text{агр}} = 279,5 + 96,4 = 375,9 \text{ грн/год}$$

Розрахунок для Т-150К – КНК-6:

$$A_{\text{Т-150К}} = \frac{(6228000 - 41000)}{10 * 12000} = 515,6 \text{ грн/год}$$

$$A_{\text{КНК-6}} = \frac{(1635000 - 11000)}{8 * 800} = 253,1 \text{ грн/год}$$

$$A_{\text{агр}} = 515,6 + 253,1 = 768,7$$

Витрати на погашення кредиту

Формула:

$$K_p = \frac{(Ц_{н} - Ц_{к})}{2 * T_{в.тз} * T_{з.тз}} \quad (14)$$

Розрахунок для МТЗ-892 – КПС-4:

$$K_{\text{МТЗ}} = \frac{(3373500 - 20000) * 0,30}{2 * 10 * 1200} = 41,9 \text{ грн/год}$$

$$K_{\text{КПС-4}} = \frac{(622800 - 6000) * 0,30}{2 * 8 * 800} = 14,4 \text{ грн/год}$$

$$K_{\text{агр}} = 41,9 + 14,4 = 56,3$$

Розрахунок для Т-150К – КНК-6:

$$K_{T-150K} = \frac{(6228000 - 41000) * 0,30}{2 * 10 * 1200} = 77,2 \text{ грн/год}$$

$$K_{KHK-6} = \frac{(1635000 - 11000) * 0,30}{2 * 8 * 8000} = 37,9 \text{ грн/год}$$

$$K_{agr} = 77,2 + 37,9 = 115,1 \text{ грн/год}$$

Витрати на паливно-мастильні матеріали

$$V_{п} = (1,1 \dots 1,15) * c_{п} * q_{га} * \gamma_{п} * W_{г} \quad (15)$$

Розрахунок для МТЗ-892 – КПС-4:

$$V_{пМТЗ} = 1,12 * 52,89 * 7,51 * 1,2 * 1,8 = 961,4 \text{ грн/год}$$

Розрахунок для Т-150К – КНК–6:

$$V_{пТ-150K} = 1,12 * 52,89 * 11,80 * 1,2 * 2,5 = 2101,2 \text{ грн/год}$$

Собівартість години роботи агрегату

Формула:

$$C_{в} = A + K_{р} + V_{п} \quad (16)$$

Розрахунок для МТЗ-892 – КПС-4:

$$C_{вМТЗ-кпс-4} = 375,9 + 56,3 + 961,4 = 1393,6 \text{ грн/год}$$

Розрахунок для Т-150К – КНК–6:

$$C_{вТ-150K-кнк-6} = 768,7 + 115,1 + 2101,2 = 2985 \text{ грн/год}$$

МТЗ-892 – КПС-4 має нижчу собівартість у порівнянні з Т-150К – КНК–6.

Т-150К – КНК–6 має вищу продуктивність, але значно більші витрати. Метод найменшої відстані до цілі показує, що МТЗ-892 – КПС-4 є економічно вигіднішим варіантом.

## **3 КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА**

### **3.1 Конструктивні модифікації базового культиватора для передпосівної обробки**

Культиватор КПСП-4 у своїй стандартній комплектації є знаряддям для суцільної передпосівної обробки ґрунту, а також для парового обробітку з одночасним боронуванням. Він може ефективно працювати на різних типах ґрунтів в усіх агрокліматичних зонах України, крім гірської місцевості. Застосування цього культиватора забезпечує розпушення ґрунту на глибину 5-12 см з якісним знищенням бур'янів на вже підготовлених полях. Існують можливості для удосконалення цієї базової моделі.

Основними складовими конструкції культиватора є: його просторова зварна рама; пара пневматичних коліс з гвинтовим механізмом, що визначає глибину проникнення в ґрунт тринадцяти робочих гряділів (коротких і довгих, зі штангами); набір стрілчастих лап, які є безпосередніми ґрунтообробними елементами; вузол для навішування зубових борін; і гідравлічна система, що відповідає за підйом робочих органів під час транспортування.

В рамках даного дослідження запропоновано удосконалити культиватор шляхом інтеграції двох рядів плоскорізних лап і двох рядів дискових котків-борін. Це технічне рішення забезпечує одночасне виконання кількох технологічних операцій за один прохід сільськогосподарського агрегату, включаючи розпушування ґрунту, подрібнення грудок, його ущільнення та вирівнювання поверхні. Модернізація є економічно доцільною та може бути впроваджена в багатьох сільськогосподарських підприємствах завдяки своїй відносній дешевизні. В результаті обробки ґрунту таким удосконаленим культиватором формується оптимальний дрібногрудкуватий стан поверхневого шару на заданій глибині за один прохід, що дозволяє оптимізувати час підготовки ґрунту до посіву, уникнути пересихання верхнього шару та знизити споживання паливно-мастильних матеріалів.

Пропонується оптимізувати передпосівний обробіток ґрунту шляхом модернізації культиватора КПСП-4 шляхом встановлення двох рядів дискових котків-борін. Таке технічне рішення забезпечить одночасне виконання кількох важливих операцій: подрібнення великих фракцій ґрунту, його розпушування, вирівнювання поверхні та ущільнення верхнього шару, що дозволить зменшити потребу в багаторазовому проходженні трактора полем.

Удосконалений культиватор у стандартній конфігурації оснащується плоскорізними лапами, що вирізняються надійністю та забезпечують оптимальну підготовку ґрунту під посів по всій ширині обробки. Значною перевагою є стійкість робочих органів до забивання ґрунтом, бур'янами та рослинними залишками під час роботи. Завдяки інтеграції дискових котків-борін (рис. 2.2), агрегат за один прохід ефективно подрібнює ґрунт, формуючи дрібногрудкувату структуру поверхні, а також вирівнює її, що є важливим для якісного посіву.

Метою даного розділу є визначення оптимальних параметрів робочих органів модернізованого культиватора КПСП-4. Цей агрегат, удосконалення якого спрямоване на підвищення якості передпосівного обробітку ґрунту, забезпечує суцільну обробку і може експлуатуватися в різних агротехнічних умовах. Початковим етапом розрахунків є визначення ширини його захвату.

Для визначення ширини захвату культиватора необхідно врахувати ряд параметрів, зокрема [4, 9]: коефіцієнт споживання тягової сили трактора, який становить  $\eta=0,8$ ; тягову силу трактора  $P_T$ , що для тракторів класу 1,4 при швидкості руху 10 км/год складає 1150 кг (згідно з вихідними даними); та питомий опір ґрунту  $q$ , який для умов, що розглядаються в роботі, приймається рівним 220 кг/м на кожен метр ширини захвату знаряддя.

$$B = 0,8 \cdot \frac{1150}{220} = 4,18 \text{ м.} \quad (1)$$

Враховуючи зручність транспортування, конструктивно встановлюємо ширину захвату культиватора на рівні  $B=4$  м. Основними елементами, що виконують розпушування ґрунту, є стрілчасті лапи, розміщені у два ряди. Для

забезпечення якісного обробітку, зокрема оптимального перекриття між слідами лап, необхідно розрахувати оптимальну відстань між цими рядами.

$$L = \frac{b_{\text{л}}}{\text{tg} [90^\circ - (\gamma + \varphi_1)]}, \quad (2)$$

Ефективність роботи стрілочастих лап культиватора та якість обробітку значною мірою визначаються кутом розхилу їхнього леза ( $\gamma$ ). Обґрунтувати оптимальне значення цього кута можна, проаналізувавши схему взаємодії лапи з кореневою системою бур'янів.

На величину опору, який чинить ґрунт при підрізанні коренів, впливають такі параметри:

- $\gamma$  – половина кута розхилу леза лапи.
- $\varphi_1$  – кут тертя ґрунту об лезо лапи, який у даному випадку становить  $25^\circ$ .
- $b_{\text{л}}$  – ширина лапи.

Крайня позиція рівнодійної сили опору ґрунту ( $R$ ) характеризується особливим взаємозв'язком між згаданими кутовими параметрами, що необхідно враховувати для забезпечення якісного підрізання бур'янів та мінімізації енергетичних витрат.

$$\beta = \varphi - \varphi_2, \quad \text{тоді} \quad \gamma = 90^\circ - (2\varphi - \varphi_2),$$

де  $\varphi_2$  являє собою кут, що характеризує внутрішнє тертя ґрунту, тобто опір зсуву одних шарів ґрунту відносно інших. У наших розрахунках приймемо значення

$$\varphi_2 = 30^\circ$$

Щоб культиватор ефективно підрізав корені бур'янів, його лапи повинні здійснювати різання з ковзанням. Це досягається за умови виконання наступного співвідношення:

$$\gamma \leq 90^\circ - (2\varphi - 30^\circ).$$

Кут тертя бур'янів об лезо лапи ( $\varphi$ ) становить  $45^\circ$  згідно з [6, 9]. З цього випливає, що

$$\gamma \leq 90^\circ - (2 \cdot 45^\circ - 30^\circ) = 30^\circ \text{ або } 2\gamma = 60^\circ.$$

Зменшення кута  $2\gamma$  (кута між лезами сусідніх лап) призводить до необхідності збільшення кількості стійок з лапами для забезпечення суцільного перекриття оброблюваної площі.

З метою оптимізації конструкції культиватора, зокрема для зменшення числа стійок та опору стрілочастих лап (які в оновленій версії працюватимуть спільно з дисковими котками-боронами), прийнято наступні параметри, враховуючи рекомендації з літературних джерел [6, 9]:

- Для переднього ряду встановлюються стрілочасті лапи завширшки 270 мм на коротких гряділях.
- Для заднього ряду використовуються стрілочасті лапи завширшки 330 мм на довгих гряділях.

Наступним кроком є визначення оптимальної відстані між цими рядами за допомогою відповідної формули.

$$L = \frac{320}{\operatorname{tg} [90^\circ - (30^\circ + 25^\circ)] \cdot 471} = 684 \text{ мм.}$$

Виходячи з конструктивних міркувань, приймаємо відстань між переднім та заднім рядами лап культиватора рівною  $L=700$  мм.

Наступним важливим етапом є розрахунок необхідної величини перекриття між сусідніми лапами в кожному ряду, а також між переднім та заднім рядами. Це перекриття є критично важливим для забезпечення якісного та суцільного обробітку ґрунту без необроблених ділянок.

$$C = 0,7 \operatorname{tg} 8^\circ \approx 0,068 \text{ м,}$$

де  $\delta$  – кут, на який випадково може відхилитися культиватор під час роботи від прямої лінії, прийmemo,  $\delta = 8^\circ$

приймемо  $C = 70$  мм

Уточнимо мінімальну ширину захвату культиваторних лап для суцільного обробітку ґрунту знаряддям з дворядним розміщенням, згідно зі схемою.

$$B_{\min} = 3C = 3 \cdot 70 = 210 \text{ мм.} \quad (4)$$

Кількість робочих органів, необхідних для ефективної роботи знаряддя, буде визначено згідно з існуючими рекомендаціями.

$$n = \frac{4000 - 70}{330 - 70} = 15$$

З огляду на те, що передній ряд лап культиватора зазнає більшого навантаження під час роботи, прийнято наступну конфігурацію:

- Перший ряд: 8 стрілчастих лап з шириною захвату кожної  $B=270$  мм.
- Другий ряд: 8 стрілчастих лап з шириною захвату кожної  $B=330$  мм.

Таке компонування дозволить більш ефективно розподілити навантаження та забезпечити якісний обробіток ґрунту за заданої ширини захвату агрегату. Тепер необхідно розрахувати фактичну ширину захвату кожного ряду та перекриття між лапами.

Розпочинаємо проектування механізму підйому для модернізованого культиватора КПСП-4У, призначеного для передпосівної підготовки ґрунту. Цей причіпний агрегат включає в себе раму, стрілчасті лапи та додаткові робочі органи – котки-борони із зубчастими дисками.

Згідно з наведеною схемою підйомного механізму, наступним етапом нашої роботи буде визначення реакцій, що виникають на серзі причіпу та опорних колесах культиватора під час його роботи та підйому/опускання робочих органів. Ці розрахунки необхідні для забезпечення міцності та надійності конструкції підйомного механізму та всього агрегату в цілому.

При аналізі сил, що діють на культиватор, враховуються: його вага ( $G$ ), вага ґрунту, що тимчасово утримується на лапах та інших робочих органах ( $Q$ ), і сила опору ґрунту, яку необхідно подолати для його обробки ( $Q_1$ ). Результуюча цих трьох сил є

$$F = G + Q + Q_1. \quad (5)$$

Складова рівнодійної сили, зумовлена вагою ґрунту на робочих органах, залежить від глибини (а) та ширини захвату лапи (bЛ). Приймаємо а=16 см, bЛ=300 мм.

$$Q = a \cdot b_{\text{Л}}^2 \cdot \text{ctg } \alpha \gamma \cdot q \cdot \frac{n}{2}, \quad (6)$$

Відповідно, рівнодійна сил на культиватор визначається новою залежністю.

$$F = 785 + 2 \cdot \left( 0,16 \cdot 0,30^2 \cdot 1,38 \cdot 2200 \cdot \frac{16}{2} \right) = 855,5 \text{ кг} = 8555 \text{ Н}.$$

З відомим значенням рівнодійної сили F розрахуємо реакції на причіпі та колесах культиватора.

$$P_k = F \cdot (l_1 + l_2) / l_1 \quad (7)$$

$$P_c = F \cdot l_2 / l_1 \quad (8)$$

У формулі 7 і 8 – це плечі сил, які визначаються за кресленням. Після їх знаходження будуть розраховані реакції

$$P_k = 8555 \cdot (2650 + 522) / 2650 = 10240 \text{ Н}$$

$$P_c = 8555 \cdot 522 / 2650 = 1685 \text{ Н}$$

Зусилля переведення культиватора в транспортне положення діє вздовж штока гідроциліндра і залежить від ваги коліс (GК) та коефіцієнта опору (f)

$$F_{\text{ш}} = [(10240 - 1400) \cdot 0,85 - 10240 \cdot 0,15 \cdot 0,26] / 0,45 = 15810 \text{ Н}$$

Оскільки необхідне зусилля для підйому культиватора становить Fш, для забезпечення цієї функції було обрано гідроциліндр марки Ц-7, що має тягове зусилля 37000 Н.

Визначимо стійкість удосконаленого культиватора КПСП-4 в роботі буде визначено за допомогою розрахункової схеми, дані для якої базуються на технічних характеристиках та розміщенні робочих органів (обґрунтованому раніше). Побудова схеми передбачає визначення горизонтальної відстані L від

передніх лап до точки з'єднання з трактором та вертикальної відстані Н від лез лап до точки причепа. Ці параметри разом із рівнодійною силою опору Р впливають на глибину занурення та стійкість культиватора.

Величини L та Н визначаються з умови позитивного моменту відносно точки причепа при мінімальному куті  $\psi$  сили Р до горизонту

$$M_{\min} = P \cdot l > 0. \quad (9)$$

Кут нахилу рівнодійної сили опору Р становить  $\psi=20^\circ$  для всіх лап. Відрізок  $h=0,2a$ , де  $a=120$  мм (глибина розпушування). Тоді

$$h = 0,2 \cdot 120 = 24 \text{ мм.}$$

Отже, для задоволення умови необхідно знайти оптимальне співвідношення між параметрами L та Н. Максимальне значення L зумовлене вимогами стійкості робочих органів у поздовжньо-вертикальній площині, тоді як мінімальне значення Н визначається необхідною прохідністю агрегату.

Довжина коліна, що забезпечує маневреність культиватора під час поворотів, визначається рядом конструктивних та технологічних параметрів [9], а саме: висотою підшипника (НП), максимальною глибиною обробітку ( $a_{\Gamma}$ ), розміром коліс (D) та кутом нахилу коліна відносно вертикалі в робочому положенні ( $\beta_1$ , не більше  $85^\circ$ )

$$L_0 = \frac{H + H_{\text{НП}} - (a_{\Gamma} + D / 2)}{\cos \cdot \beta_1}. \quad (10)$$

Конструкція підшипникового вузла передбачає, що його висота (НП) визначається розмірами елементів рами (m) та осі (d0),

$$H_{\text{НП}} = \frac{80 + 95}{2} + 20 = 107,5 \text{ мм,}$$

Метою наступного кроку є знаходження значення довжини коліна.

$$L_0 = \frac{980 - 107,5 - (120 + 840 / 2)}{\cos \cdot 85^\circ} = 785 \text{ мм.}$$

Розглянемо міцнісні розрахунки натискної пружини, стійки лап та зварного з'єднання котків-борін культиватора. Сила, що діє на робочі органи під час руху в ґрунті, залежить від кута  $\psi$  нахилу рівнодійної сили опору.

$$R = \frac{q \cdot b_{\text{л}}}{\cos \psi} \quad (11)$$

Враховуючи, що задній ряд культиваторних лап піддається більшому навантаженню внаслідок більшого плеча прикладання сили та, відповідно, більшого моменту, розрахунок натискної пружини буде проведено саме для цього ряду.

$$R = \frac{2200 \cdot 0,3}{\cos 18^\circ} = 687,5 \text{ Н.}$$

Таким чином, використовуючи умову статичної рівноваги моментів сил, що діють на робочі органи культиватора відносно точки їх підвісу, ми можемо визначити ту силу, яку повинна розвивати пружина для гарантування стійкого заглиблення лап під час виконання технологічного процесу.

$$F = \frac{R \cdot b}{a} = \frac{678,5 \cdot 800}{1435} = 383,3 \text{ Н.} \quad (12)$$

Отже, для розрахунку міцності стійки культиваторної лапи, відповідно до схеми навантаження, необхідно врахувати зусилля  $R_{zx}$ , що діє на робочий орган. Через нерівномірність розподілу цього зусилля, при визначенні напружень у поперечному перерізі стійки його значення слід подвоїти.

$$M_{\text{зг}} = \left( \frac{2200 \cdot 4}{16 \cdot \cos 10^\circ} \right) \cdot 2 \cdot 0,46 = 514 \text{ Нм.}$$

Підбираємо переріз стійки лапи зі сталі Ст. 5Гпс ( $[\sigma]=160$  МПа) та визначаємо осьовий момент інерції її поперечного перерізу.

$$W_0 = \frac{514 \cdot 10^3}{160} = 3,2 \cdot 10^3 \text{ мм}^3.$$

Таким чином, прийнявши ширину поперечного перерізу стійки рівною 3 см, ми можемо перейти до визначення її довжини, яка забезпечить необхідний момент інерції.

$$a = \frac{6W_0}{b^2} = \frac{6 \cdot 3,2 \cdot 10^3}{30^2} = 21,4 \text{ мм.}$$

Для надійного кріплення додаткових дискових котків-борін (зубчастих дисків на валах) до культиватора використовується система сталевих полос, приєднаних болтами до валів і зварюванням до траверс рами. Аналіз міцності зварного з'єднання полоси з траверсою дозволить визначити силу, що діє на одне таке з'єднання.

$$F_{зс} = F_T = 103,5 \text{ Н.}$$

Оцінка міцності зварного з'єднання буде проведена на основі критерію допустимих напружень, який формулюється у вигляді наступної умови:

$$\tau = \frac{F_{зс}}{A} < [\tau], \quad (13)$$

Для визначення оптимального розміру катета зварного шва ( $k$ ) керуватимемося практичним підходом, за яким його значення зазвичай порівнюється до товщини з'єднуваних деталей ( $\delta$ ). Отже,  $\delta =$

$$k = \delta = 8 \text{ мм.}$$

Таким чином, площа зварного шва, яка використовується для розрахунку напружень, становить:

$$A = 0,7 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 100 = 2240 \text{ мм}^2.$$

Також порахуємо напруження:

$$\tau = \frac{103,5}{2240} = 0,05 \text{ Н/мм}^2.$$

### **3.2 Визначення енергетичних показників удосконаленого культиватора**

Для ефективного використання удосконаленого культиватора КПСП-4 (для передпосівної обробки) з доданими дисковими котками-боронами необхідно правильно підібрати трактор. З цією метою визначимо загальний

тяговий опір культиватора, який складається з опору коліс по обробленому полю (RП), опору культиваторних лап (RЛ) та опору котків-борін (RB)

$$P_k = R_{П} + R_{Л} + R_{Б}. \quad (14)$$

Опір коченню коліс культиватора, який необхідно подолати для їх переміщення, визначається навантаженням на кожне колесо, геометричними розмірами колеса – шириною ободка (bk) та діаметром (D).

$$R_{П} = 0,86 \cdot \sqrt[3]{\frac{392,5^4}{2200 \cdot 0,18 \cdot 0,78^2}} = 2156 \text{ Н.}$$

Таким чином, для подальшого енергетичного розрахунку удосконаленого культиватора, величину опору котка-борони ми визначимо як приблизно третину від розрахованого значення опору культиваторних лап.

$$R_{Б} = 0,3 \cdot R_{Л} = 0,3 \cdot 8800 = 2640 \text{ Н.}$$

Загальний опір культиватора буде визначено як сума опорів його окремих робочих елементів та опорних коліс

$$P_k = 2156 + 8800 + 2640 = 13596 \text{ Н} = 13,6 \text{ кН.}$$

Отже, згідно з тяговою характеристикою тракторів [1], для забезпечення роботи удосконаленого культиватора КПСП-4 з котками-боронами при швидкості 10 км/год необхідна сила тяги 14 кН. На підставі цього рекомендується використовувати трактор МТЗ-80, який відповідає цим вимогам на всіх робочих швидкостях.

## 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

### 4.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Економічна частина роботи присвячена оцінці ефективності технології нарізування гребнів культиватором КПСП-4У. Для цього визначаються такі показники: оплата праці на 1 га, балансова вартість техніки, продуктивність агрегату (га/год), витрати пального (л/га), амортизаційні відрахування та витрати на ТО і ремонт (у відсотках), річне завантаження техніки (у годинах), кількість та категорія обслуговуючого персоналу. Усі вартісні розрахунки здійснено в цінах 2024 року.

Кількість робітників, що обслуговують агрегат, становить  $k=1$ . Оплата праці за змінну норму виробітку ( $\Pi$ ) визначається згідно з тарифним розрядом та групою тракторів (для 5 розряду – 90 грн. відповідно до тарифної сітки оплати праці в господарстві). Змінна продуктивність ( $W_{зм}$ ) складає 13,4 га. Оплата праці включає наступні складові:

$$\Pi = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 \quad (1)$$

Основна оплата праці ( $Z_1$ ) становить 90 грн. Додатково нараховується заробітна плата за класність ( $Z_2$ ) у розмірі 20% від основної оплати, що складає 18 грн. Також передбачена надбавка за якість ( $Z_3$ ) у розмірі 20% від основної оплати, що також дорівнює 18 грн. Надбавка за стаж ( $Z_4$ ) розраховується як 15% від суми основної оплати, надбавки за класність та надбавки за якість, що становить  $(90+18+18) \times 0,15 = 126 \times 0,15 = 18,9$  грн.

$$\Pi = 90 + 18 + 18 + 18,9 = 154,9 \text{ грн.}$$

$$C_1 = 154,9 / 13,4 = 11,56 \text{ грн. / га.}$$

Наступним етапом є визначення вартості нафтопродуктів, що припадають на один гектар обробленої площі, у гривнях.

$$C_2 = C * Q \quad (2)$$

де: Ц – узагальнена вартість одного кілограма пального, яка включає ціну мастильних матеріалів та пускового бензину, і дорівнює Ц=11 грн./кг. Q – норма витрати палива в кілограмах на один гектар обробленої площі, що становить Q=11,7 кг/га.

$$C_2 = 11 * 11,7 = 128,7 \text{ грн./га.}$$

$$C_3 = B_{\text{тр}} * a_{\text{тр}} / 100 * W_{\text{год}} * t_{\text{тр.ф}} + B_{\text{к}} * a_{\text{к}} / 100 * W_{\text{год}} * t_{\text{к.ф.}} \quad (3)$$

де:

B<sub>тр</sub> – балансова вартість трактора, що становить 65000 грн.

B<sub>к</sub> – балансова вартість культиватора, що становить 9560 грн.

a<sub>тр</sub> – норма амортизаційних відрахувань для трактора, яка дорівнює 16,5%.

a<sub>к</sub> – норма амортизаційних відрахувань для культиватора, яка дорівнює

14,2%. t<sub>тр.ф</sub> – фактичний річний наробіток трактора, що становить 1600 год.

t<sub>к.ф</sub> – фактичний річний наробіток культиватора, що становить 270 год.

W<sub>год</sub> – годинна продуктивність агрегату, яка розраховується як змінна продуктивність (13,4 га/зм) поділена на тривалість зміни (7 год), що дорівнює 1,92 га/год.

$$C_3 = 65000 * 16,5 / 100 * 1,92 * 1600 + 9560 * 14,2 / 100 * 1,92 * 270 = 6,1 \text{ грн./га.}$$

Оцінка економічної ефективності

З метою кількісної оцінки економічної доцільності запропонованої організації виконання технологічної операції, розробленої в дипломному проекті, застосовується наступна формула, що дозволяє отримати значення в гривнях:

$$E = (C_{\text{госп}} - C) * F \quad (4)$$

прямі експлуатаційні витрати на один гектар при існуючій організації робіт у господарстві (C<sub>госп</sub>) складають 42,33 грн. Загальна площа посадки сої (F) дорівнює 85 га. Використовуючи ці значення маємо

$$E = (197,26 - 149,66) * 60 = 2856 \text{ грн.}$$

Таким чином, економічна вигода від впровадження розробленої нами технології порівняно з тією, що використовується в господарстві, складає близько 3000 грн.

#### **4.2 Визначення річного економічного ефекту від впровадження модернізації**

Визначення річного економічного ефекту від впровадження модернізованого фрезерного культиватора є метою даного розділу. Враховуючи важливість своєчасного та якісного обробітку для врожайності сої, модернізація, що забезпечує кращі результати, може бути економічно вигідною. Очікується зростання врожайності на 5% з гектара. Сума приросту урожаю визначається за формулою:

$$C_3 = Y * A * 5 / 100, \text{ ц.} \quad (5)$$

де:  $C_3$  – приріст урожаю (ц).  $Y$  – урожайність сої (35 ц/га).  $A$  – площа (85 га). 5 – відсоток приросту урожаю.

$$C_3 = 35 * 85 * \frac{5}{100} = 148,75$$

Таким чином, для визначення часового інтервалу, протягом якого окупиться модернізація фрезерного культиватора, ми скористаємося наступною формулою розрахунку терміну окупності:

$$T_{ок} = 1633,3 / 67500 = 0,025 \text{ року}$$

Модернізація фрезерного культиватора окупиться за один сезон його використання для вирощування сої.

## ВИСНОВКИ

Результати проведених розрахунків переконливо свідчать про значну економічну доцільність та обґрунтованість впровадження трактора МТЗ-892 у виробничий процес господарства для виконання технологічної операції боронування. Порівняльний аналіз економічних показників використання трактора з наявними в машинно-тракторному парку підприємства агрегатами чітко демонструє його суттєву перевагу за ключовими критеріями, такими як рівень споживання паливно-мастильних матеріалів та загальні витрати на технічне обслуговування. Очікується, що оптимізація машинно-тракторного парку шляхом використання трактора призведе до відчутного зниження собівартості виконання одиниці роботи, що матиме прямий позитивний вплив на структуру витрат підприємства та його фінансову стійкість.

Крім того, впровадження більш ефективного агрегату, яким є трактор, сприятиме значному підвищенню продуктивності праці механізаторів, дозволяючи виконувати заплановані обсяги робіт у більш стислі терміни та з меншими трудовими затратами. Це, в свою чергу, призведе до оптимізації загальних виробничих процесів у рослинницькій галузі господарства та більш раціонального використання наявних трудових ресурсів.

Таким чином, на основі проведеного економічного аналізу можна з впевненістю стверджувати, що використання трактора МТЗ-892 є не лише економічно вигідним, але й стратегічно важливим рішенням для ФОП «Зеря Олександра Іванівна», спрямованим на підвищення загальної ефективності господарської діяльності, оптимізацію використання наявних ресурсів та забезпечення стабільного зростання рентабельності підприємства в довгостроковій перспективі.\*\*

У цьому розширеному варіанті висновок більш детально обґрунтовує економічну доцільність впровадження трактора, підкреслює його вплив на витрати, продуктивність праці, оптимізацію виробничих процесів та загальну рентабельність підприємства в довгостроковій перспективі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кобець А.С., Іщенко Т.Д., Волик Б.А., Демидов О.А. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2019. – 84 с.
2. Соя зберегла посівні площі в Україні в умовах війни і користується попитом на світових ринках//1 вересня 2022. - <https://ukragroconsult.com/news/soya-zberegla-posivni-ploshhi-v-ukrayini-v-umovah-vijny-i-korystuyetsya-popytom-na-svitovyh-rynках>.
3. Кобець А.С. Основи теорії робочих органів сільськогосподарських машин: Навчальний посібник/ Дніпропетровськ. держ. агр. ун-т. – Дніпропетровськ, 2020. – 204 с.
4. Машиновикористання в землеробстві /В.Ю.Ільченко, Ю.П.Нагірний, А.П. Джолос та ін.; За ред. В.Ю. Ільченка і Ю.П. Нагірного. – К.: Урожай, 2021. – 384 с.
5. Технологія вирощування сої під раундап в Україні на 2023
6. Мізін І.А., Омеляненко І.С. Кінематичний розрахунок приводу. Методичні вказівки по курсу деталей машин. - Полтава. 2020.
7. Сільськогосподарські машини: підручник Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, В.В. Іщенко та ін.; за ред.. Д.Г. Войтюка. – К.: «Агросвіт», 2020. – 679 с.
8. Вирощування сої як бізнес// 12/07/22. - [https://tetra-agro.com.ua/news/viroshhuvannya\\_soyi\\_yak\\_biznes](https://tetra-agro.com.ua/news/viroshhuvannya_soyi_yak_biznes).
9. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві// Затверджені наказом Міністерства соціальної політики України 29 серпня 2018 року № 1240, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 21 вересня 2020 р. за № 1090/32542.
10. Землеробська механіка. Т.2. Теоретичні основи сільськогосподарської механіки/ А.С. Кобець, А.Г. Дем'яненко, О.Ю. Береза, О.А. Гонь і ін.- Дніпро, «Свідлер А.Л.», 2022. – 712 с.

11. Вініченко І.І, Сітковська А.О. Методичні рекомендації з економічного обґрунтування дипломних робіт для студентів факультету механізації сільського господарства// Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2020. – 27 с.
12. Гряник Г.М., Лехман С.Д., Бутко Д.А. Охорона праці. – К.: Урожай, 2023. – 272 с., іл..
13. Довідник з опору матеріалів / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвієв В.В. Відп. Ред. Писаренко Г.С. – 2-е вид., перероб. і доп. К: Наукова думка, 2020–736 с.
14. Механізація вирощування сільськогосподарських культур в Україні/ А.С.Кобець, О.Д.Деркач, М.І.Ролдугін, В.М.Яцук, П.М.Кухаренко, А.М.Пугач; Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет. – Дніпропетровськ, 2024. – 285 с.
15. Опір матеріалів/ Під заг. ред. Г.С. Писаренка, К.: Вища школа, 2021р. – 672 с.
16. Маковей Ю. Що буде з цінами на сою та які прогнози на врожай 30 червня 2023
17. Маковей Ю. Вирощуємо сою на максимум — досвід фермерів та поради професіоналів// 12 квітня 2023.
18. Лешахін С.Д. Довідник з охорони праці в сільському господарстві. - К.: Урожай, 2020. - 165 с.
  
19. Dovbush Taras, Khomyk Nadia, Dovbush Anatolii, Dunets Bogdan. Evaluation technique of frame residual operational life. *Scientific Journal of the Ternopil national technical university*. Tern.: TNTU, 2019. Vol. 93. No. 1. P. 61-69. 46
20. Dovbush Taras, Khomyk Nadia, Tson Hanna, Dovbush Anatolii, Improvement of prt-9 constructive system on the basis of frame elements strength balance.

*Scientific Journal of the Ternopil national technical university*. Tern.: TNTU, 2020. Vol. 100. No. 4. P. 40-45.

21. Dovbush Taras, Khomyk Nadia, Dovbush Anatolii, Palyukh A. Estimation of  
of  
the load capacity and the strain-stress state of rod transporters. *Scientific Journal of the Ternopil national technical university*. Tern.: TNTU, 2022. Vol 108. No 4. P. 5-15.

22. Hevko R.B., Tkachenko I.G., Khomyk N.I., Gumeniuk Y.P., Flonts I.V., Gumeniuk O.O. Determination of technical-and-economic indices of root cropconveyer-separator during their motion on curved path. *INMATEH -Agricultural Engineerin*, 2020. Vol. 61. Is. 2. P. 175-182.

23. Хомик Н.І., Довбуш А.Д. Технічна механіка: навчально-методичний посібник до курсової роботи для студентів напряму підготовки «Електротехніка та електротехнології» денної та заочної форм навчання Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І. Пулюя, 2023. 192 с.

24. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» / Олексюк В.П., Сташків М.Я. Тернопіль: ТНТУ ім. І Пулюя, 2022. 48 с.

# ДОДАТОК