УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допускається до захисту
Завідувач кафедри
_____ Дідур В.В.
“___” _____ 2026 р.

Кваліфікаційна робота (дипломний проєкт)

перший (бакалаврський)
(освітній рівень)

на тему **«Проектування використання МТП в технології міжрядного обробітку грунту з модернізацією фрези»**

Виконав: студент 4 курсу, групи 41-ім
Спеціальність Н7
«Агроінженерія»
Іван МОРГУН
(прізвище та ініціали)

Керівник Андрій ВОЙТІК
(прізвище та ініціали)

Рецензент ____
(прізвище та ініціали)

Умань – 2026

ЗМІСТ

Вступ 4

Розділ 1. Технологічна частина 6

1.1. Механіко-технологічні передумови 6

1.2. Загальна конструкція та принцип роботи фрез 8

1.3. Огляд конструкцій фрезерних машин 11

Розділ 2. Конструктивна частина 19

2.1. Обґрунтування і розрахунок основних параметрів фрези 19

2.2. Розрахунок приводного двоступеневого шевронного циліндричного редуктора 22

2.3. Вибір матеріалу і визначення напруг, що допускаються 24

2.4. Розрахунок косозубого циліндричного редуктора 26

Розділ 3. Охорона праці 30

Розділ 4. Розрахунок економічної ефективності 37

Висновки 39

Список використаної літератури 41

Вступ

Механізований обробіток ґрунту сьогодні переживає якісний стрибок: від масової заміни ручної праці й простих плугів до високотехнологічних, інтелектуально керованих систем, що поєднують ефективність, екологічну відповідальність і економічну доцільність. Цей етап характеризується кількома ключовими напрямами, які формують нову «арматуру» сучасного землеробства.

Точне землеробство і цифровізація. GPS-навігація, картографія врожайності, датаріджери ґрунту і супутниковий моніторинг дозволяють оптимізувати глибину і інтенсивність обробітку по карті поля. Застосування ISOBUS-сумісних агрегатів та систем автоматичного виведення рядка мінімізує накладки, знижує витрати палива і зменшує ущільнення ґрунту.

Консерваційні та мінімальні технології. Зростає популярність мінімального обробітку, рідше — нульового, що зберігає структуру ґрунту, органічну речовину й мікробіоту. Комбіновані агрегати — стріп-тілл, чизельні культиватори, мульчуючі сівалки — дають змогу поєднати захист від ерозії з достатньою підготовкою насіннєвого ложа.

Енергоефективність і альтернативні джерела. Сучасна техніка стає енергоощаднішою: легші матеріали, оптимізовані приводні ланцюги, електрифікація вузлів. Наукові проєкти тестують електричні та гібридні трактори, що обіцяють зменшення викидів і експлуатаційних витрат.

Автоматизація й автономні системи. Роботизовані агрегати й автономні трактори вже виходять із дослідницьких майданчиків у реальні господарства. Малі роботизовані «гулячі» системи дозволяють проводити локальний обробіток міжрядь, точкове внесення добрив і знищення бур’янів без ущільнення ґрунту важкою технікою.

Інтеграція екологічних підходів. Технології обробітку ґрунту все більше враховують підтримку біорізноманіття, захист водних ресурсів і зменшення ерозії. Комплексні системи поля (cover crops, органічні добавки, адаптовані строки обробітку) поєднуються з механікою для сталого збереження родючості.

Аналітика і рішення на основі даних. Великі дані, машинне навчання і моделі прогнозування дозволяють вибирати оптимальні строки обробітку, передбачати ризики ущільнення або дефіциту вологи, планувати ротацію культур з огляду на довгострокове відновлення ґрунту.

Освітня та нормативна база. Швидкий розвиток техніки вимагає підготовки кадрів і оновлення норм безпеки, сертифікації обладнання та екостандартів. Державна підтримка інновацій, субсидії на техніку та програми перепідготовки робітників — важливі складові успішної трансформації.

Економічний і соціальний вимір. Впровадження нових технологій підвищує продуктивність і знижує собівартість, але потребує інвестицій. Для малих і середніх господарств ключова роль відводиться кооперації, сервісам з надання техніки та лізингу, що роблять інновації доступнішими.

Сучасний етап розвитку агротехніки механізованого обробітку ґрунту — це синтез цифрових рішень, екологічних підходів і автоматизації. Він відкриває шлях до сталого землеробства, де висока продуктивність поєднується з довготривалою турботою про ґрунт і людей. Успіх цієї трансформації залежить від спроможності аграріїв, науковців і політиків діяти узгоджено: інвестувати в технології, навчання і регулювання, щоб земля залишалася джерелом життя і прибутку для майбутніх поколінь.

Розділ 1. Технологічна частина

1.1. Механіко-технологічні передумови розробки польових фрез

Польова фреза — один із ключових інструментів сучасного землеробства: вона перетворює поверхню ґрунту, готує насіннєве ложе та бореться з бур’янами. Але створити ефективну, довговічну й безпечну фрезу — це не лише вправність інженера, а системна робота над механіко-технологічними передумовами, що враховують і природу ґрунту, і економіку господарств, і вимоги безпеки.

По-перше, фундамент — вивчення ґрунтових умов. Тип, вологість, механічний склад і кам’янистість визначають вибір форми ножів, кроку робочих органів і потрібної потужності трактора. Фреза для суглинків і фреза для піщаних ґрунтів мають принципово різні робочі режими і конструктивні підходи.

По-друге, привід і енергетика. Параметри ВВП, передатні відношення та конструкція карданного вала мають забезпечувати оптимальні оберти ротора при мінімальних втратях потужності. Сучасні рішення орієнтуються на енергоефективність: легкі матеріали, оптимізована геометрія робочих елементів і знижений коефіцієнт опору.

Третє — конструкція робочого органа. Ножі, лапи або молотки повинні мати форму, яка поєднує різкість різу та стійкість до зношення; важлива можливість швидкої заміни і регулювання кута атаки. Баланс ротора, динамічна стійкість і фіксація елементів — питання довговічності та безпеки при високих обертах.

Четверте — модульність і універсальність. Перевага сучасних фрез — змінні секції, що дозволяють підлаштувати агрегат під різні задачі: поверхневий культиваційний обробіток, розпушування глибоких шарів чи подрібнення соломи. Модульність знижує капітальні витрати і розширює область застосування одиниці техніки.

П’яте — матеріали і зносостійкість. Використання легованих сталей, наплавлених кромок та полімерних покриттів подовжує ресурс ножів і зменшує потребу в частих замінах. Водночас конструкція має бути ремонтопридатною в польових умовах.

Шосте — захист від сторонніх предметів. Системи екстреного відключення, запобіжні муфти, пружинні втулки та захисні кожухи знижують ризик пошкоджень при зустрічі з камінням або корінням. Це важливий елемент технологічної надійності і безпеки персоналу.

Сьоме — ергономіка і безпека оператора. Інтеграція з тракторами ISOBUS, дистанційне регулювання глибини, телеметрія стану агрегату і датчики навантаження дозволяють зменшити людський фактор, знизити втомлюваність та аварійність.

Восьме — екологічні наслідки. Проєктування фрез має враховувати збереження структури ґрунту, мінімізацію ерозії й оптимальне перемішування соломи для збереження органічної маси. Перевагу отримують рішення, що поєднують ефективність обробітку з відновленням родючості.

Дев’яте — випробування і сертифікація. Полігонні тести в різних кліматичних та ґрунтових умовах, стендові випробування на вібрацію і ресурс — обов’язкова передумова виходу конструкції на ринок. Тільки реальні дані дозволяють оптимізувати параметри й гарантувати заявлені показники.

Нарешті, економічна доцільність і сервіс. Конструкція має бути конкурентоспроможною за вартістю володіння: витрати палива, швидкість обробітку, час простою на ремонти і доступність запасних частин визначають комерційний успіх.

Польові фрези майбутнього — це баланс інженерної думки і агрономічної практики: енергозбереження і технологічна гнучкість, міцність і ремонтопридатність, безпека і екологічна відповідальність. Розробка таких агрегатів потребує міждисциплінарного підходу, де механіка, матеріалознавство, електроніка й агротехнологія працюють у синергії. Саме ці передумови створюють основу для техніки, яка буде не просто обробляти ґрунт, а берегти його й робити виробництво сталої якості.

1.2. Загальна конструкція і принцип роботи фрези

Конструктивно польова фреза — це агрегат, призначений для розпушування, подрібнення та перемішування верхнього шару ґрунту й рослинних решток. Її основні вузли та елементи:

- Рама та навіска
  - жорстка ферменна або коробчаста рама; навішування — заднє або фронтальне за стандартом трактора (CAT I–III або триточкова навіска); точки кріплення з регулюванням кута нахилу.
- Привід ротора
  - карданний вал від ВВП трактора; редуктор (зубчастий або конічний) для зниження обертів і збільшення крутного моменту; захисні кожухи кардана та редуктора.
- Ротор (вал) і робочі органи
  - центральний або декілька валів з насадженими робочими органами: ножі (півмісяці, S-образні), молотки, лапи або комбіновані секції; кріплення — болтове, штифтове або з швидкознімними замками.
  - схема розміщення органів забезпечує поступове зрізання, дроблення та перемішування із заданим кроком.
- Регулювання глибини та агрегації
  - опорні котки, підтримуючі колеса або планки-глибиноміри; гідравлічні або механічні регулювальні механізми для зміни глибини обробітку й положення ротора.
- Захисні елементи й системи безпеки
  - запобіжні муфти, пружинні фланці, зірочки «злипання» (плужні запобіжники), кожухи над робочими секціями; датчики перегрузки, кнопки аварійного відключення, блокування доступу до роторів при піднятому положенні.
- Додаткове обладнання
  - бокові дефлектори для контролю розкидання ґрунту, смугові котки для вирівнювання, системи підготовки посівного ложа, модулі

внесення добрив у прикореневий шар; ISOBUS-електроніка, телеметрія.

Принцип роботи

1. Передача енергії: від ВВП трактора через кардан і редуктор оберти передаються ротору, що забезпечує високий крутний момент при необхідних обертах ротора (залежно від типу фрези, зазвичай 300–1000 хв$^{-1}$ на роторі).
2. Зрізання і дроблення: обертові робочі органи зрізають верхній шар ґрунту та рослинні рештки, розпилюють агрегати на дрібні частки й перемішують із землею. Геометрія ножів і кут атаки визначають ступінь різу й розкид фракцій.
3. Перемішування і вирівнювання: послідовне розташування секцій і додаткові котки забезпечують вирівнювання поверхні, ущільнення верхнього шару до заданого стану і підготовку насіннєвого ложа.
4. Регулювання процесу: глибина обробітку, швидкість руху трактора і частота обертів ВВП взаємопов’язані — оптимальна комбінація забезпечує ефективність при мінімальних енергозатратах і зносі. Автоматизовані системи підтримують задані параметри в реальному часі.
5. Захист і відновлення: запобіжні механізми відключають передачу при надмірному навантаженні або при контакті з перешкодою; модульність дозволяє швидко замінювати зношені ножі й відновлювати працездатність у польових умовах.

Енергоефективність і продуктивність залежать від правильного підбору типу робочих органів, швидкості руху та налаштування глибини. Конструкція має поєднувати механічну надійність, простоту обслуговування та засоби безпеки — лише тоді фреза буде ефективним і безпечним інструментом сучасного поля.

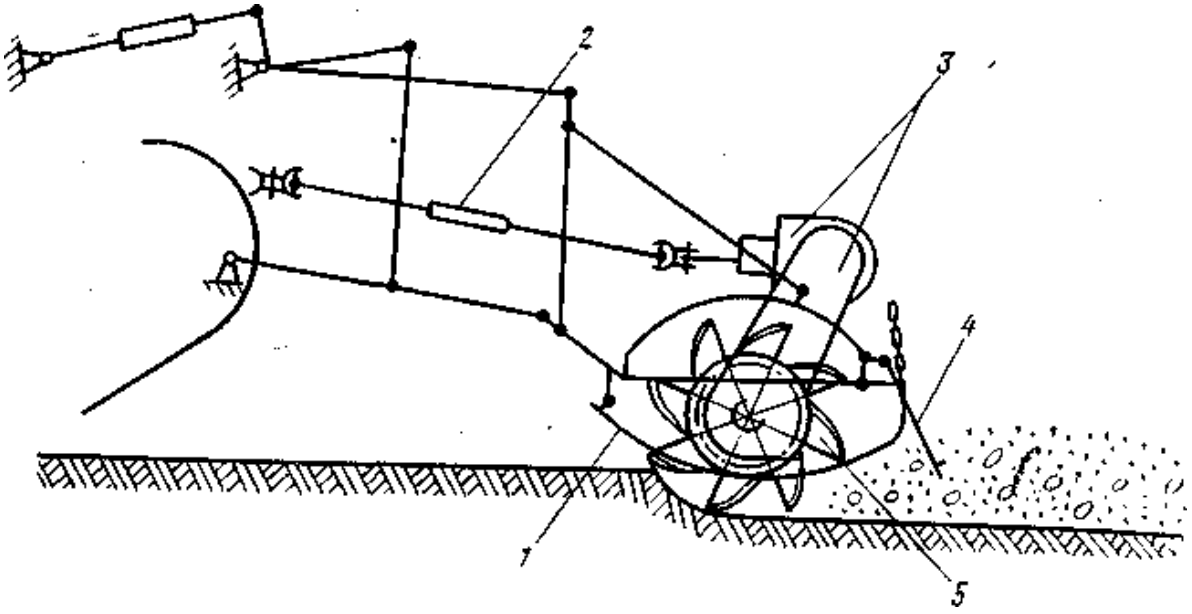


Рисунок 1.1-Технологічна схема роботи фрези: 1 - опорні полози; 2 - карданна передача, 3 - редуктори, 4 - граблі, 5 - робочі органи фрезерного барабана

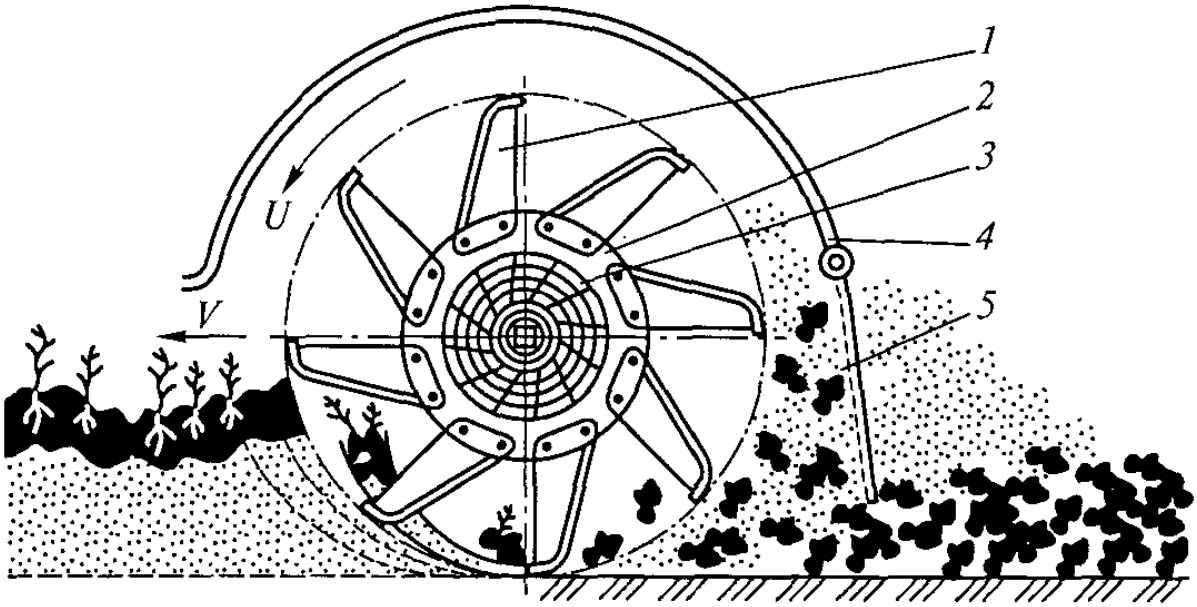


Рисунок 1.2- Схема пристрою і роботи фрезерного робочого органу: 1 - ножі; 2 - ведений диск, 3 - провідний диск; 4 - кожух; 5 - решітка (гребінка)

1.3 Огляд конструкцій фрезерних машин

Проєктування й ключові параметри

Типи ротора: горизонтальний вал (одинарний або двовальний зі зустрічним обертанням) проти вертикальних валів; вибір залежить від бажаного перевертання ґрунту та діапазону потужності.

Ширина захвату й модульність: секційні рами (модулі 0,5–1,0 м) для транспортування, обслуговування й регульованої ширини робочої зони.

Схеми розміщення ножів: гвинтові/зсічені (helical) зменшують ударні навантаження і покращують потік ґрунту; лінійні схеми простіші в заміні, але підвищують вібрацію.

Робоча глибина й кліренс: діапазон глибини зазвичай 5–25 см для поверхневих операцій; кліренс під рамою розраховується, щоб уникнути забивання рослинними рештками.

Робочі органи й геометрія

Форми ножів: L-тип (міцні, глибоке різання), C/S-тип (добре перемішують), молоткові/флейлові (подрібнення й включення мульчі).

Кут атаки й нахил: малі кути атаки знижують тяговий опір, але вимагають вищих обертів; регульовані кріплення дають змогу налаштовувати під тип ґрунту.

Балансування: динамічне балансування ротора критично важливе для зниження навантаження на підшипники й втомлювання рами.

Привід і передача потужності

Редукції: кутові конічні/планетарні редуктори для компактного виходу з високим крутним моментом; масляні ванни продовжують ресурс.

Захист від наднавантаження: зрізні болти, зчіпні муфти, магнітні зчеплення для захисту редуктора/приводу при зустрічі з перешкодою.

Карданні вали: телескопічні, з шліцами та повними кожухами; правильне змащування шліців і вирівнювання запобігають відмовам.

Матеріали й захист від зносу

Загартована/легована сталь (наприклад, борні сталі, загартовані кромки) для ріжучих кромок; змінні зносні підошви та болтові вставки в зонах сильного абразивного зносу.

Покриття: термічне напилення карбіду або наплавлення на кромки; полімерні вставки там, де проблеми з налипанням решток.

Взаємодія ґрунту і машини та здоров’я ґрунту

Мінімізація ущільнення: ступінчасті проходи, контроль навантаження осі, використання легших рам чи ширших шин/подвійних коліс на тракторі.

Управління рештками: налаштування обертів ротора й типу ножів для подрібнення решток без утворення липких згустків.

Контроль ерозії: інтеграція із strip-till, збереження покривних культур та робота по контурах для зменшення стоку й втрати родючого шару.

Гідравліка, керування й електроніка

Гідравлічне регулювання глибини з контролем навантаження для стабільної глибини на нерівному ґрунті; автоматичне піднімання при перешкоді.

Контролери з ISOBUS-сумісністю для секційного керування, моніторингу обертів і логування параметрів.

Телекомунікації: віддалена діагностика, моніторинг вібрацій і алгоритми прогнозного обслуговування.

Операційні параметри й оптимізація

Типові оберти ротора: 300–900 об/хв залежно від діаметра ротора і типу ножів; вищі оберти дають дрібніше подрібнення, але швидше зношують деталі.

Швидкість руху: повинна поєднуватися з обертами для досягнення заданої енергії на гектар і розподілу часток.

Потреба в потужності: питома тяга змінюється з типом ґрунту — приблизно 20–60 кВт/м для важких операцій, менше для дрібного/місцевого обробітку.

Обслуговування й ремонт

Системи швидкої заміни ножів (болтові картриджі) для польової заміни; стандартизовані запчастини знижують час простою.

Корпуси підшипників із точками для змащення, доступними з боку оператора; ущільнені підшипники без обслуговування там, де це доцільно.

Плановий аналіз масла в редукторі та журнал відпрацьованих годин, навантажень і замін для управління життєвим циклом.

Заходи безпеки

Повні кожухи над ВВП і роторами; блокувальні пристрої, що забороняють доступ при включеному агрегаті.

Аварійні кнопки у кабіні трактора й на машині; гідравлічні запобіжні фіксатори під час обслуговування.

Навчання операторів, процедури lockout-tagout і чіткі вказівники про ризики заплутування/затягування.

Випробування, сертифікація й стандарти

Тести на втомлюваність і вібрацію для роторів і рам; польові випробування в різних ґрунтових та кліматичних умовах для формування карт продуктивності.

Відповідність регіональним стандартам безпеки машин (наприклад, ISO 12100, EN 13754 щодо захисту валів ВВП) та вимогам щодо обслуговування.

Інновації й тенденції майбутнього

Електрифікація приводів ротора для регульованих обертів та можливого рекуперативного режиму.

Автономні малі блоки для точкового міжрядного обробітку, що зменшують ущільнення й витрату палива.

AI-керування: моделі машинного навчання, які в реальному часі підлаштовують швидкість/оберти згідно з показниками ґрунту й наявністю решток.

.

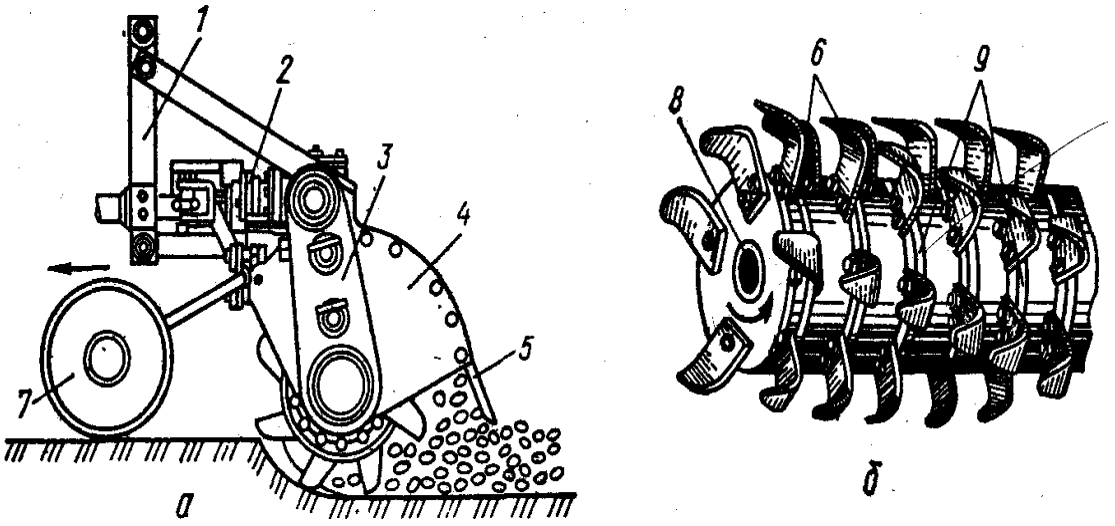


Рисунок 1.3-Ґрунтообробна фреза ФБН-2: а - робочий процес; б - фрезерний барабан; 1 - начіпний пристрій; 2 і 3 - редуктори; 4 - кожух; 5 - решітка; 6 - ножі; 7 - опорне колесо; 8 - вал; 9 - диски

Стислий порівняльний огляд основних типів робочих органів для польових фрез (характеристика, очікуване енергоспоживання, коротка схема роботи).

1. L-тип (прямий/лоткоподібний ніж)

- Призначення: глибоке різання, ефективне рихлення суглинків; добре входить у важкий ґрунт.
- Ефект: грубе подрібнення, сильне перемішування; висока тяга.
- Очікуване енергоспоживання: високе — ~40–60 кВт/м (важкі умови), 25–40 кВт/м (середні).
- Плюси/мінуси: довговічні, великі навантаження на привід; схильні до великих вібрацій.
- Схема: ротор → L-ніж (грубе зрізання) → викид у масу ґрунту.

2. S/C-тип (S- або C-вигин ножа)

- Призначення: універсальне різання + хороше перемішування; оптимальні для змішаних решток.
- Ефект: середнє подрібнення, збалансований опір.
- Очікуване енергоспоживання: середнє — ~30–45 кВт/м (важкі), 18–30 кВт/м (середні).
- Плюси/мінуси: краще «пливе» по ґрунту, менше вібрацій ніж L; вища площа зношення ніж у молотків.

- Схема: ротор → S-ніж (зріз + крутіння) → подрібнення/перемішування.

3. Напівмісяцеві / півмісяць (half-moon, Sickle)

- Призначення: точне зрізання, легке подрібнення, низький тяговий опір.
- Ефект: тонке подрібнення при невеликій енерговитраті.
- Очікуване енергоспоживання: низьке–середнє — ~20–35 кВт/м.
- Плюси/мінуси: економні, підходять для легких/середніх ґрунтів; менше підходять для кам'янистих умов.
- Схема: ротор → півмісяць (різання + крихта) → тонке подрібнення.

4. Молоткові / флейлові (hammer / flail)

- Призначення: інтенсивне подрібнення соломи й мульчі; сильне дроблення.
- Ефект: дуже дрібна фракція, низька потреба в додатковому подрібненні.
- Очікуване енергоспоживання: середнє–високе при високих обертах — ~25–50 кВт/м (залежить від rpm).
- Плюси/мінуси: добре переробляють велику масу решток; швидкий знос молотків/шарнірів, потребують високих rpm.
- Схема: ротор → молоток (удар) → дроблення/розсипання.

5. Лапчасті/зубчасті (tine / cultivator blades)

- Призначення: розпушування, прорізання кореневих систем; мінімальне перемішування.
- Ефект: підвищення пористості, низьке подрібнення; низький тяговий опір.
- Очікуване енергоспоживання: низьке — ~15–30 кВт/м.
- Плюси/мінуси: енергоефективні, мале налипання; не дають дрібної структури ґрунту.
- Схема: ротор/балка → лапа (підріз) → розпушування, мінімальне перемішування.

Фреза ґрунтообробна ФЛ-150; Ф-200.

Огляд конструкцій польових фрез і порівняння їхніх характеристик

1. Kuhn (сімейство HR / Elan / Optimer — фрези й мульчери)

- Конструкція: жорстка фермена рама, центральний ротор або декілька секційних валів; редуктор із захисною муфтою; телескопічний кардан.

- Робочі органи: комбіновані ножі (S-/C-тип, півмісяці), можливі варіанти молотків для мульчування.
- Регулювання: гідравлічне піднімання, опорні котки, бокові дефлектори; ISOBUS-сумісність на старших моделях.
- Переваги: висока якість збірки, модульність, добра сервісна мережа; орієнтовані на універсальність і тривалу експлуатацію.

2. Maschio Gaspardo (Tornado / Roterra / Dyna)

- Конструкція: компактні модульні рами, варіанти з одно- та двовальними роторами; акцент на простоті обслуговування.
- Робочі органи: широкий вибір ножів — від лапчастих до молоткових; швидкознімні кріплення.
- Регулювання: механічні й гідравлічні системи глибини, захисні кожухи; на деяких моделях — подвійні котки для вирівнювання.
- Переваги: хороше співвідношення ціна/якість, велика лінійка варіантів для різних господарств.

3. Lemken (Zirkon / Karat — культиватори-фрези)

- Конструкція: міцні коробчасті рами, важкі редуктори, варіанти з фронтальною і задньою навіскою; увага до рівномірного потоку ґрунту.
- Робочі органи: S-/C-ніжні конфігурації, іноді комбіновані з зубчастими котками; акцент на мінімальному виникненні ущільнення.
- Регулювання: точне гідравлічне регулювання глибини, точкова підгонка кута атаки; інтеграція з системами точного землеробства.
- Переваги: висока продуктивність на важких ґрунтах, орієнтація на професійний агробізнес.

4. Amazone (KE / Cenius / Catros — ротаційні та зубові фрези)

- Конструкція: модульні секції, опційні бокові шківи, міцні редуктори з масляною ванною; широкий ряд навісних і причіпних варіантів.
- Робочі органи: універсальні S-ножі, варіанти з молотками для мульчування; на старших моделях — швидкознімні картриджі.
- Регулювання: електронні контролери, ISOBUS, гідравліка для автоматичного утримання глибини.

- Переваги: інноваційні рішення у керуванні, добрий баланс між якістю ґрунтообробки та економією палива.

5. Horsch (Joker / Cruiser — фрези/культиватори)

- Конструкція: компактні, але важкі рами, акцент на стабільному робочому процесі при високих швидкостях; на деяких моделях — подвійні ряди ротора.
- Робочі органи: C/S-ніжні системи, опції для інтенсивного подрібнення соломи; міцні підшипникові вузли.
- Регулювання: прості та надійні механічні регулювання глибини, опції з гідравлікою; сумісність із системами точного землеробства.
- Переваги: хороші робочі характеристики при високій швидкості руху, націлені на великі господарства.

Порівняльна таблиця з технічними параметрами і орієнтовною ціною для польових фрез робочою шириною ~3,0 м в умовах суглинку. Значення — типові для серійних моделей у базовій конфігурації; ціни орієнтовні (Євро) та залежать від опцій, реселера й року випуску.

Марка / модель (приклад)	**Робоча ширина, м**	**Рекомендована потужність трактора, к.с. (кВт)**	**Тип ножів**	**Робоча глибина, см**	**Обертів ротора, об/хв**	**Маса, кг**	**Орієнт. ціна, €**
Kuhn HR/Elan 300 (або аналог)	3,0	90–140 (66–103)	S-/C-ніжі (опц. молотки)	5–25	400–700	1200–1600	18 000–28 000
Maschio Roterra / Tornado 300	3,0	80–120 (59–88)	Комбіновані (S / півмісяць / лапи)	5–22	350–650	1000–1400	12 000–20 000
Lemken Zirkon / Karat 300	3,0	100–150 (74–110)	S-ніж / C-комбінації	5–25	400–800	1400–1900	22 000–34 000
Amazone Catros / KE 300	3,0	85–130 (63–96)	S-ніжі / молотки (опц.)	5–24	350–700	1100–1600	16 000–26 000

Марка / модель (приклад)	Робоча ширина, м	Рекомендована потужність трактора, к.с. (кВт)	Тип ножів	Робоча глибина, см	Обертів ротора, об/хв	Маса, кг	Орієнт. ціна, €
Horsch Joker / Cruiser 3.0	3,0	90–140 (66–103)	C/S-ніжні секції	5–25	400–750	1250–1700	17 000–27 000

Коротке порівняння для суглинків (3 м)

- Потужність: Lemken та Kuhn вимагають вищої потужності для інтенсивної роботи в важкому суглинку; Maschio — більш «легкий» варіант.
- Ефективність подрібнення: Kuhn / Amazone (з опціями молотків) дають кращу фракцію; Horsch і Lemken — стабільне перемішування при високих швидкостях.
- Маса/сталевість: Lemken — важчі та більш «промислові» конструкції (краще для кам’янистого/щільного суглинку).
- Обслуговування і ціна: Maschio — найвигідніший за ціною/сервісом; Kuhn/Amazone — баланс інновацій та ціни; Lemken — дорожчий, але високопродуктивний.
- Електроніка/опції: Amazone і Kuhn частіше мають ISOBUS/електронні опції в базі або як стандартні пакети.

Розділ 2. Конструктивна частина

2.1 Обґрунтування і розрахунок основних параметрів фрези КФГ-3,6

Вихідні дані:

Ширина захвату, B = 3,60 м.

Швидкість руху агрегата V = 1-2 км/год.

Глибина обробітку ґрунту h = 20 см.

Питомий опір деформації ґрунту ρ = 70 МПа.

1 Діаметр фрезерного барабана

Діаметр фрезерного барабана D по кінцях ножів вибирати за умови забезпечення обробітку ґрунту на задану глибину h і заглиблення лише ножів (інші деталі барабана мають проходити над поверхнею поля, з мінімальним зазором 50…60 мм) Для більшості фрез D = (2,5…3,5) h [13].

2 Кількість ножів, закріплених на одному диску

Основні критерії для вибору кількості ножів z – це подача і гребенистість дна борозни, які задаються відповідними агротехнічними вимогами. Вибирати z потрібно згідно з рекомендаціями та оглядом конструкцій фрез. Частіше всього z =2;4 або 6.

Кількість дисків на барабані:

$$m = \frac{B}{2l + \delta} \tag{2.1}$$

$$m = \frac{2.2}{2 \cdot 0.15 + 0.04} = 6.5$$

Приймаємо 6 штук.

де l = 0,1...0,15 м – довжина відігнутої частини ножа;

δ - товщина диска.

3. Кінематичний режим роботи фрези:

$$\lambda = \frac{\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{z}\right)\pi - \arcsin\left(-\frac{h_2}{R}\right)}{\frac{1}{R}\sqrt{2Rh_2 - h_2}} \tag{2.2}$$

$$\lambda = \frac{\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\right)3.14 - \arcsin\left(\frac{0.1}{0.6}\right)}{\frac{1}{0.6}\sqrt{2\cdot 0.3\cdot 0.1 - 0.1}} = 4.3$$

де $h_2 = (0{,}1\ldots 0{,}15)h$ – висота гребенів;

R – радіус фрезерного барабана, (R=D/2).

Для польових та садових фрез $\lambda = 3\ldots 8$.

4. Частота обертання барабана:

$$n = \frac{60V_K}{\pi D} \tag{2.3}$$

$$n = \frac{60\cdot 1}{3.14\cdot 0,6} = 31,84 хв^{-1}$$

де V_k – колова швидкість барабана, м/с для польових V_k=1…2 м/с.

Отже максимальна частота обертанні барабана фрези не повинна перевищувати 32 $хв^{-1}$

5. Подача на ніж.

Визначити з урахуванням гребенистості дна борозни та параметрів барабана:

$$S = \frac{\pi D}{z\lambda} \tag{2.4}$$

$$S = \frac{3.14\cdot 0,6}{6\cdot 4.3} = 0.07 м$$

Рекомендоване значення S = 0,05…0,15 м.

6. Кут встановлення ножів на дисках, відносно радіуса барабана та кут їх загострення.

Вказані кути визначити за умови найменшого опору різанню та самоочищення під час роботи.

Кут γ_2 приймають у межах 30….40°.

$$\gamma_1 = 90 - \gamma_2 \tag{2.5}$$

$$\gamma_1 = 90 - 35 = 55$$

7. Потужність, яка реалізується фрезою з Г-подібними ножами.

У загальному вигляді потужність, яка витрачається на роботу фрези, розрахувати, як суму трьох видів потужностей:

$$N = N_d + N_b + N_n \tag{2.6}$$

Де N_d – потужність на деформацію ґрунту, кВт;

N_b – потужність на відкидання стружки, кВт;

N_n – потужність на переміщення фрези по полю, кВт;

Визначальною є потужність N_d, яку визначаємо за формулою:

$$N_d = 10^{-3}\, p \cdot c \cdot h \cdot z \frac{V_k}{\pi \cdot D} \tag{2.7}$$

$$N_d = 10^{-3} \cdot 70 \cdot 0.2 \cdot 0.18 \cdot 6 \frac{1}{3.14 \cdot 0,6} = 18 кВт$$

де *p*,Н/м; *h*, м; V_k, м/с; *D*, м.

c – переріз ґрунтової стружки, м^2, *c* = *sl*.

Потужність на відкидання стружки

$$N_b = 10^{-3} \cdot \frac{k_b \cdot B \cdot z \cdot h \cdot \psi \cdot V_k^2}{2} \tag{2.8}$$

$$N_b = 10^{-3} \cdot \frac{1 \cdot 3,6 \cdot 6 \cdot 0.18 \cdot 800 \cdot 1^2}{2} = 15 кВт$$

де k_b – коефіцієнт який залежить від форми ножа (k_b=0,85…1,0);

ψ - об’ємна маса ґрунту, кг/м^3.

Потужність N_n на переміщення фрези:

$$N_n = \frac{G_f \cdot f \cdot V_m}{270} \cdot 0.736 \tag{2.9}$$

$$N_n = \frac{1000 \cdot 0.2 \cdot 1}{270} = 7.4 кВт$$

де f =0,15…0,20 – коефіцієнт опору перекочування;

G_f – маса (вага) фрези, кгс.

$$N = 18 + 15 + 7,4 = 33,4 кВт$$

2.2 Розрахунок приводного двоступеневого шевронного циліндричного редуктора

1. Гідромотор
2. Муфта зубчаста
3. Циліндричний редуктор
4. Ланцюгова передача
5. Барабан фрези

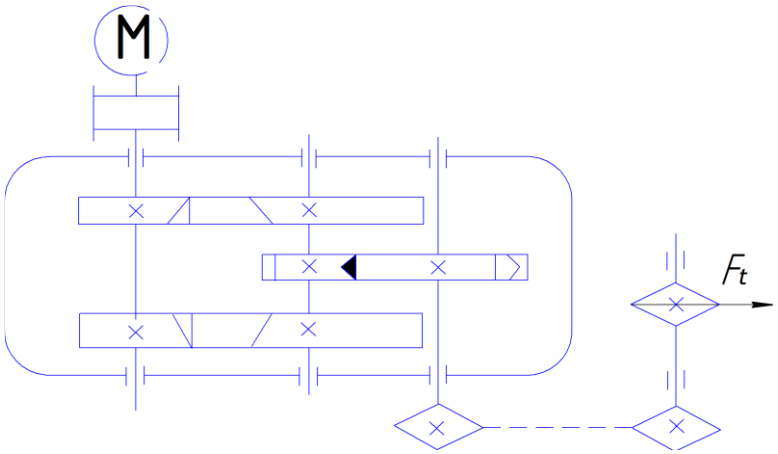


Рисунок 2.1 - Кінематична схема привода барабана фрези.

Кінематичний розрахунок [14-15].

За початковими даними визначають потрібну потужність приводу, тобто потужність на веденому валу, кВт:

$$P_4 = F_t V \quad (2.10)$$

$P_4 = 30 \cdot 1 = 30,4 кВт$

Потім визначаємо потужність на першому валу, кВт:

$$P_1 = \frac{P_4}{\eta_{заг.}} \quad (2.11)$$

$$P_1 = \frac{30}{0{,}8767} = 34{,}21кВт$$

де $\eta_{заг.} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3$

Тут $\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4$ - ККД окремих ланок кінематичного ланцюга.

Визначаємо ККД

$\eta_{заг.} = 0{,}99 \cdot 0{,}98^3 \cdot 0{,}96 \cdot 0{,}995^4 = 0{,}8767$

Отже, вибираємо двигун з синхронною частотою обертання $1000хв^{-1}$. Тип двигуна ПМТ-800; Потужність 30,4 кВт; Частота обертання - 800 $хв^{-1}$; ККД - 97%

Визначаємо частоту обертання на всіх валах.

Діаметр барабана, 600 мм:

Частоти обертання приводного валу, об/хв. 800:

$$n_1 = 800 \text{ об/хв};$$

$$n_2 = \frac{n_1}{u_ш} = \frac{800}{5} = 160 \text{ об/хв};$$

$$n_3 = \frac{n_2}{u_T} = \frac{160}{5} = 32 \text{ об/хв};$$

Визначаємо загальне передаточне відношення приводу:

$$u_{заг} = \frac{n_1}{n_3} = \frac{800}{32} = 25:$$

Задаємося передаточним відношенням редуктора:

$$u_{ред} = u_Ш u_T = 5\ 5 = 25;$$

де $u_Ш$ і u_T - передаточні числа швидкохідної і тихохідної ступені редуктора.

Передаточне відношення ланцюгової передачі приймаємо рівним 1:1.

$$u_{лан.} = \frac{u_{заг.}}{u_{ред}} = \frac{25}{25} = 1;$$

Визначаємо потужність на всіх валах, кВт

$$P_1 = 30{,}4кВт;$$

$$P_2 = P_1 \cdot \eta_м \cdot \eta_{з.п} \cdot \eta_{з.п} \cdot \eta_{п.к.} = 30{,}4 \cdot 0{,}99 \cdot 0{,}98^2 \cdot 0{,}995 = 28{,}6кВт;$$

$$P_3 = P_2 \cdot \eta_{з.п} \cdot \eta_{п.к.} = 28{,}6 \cdot 0{,}98 \cdot 0{,}995 = 27{,}4кВт;$$

Визначаємо обертові моменти на валах, Н м:

$$T_1 = 9550\frac{P_1}{n_1} = 9550\frac{30{,}4}{800} = 362{,}9 \text{ Н·м}$$

$$T_2 = 9550\frac{P_2}{n_2} = 9550\frac{28{,}6}{160} = 1704 \text{ Н·м}$$

$$T_з = 9550\frac{P_з}{n_з} = 9550\frac{27,4}{32} = 8170 \text{ Н·м}$$

2.3 Вибір матеріалу і визначення напруг, що допускаються

Після визначення обертаючих моментів на валах виконують основні проектні розрахунки передач. Початковими даними для розрахунку є: обертаючий момент на колесі T_2, передавальне число і, схема передачі, термін роботи $L_к$, характер виробництва - одиничний, дрібносерійний, багатосерійний.

Вибір матеріалу і термічної обробки [15].

Вибираємо для даної зубчастої передачі матеріал і вид термічної обробки. Отже, для даної передачі вибираємо:

- для шестерні – сталь 35; твердість поверхні зубців 163…192НВ;
- для колеса – сталь 45; твердість поверхні зубців 179…207НВ.

Напруги, що допускаються.

Визначаємо контактні напруги і напруги згину, що допускаються, окремо для колеса $[\sigma]_{H2}$ і $[\sigma]_{F2}$ і шестерні $[\sigma]_{H1}$ і $[\sigma]_{F1}$.

Визначають середню твердість:

– шестерні

$$HB_{ср.} = 0,5(HB_{min} + HB_{max}) \quad (2.11)$$

$$HB_{ср.} = 0,5(163 + 192) = 177,5 \text{ НВ}$$

– колеса

$$HB_{ср.} = 0,5(HB_{min} + HB_{max}) \quad (2.12)$$

$$HB_{ср.} = 0,5(179 + 207) = 194 \text{ НВ}$$

Базові числа циклів навантажень при розрахунку на контактну міцність

– для шестерні

$$N_{HO} = (HB_{ср})^3 \quad (2.13)$$

$$N_{HO} = 177,5^3 = 5,5\ 10^6;$$

– для колеса

$$N_{HO} = (HB_{cp})^3 \quad (2.14)$$

$$N_{HO} = 194^3 = 7{,}3\ 10^6;$$

При розрахунку на згин при всіх варіантах термообробки база випробовувань.

$N_{FO} = 4 \cdot 10^6$

Після цього визначаємо дійсні числа циклів зміни напруг. По формулам отримаємо:

– для колеса

$$N_2 = 60 \cdot n_2 L_h \quad (2.15)$$

$$N_2 = 60 \cdot 194 \cdot 14400 = 1{,}7 \cdot 10^8$$

– для шестерні

$$N_1 = N_2 \cdot u \quad (2.16)$$

$$N_1 = N_2 \cdot u = 1{,}7 \cdot 10^8 \cdot 5 = 8{,}5 \cdot 10^8$$

Після цього підраховуємо коефіцієнти довговічності при розрахунку як по контактних напругах, так і по напругах згину для Т.О.

Так як при $N > N_{HO}$ коефіцієнти термообробки для колеса і шестерні $K_{HL} = 1$

По формулам табл. 2.2 [1] допустимі напруження $[\sigma]_{HO}$ і $[\sigma]_{FO}$, відповідають базовим числам N_{HO} і N_{FO}, для термічної обробки:

– шестерня

$$[\sigma]_{HO1} = 1.8 \cdot HB_{ср} + 67 \quad (2.17)$$

$$[\sigma]_{HO1} = 1{,}8 \cdot 177{,}5 + 67 = 386{,}5\ Н/мм^2;$$

$$[\sigma]_{FO1} = 1.03 \cdot HB_{ср} \quad (2.18)$$

$$[\sigma]_{FO1} = 1{,}03 \cdot 177{,}5 = 182{,}8\ Н/мм^2.$$

– колесо

$$[\sigma]_{HO} = 1.8 \cdot HB_{ср} + 67 = 1{,}8 \cdot 194 + 67 = 416\ Н/мм^2;$$

$$[\sigma]_{FO2} = 1.03 \cdot HB_{ср} = 1{,}03 \cdot 194 = 199{,}82\ Н/мм^2;$$

Отже, допустиме напруження дорівнює:

$$[\sigma]_H = 0.45([\sigma]_{H1} + [\sigma]_{H2}) \quad (2.19)$$

$$[\sigma]_H = 0.45(386.5 + 416) = 361.125 \ H/мм^2$$

$$[\sigma]_F = 0.45([\sigma]_{F1} + [\sigma]_{F2}) \quad (2.20)$$

$$[\sigma]_F = 0.45(182.8 + 199.82) = 172.2 \ H/мм^2$$

2.4 Розрахунок косозубого циліндричного редуктора

Для швидкохідного ступеня [15]:

Коефіцієнти міжосьової відстані K_a для косозубих колес K_a = 43,0.

Коефіцієнти ширини ψ_a приймають в залежності від положення коліс відносно опор. Значения ψ_a приймають із числа стандартних, отже, ψ_a = 0,25.

Коефіцієнт ширини ψ_b розраховуємо по формулі:

$$\psi_b = 0{,}5\psi_a \ (u + 1) \quad (2.21)$$

$$\psi_b = 0.5 \ 0.25(5 + 1) = 0{,}75$$

Для даного варіанта коефіцієнт концентрації навантаження $K_{H\beta}$ = 1.0

1. Визначаємо міжосьову відстань:

$$a_w \geq K_a(u \pm 1)\sqrt[3]{\frac{K_{H\beta} T_2}{\psi_a u^2 [\sigma]_H^2}} \quad (2.22)$$

$$a_w \geq 43(5 + 1)\sqrt[3]{\frac{1 \cdot 1704 \cdot 10^3}{0.25 \cdot 5^2 \cdot 361.125^2}} = 184.4 \ мм;$$

Приймаємо міжосьову відстань a_w = *185 мм*

2. Модуль передачі:

$m_n = (0{,}01 \ldots 0.02)a = (0{,}01 \ldots 0{,}02)185 = 1{,}85 \ldots 3.7 \ мм$

Заокруглюємо до стандартного значення в більшу сторону, тоді *m=2,5мм.*

3. Задаємося кутом нахилу зубів $\beta = 32^0$

Визначаємо число зубців шестірні:

$$Z_1 = \frac{2a\cos\beta}{m_n(u+1)} \quad (2.23)$$

$$Z_1 = \frac{2 \cdot 185 \cdot \cos 32^0}{2.5(5+1)} = 20.92$$

Приймаємо, Z_1=21

– Число зубців колеса:

$$Z_2 = Z_1 u = 21 \cdot 5 = 105$$

4. Визначаємо кут нахила зубців:

$$\cos\beta = \frac{m_n(Z_1+Z_2)}{2a} \quad (2.24)$$

$$\cos\beta = \frac{2.5(21+105)}{2 \cdot 185} = 0.85135$$

$$\cos^{-1}\beta = 31.64119219$$

Отже, кут $\beta = 31^0\ 4'\ 28''$

5. Визначаємо геометричні розміри коліс:

Ділильні діаметри:

– Шестерні

$$d_1 = \frac{Z_1 m_n}{\cos\beta} \quad (2.25)$$

$$d_1 = \frac{Z_1 m_n}{\cos\beta} = \frac{21 \cdot 2.5}{0.85135} = 61.67 \text{ мм;}$$

– колеса

$$d_2 = \frac{Z_2 m_n}{\cos\beta} = \frac{105 \cdot 2.5}{0.85135} = 308.33 \text{ мм;}$$

Діаметри окружності вершин d_a і впадини d_f зубів.

– шестерні

$$d_{a1} = d_1 + 2m = 61.67 + 2 \cdot 2{,}5 = 66{,}67 \text{ мм;}$$

$$d_{f1} = d_1 - 2.5m = 61.67 - 2.5 \cdot 2{,}5 = 55.42 \text{ мм;}$$

Ширина шестерні

$$b_1 = 1{,}08 b_2 = 1{,}08 \cdot 46{,}25 = 49{,}95 \text{ мм.}$$

– колеса

$$d_{a2} = d_2 + 2m = 308{,}33 + 2 \cdot 2{,}5 = 313{,}33 \text{ мм;}$$

$$d_{f2} = d_2 - 2.5m = 308{,}33 - 2.5 \cdot 2{,}5 = 302{,}08 \text{ мм;}$$

Ширина колеса

$$b_2 = \psi_a a_w = 0.25 \cdot 185 = 46{,}25$$

7. Визначаємо сили в зачеплені.

– Окружна

$$F_t = \frac{2T_2}{d_2} = \frac{2 \cdot 1704 \cdot 10^3}{308.33} = 965 \ \ H;$$

– Радіальна

$$F_r = F_t \tan\beta / \cos\beta = 965 \cdot \frac{0.6249}{0.848} = 711{,}2 \ \ H;$$

– Осьова

$$F_a = F_t \tan\beta = 965 \cdot 0.6249 = 603 \ \ H.$$

Для тихохідного ступеня:

1. Визначаємо міжосьову відстань:

$$a_w \geq K_a (u+1) \sqrt[3]{\frac{K_{H\beta} T_3}{\psi_a u^2 [\sigma]_H^2}} = 43(5+1) \sqrt[3]{\frac{1 \cdot 1450{,}86 \cdot 10^3}{0.25 \cdot 5^2 \cdot 361.125^2}} = 312{,}7 \ мм;$$

Приймаємо міжосьову відстань $a_w = 315$ *мм*

2. Модуль передачі:

$$m_n = (0{,}01 \ldots 0.02)a = (0{,}01 \ldots 0{,}02)315 = 3{,}15 \ldots 6{,}3 \ мм$$

Заокруглюємо до стандартного значення в більшу сторону, тоді *m=2,5мм.*

3. Задаємося кутом нахилу зубів $\beta = 12^0$

– Визначаємо число зубців шестірні:

$$Z_1 = \frac{2a\cos\beta}{m_n(u+1)} = \frac{2 \cdot 315 \cdot \cos 12^0}{2.5(5+1)} = 41{,}082$$

Приймаємо, Z_1=41

– Число зубців колеса:

$$Z_2 = Z_1 u = 41 \cdot 5 = 205$$

4. Визначаємо кут нахилу зубців:

$$\cos\beta = \frac{m_n(Z_1 + Z_2)}{2a} = \frac{2.5(41+205)}{2 \cdot 315} = 0{,}9762.$$

$$\cos^{-1}\beta = 12{,}527905$$

Отже, кут $\beta = 12^0\ 3'\ 40''$

5. Визначаємо геометричні розміри коліс:

Ділильні діаметри:

– шестірні

$$d_1 = \frac{Z_1 m_n}{\cos\beta} = \frac{41 \cdot 2.5}{0.9762} = 105\ мм;$$

– колеса

$$d_2 = \frac{Z_2 m_n}{\cos\beta} = \frac{205 \cdot 2.5}{0.9762} = 525\ мм;$$

Діаметри окружності вершин $\boldsymbol{d_a}$ і впадини $\boldsymbol{d_f}$ зубів.

– шестірні

$$d_{a1} = d_1 + 2m = 105 + 2 \cdot 2{,}5 = 110\ \text{мм};$$

$$d_{f1} = d_1 - 2.5m = 105 - 2.5 \cdot 2{,}5 = 98{,}75\ \text{мм};$$

Ширина шестерні

$$d_1 = 1.08 b_2 = 1.08 \cdot 78{,}75 = 85{,}05\ \text{мм}.$$

– колеса

$$d_{a2} = d_2 + 2m = 525 + 2 \cdot 2{,}5 = 530\ мм;$$

$$d_{f2} = d_2 - 2.5m = 525 - 2.5 \cdot 2{,}5 = 518{,}75 мм;$$

Ширина колеса

$$b_2 = \psi_a a_w = 0.25 \cdot 315 = 78{,}75$$

7. Визначаємо сили в зачеплені.

– Окружна

$$F_t = \frac{2T_3}{d_2} = \frac{2 \cdot 1450{,}86 \cdot 10^3}{525} = 5527\ H;$$

– Радіальна

$$F_r = F_t \tan\beta / \cos\beta = 5527 \cdot \frac{0.2126}{0.9781} = 1201{,}35\ H;$$

– Осьова

$$F_a = F_t \tan\beta = 5527 \cdot 0.2126 = 1175\ H.$$

Розділ 3. Охорона праці

Вимоги безпеки при комплектуванні агрегатів та виконанні польових механізованих робіт

Безпечне комплектування та експлуатація сільськогосподарських агрегатів є ключовим фактором збереження життя та здоров'я персоналу, забезпечення безперервності технологічного процесу й зниження економічних втрат від аварій. Наступні вимоги ґрунтуються на міжнародних стандартах безпеки машин, регіональних нормах і практичному досвіді польових випробувань.

1. Загальні принципи безпеки

- Дотримання технічної документації виробника агрегату та трактора; використання рекомендованих кріплень, шарнірів та елементів трансмісії.
- Проведення попередньої оцінки ризиків перед початком робіт із документуванням можливих небезпечних ситуацій і заходів щодо їх мінімізації.
- Забезпечення кваліфікованої підготовки персоналу: інструктаж, сертифікація операторів, регулярне оновлення знань з безпечних методів роботи.

2. Комплектування агрегатів

- Стандартизація деталей: застосування сертифікованих валів ВВП, карданних шарнірів із захисними кожухами, рекомендованих редукторів і запобіжних муфт.
- Захисні пристрої: монтаж кришок і кожухів над рухомими частинами, екранування різальних елементів при транспортуванні і зберіганні, установка захисних сіток і кожухів на відкидних панелях.
- Запобіжні муфти і механізми: обов'язкове застосування зрізних болтів, пружинних чи фрикційних муфт для захисту трансмісії при ударі об перешкоду.
- Електрообладнання і датчики: застосування захищених від пилу/вологи кабелів, реле від перевантажень, датчиків рівня масла, температури, вібрацій і навантаження з інтеграцією в систему оповіщення.

3. Підготовка до роботи

- Огляд агрегату: візуальна перевірка кріплень, стану ножів/молотків, підшипників, редуктора, гідравліки та ВВП; перевірка на наявність сторонніх предметів у робочій зоні.
- Налаштування параметрів: правильне регулювання глибини, кута атаки робочих органів, швидкості обертів ротора та швидкості руху трактора відповідно до умов ґрунту і інструкції виробника.
- Зони безпеки: встановлення заборонних зон навколо агрегату під час роботи; маркування місць підходу для сервісного персоналу; заборона перебування сторонніх осіб у радіусі дії летких уламків або викиду ґрунту.

4. Експлуатаційні процедури під час робіт

- Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ): захисні окуляри, рукавиці, спецодяг, захисне взуття; за необхідності — засоби захисту органів дихання.
- Моніторинг режимів: постійний контроль показників двигуна, навантаження трансмісії, температури редуктора і вібрації з реагуванням на відхилення (зниження швидкості, зупинка та інспекція).
- Дії при виявленні перешкод: негайне відключення ВВП, підняття агрегату, огляд робочої зони після повної зупинки ротора; заміна або виведення перешкоди лише при дотриманні процедур lockout-tagout.
- Заборона на роботу при несприятливих умовах: сильна вологість, гроза, видима нестабільність конструкції або втручання сторонніх у систему керування.

5. Технічне обслуговування і ремонт

- Плановість: регулярні техогляди згідно з регламентом виробника, запис у журнал технічного обслуговування, проведення стендових або польових випробувань після ремонту.
- Процедури безпечного ремонту: відключення джерел енергії (ВВП, гідравліка), фіксація піднятих частин, застосування стояків і підпірок, маркування виведеного з експлуатації обладнання.

- Використання оригінальних або сертифікованих запчастин; перевірка стану зносних елементів (ножі, підшипники, сальники) і їх своєчасна заміна.
- Навчання сервісного персоналу: методи виявлення дефектів, правила безпечного застосування інструментів, робота з гідравлікою та електрикою.

6. Система контролю і документування

- Впровадження системи реєстрації інцидентів і близьких до нещасних випадків з аналізом причин і коригувальними заходами.
- Ведення журналів інструктажів, техобслуговування, змін операторів і спостережень за роботою агрегатів.
- Інтеграція телеметрії й систем дистанційного моніторингу для раннього виявлення аномалій і оперативного реагування.

Міри безпеки при транспортних переїздах

Безпечне комплектування та експлуатація сільськогосподарських агрегатів є ключовим фактором збереження життя та здоров’я персоналу, забезпечення безперервності технологічного процесу й зниження економічних втрат від аварій. Наступні вимоги ґрунтуються на міжнародних стандартах безпеки машин, регіональних нормах і практичному досвіді польових випробувань.

1. Загальні принципи безпеки

- Дотримання технічної документації виробника агрегату та трактора; використання рекомендованих кріплень, шарнірів та елементів трансмісії.
- Проведення попередньої оцінки ризиків перед початком робіт із документуванням можливих небезпечних ситуацій і заходів щодо їх мінімізації.
- Забезпечення кваліфікованої підготовки персоналу: інструктаж, сертифікація операторів, регулярне оновлення знань з безпечних методів роботи.

2. Комплектування агрегатів

- Стандартизація деталей: застосування сертифікованих валів ВВП, карданних шарнірів із захисними кожухами, рекомендованих редукторів і запобіжних муфт.

- Захисні пристрої: монтаж кришок і кожухів над рухомими частинами, екранування різальних елементів при транспортуванні і зберіганні, установка захисних сіток і кожухів на відкидних панелях.
- Запобіжні муфти і механізми: обов’язкове застосування зрізних болтів, пружинних чи фрикційних муфт для захисту трансмісії при ударі об перешкоду.
- Електрообладнання і датчики: застосування захищених від пилу/вологи кабелів, реле від перевантажень, датчиків рівня масла, температури, вібрацій і навантаження з інтеграцією в систему оповіщення.

3. Підготовка до роботи

- Огляд агрегату: візуальна перевірка кріплень, стану ножів/молотків, підшипників, редуктора, гідравліки та ВВП; перевірка на наявність сторонніх предметів у робочій зоні.
- Налаштування параметрів: правильне регулювання глибини, кута атаки робочих органів, швидкості обертів ротора та швидкості руху трактора відповідно до умов ґрунту і інструкції виробника.
- Зони безпеки: встановлення заборонних зон навколо агрегату під час роботи; маркування місць підходу для сервісного персоналу; заборона перебування сторонніх осіб у радіусі дії летких уламків або викиду ґрунту.

4. Експлуатаційні процедури під час робіт

- Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ): захисні окуляри, рукавиці, спецодяг, захисне взуття; за необхідності — засоби захисту органів дихання.
- Моніторинг режимів: постійний контроль показників двигуна, навантаження трансмісії, температури редуктора і вібрації з реагуванням на відхилення (зниження швидкості, зупинка та інспекція).
- Дії при виявленні перешкод: негайне відключення ВВП, підняття агрегату, огляд робочої зони після повної зупинки ротора; заміна або виведення перешкоди лише при дотриманні процедур lockout-tagout.

- Заборона на роботу при несприятливих умовах: сильна вологість, гроза, видима нестабільність конструкції або втручання сторонніх у систему керування.

5. Технічне обслуговування і ремонт

- Плановість: регулярні техогляди згідно з регламентом виробника, запис у журнал технічного обслуговування, проведення стендових або польових випробувань після ремонту.
- Процедури безпечного ремонту: відключення джерел енергії (ВВП, гідравліка), фіксація піднятих частин, застосування стояків і підпірок, маркування виведеного з експлуатації обладнання.
- Використання оригінальних або сертифікованих запчастин; перевірка стану зносних елементів (ножі, підшипники, сальники) і їх своєчасна заміна.
- Навчання сервісного персоналу: методи виявлення дефектів, правила безпечного застосування інструментів, робота з гідравлікою та електрикою.

6. Система контролю і документування

- Впровадження системи реєстрації інцидентів і близьких до нещасних випадків з аналізом причин і коригувальними заходами.
- Ведення журналів інструктажів, техобслуговування, змін операторів і спостережень за роботою агрегатів.
- Інтеграція телеметрії й систем дистанційного моніторингу для раннього виявлення аномалій і оперативного реагування.

Вимоги безпеки під час роботи агрегатів на схилах

Робота сільськогосподарських агрегатів на схилах підвищує ризики перекидання, зсувів ґрунту, зриву зчеплення та втрати контролю над машиною. Наведені вимоги покликані мінімізувати небезпеки, гарантувати безпеку персоналу й зберегти техніку при виконанні польових робіт на уклонах.

1. Оцінка місцевості та планування робіт

- Огляд схилу: визначення крутизни (градієнт, % або градуси), структури ґрунту, наявності ерозійних борозен, кам’яних виступів і вологих ділянок.

- Межі допустимого уклону: керуватися технічними рекомендаціями виробника агрегату; загальна орієнтирна межа для більшості причіпних/навісних агрегатів — до 15°–20° (залежить від типу машини і стану ґрунту).
- Планування напрямку руху: переважно працювати поперек схилу (трансверсально) або по контуру за умов безпечного зчеплення; уникати руху безпосередньо вздовж стрімкого схилу вгору/донизу, якщо це можливо.

2. Підбір техніки та її підготовка

- Вибір агрегатів: пріоритет — машини з низьким центром тяжіння, широкою базою, можливістю регулювання ширини колії; трактори з передніми/задніми баластами для оптимізації розподілу маси.
- Гальмівні та трансмісійні системи: перевірка працездатності гальм, блокувань диференціалу й реверсу; наявність механічних або гідравлічних фіксаторів піднятих секцій.
- Шини і тиск: використання шин із агресивним малюнком протектора, можливість зниження тиску для збільшення площі контакту; контроль стану протектора й тиску перед виїздом.
- Закріплення робочих органів: жорстке фіксування відкидних частин, запобіжні ланцюги й замки; перевірка центру тяжіння агрегату в транспортному й робочому положеннях.

3. Операційні процедури під час роботи

- Швидкість і режими: обмеження швидкості, плавні маневри, уникання різких розворотів і гальмувань; використання пониженої передачі для стабільності.
- Напрямок руху: при роботі на крутих схилах рух поперек схилу дозволяє знизити ризик зриву зчеплення; при необхідності рух уздовж схилу — виконувати його під контролем і з застосуванням додаткового супроводу.
- Маневрування та розвороти: розвороти виконувати на ділянках з мінімальним ухилом; при неможливості — залучати допоміжну техніку або організовувати розворот із використанням зовнішньої буксирної опори.

- Уникання робіт після сильних опадів: відтермінувати операції на схилах до стабілізації ґрунту; підвищена вологість значно знижує зчеплення і підвищує ризик зриву.

4. Дії при небезпечних подіях

- При втраті зчеплення: негайне зниження швидкості, плавне гальмування коробкою передач (без блокування коліс), не робити різких поворотів; зупинитися на перпендикулярній до скату ділянці (якщо можливо).
- При загрозі перекидання: негайна зупинка двигуна, гальмування, фіксація агрегату; евакуація операторів у безпечну зону; організація підпірок або буксирування для стабілізації.
- При зсуві ґрунту: відхід на безпечну відстань, сповіщення відповідальних осіб, огляд ззовні з використанням методів дистанційної перевірки; при необхідності — залучення інженерних засобів для укріплення схилу.

5. Супровідні заходи та інфраструктура

- Використання підпірних планок, терасування або тимчасових укріплень ґрунту на потенційно небезпечних ділянках.
- Організація спостереження: наявність зовнішнього спостерігача/супроводжуючого при складних маневрах; забезпечення радіозв’язку між оператором і супроводом.
- Розмітка і огородження: встановлення попереджувальних знаків і маркування небезпечних зон для обмеження доступу сторонніх.

6. Навчання персоналу та регламенти підприємства

- Обов’язковий інструктаж щодо роботи на схилах, практичні тренінги з маневрування, зупинки й евакуації; періодичне оновлення знань.
- Регламенти вибору робіт на схилах: критерії допустимих ухилів, погодних умов і технічного стану обладнання; спеціальні check-list перед початком зміни.
- Документування інцидентів: ведення журналу робіт на схилах, аналіз близьких до нещасних випадків і коригування процедур.

Розділ 4. Розрахунок економічної ефективності

Розрахунки по оцінці економічної ефективності заміни серійної техніки модернізованим сільськогосподарським обладнанням проводили згідно стандартної методики

В результаті оптимізації були отримані графіки завантаження енергозасобів по термінам і видам виконуваних робіт, а також всі необхідні дані для аналіза економічної ефективності капітальних вкладень в комплекс ґрунтообробних машин. Техніко-економічні характеристики по базовому і модернізованому варіанту зведені в таблицю 4.1.

Оцінка ефективності капітальних вкладень, направлених на поповнення машинно-тракторного парку, проведена в відповідності з раніше обраною методикою.

При розрахунках показників ефективності використовувались дійсні на момент аналізу ціни на сільськогосподарську техніку і вироблену продукцію.

Таблиця 4.1 - Техніко-економічна характеристика експлуатації МТП.

Показник	Варіант		
	Модернізований, тис. грн.	Базовий, тис. грн.	Зміни, тис. грн.
Заробітна плата	248,4	250,1	-1,7
Витрати на ПММ	158,8	159,2	-0,4
Експлуатаційні витрати	5422	5463	-41
Капітальні вкладення в МТП	21931	22385	-444

Оцінку виконували для двох основних умов: з використанням власних вільних грошових коштів і з використанням позичкового капіталу.

Аналіз даних, представлених в цій таблиці, показує, що ефект від купівлі модернізованого сільськогосподарського обладнання склав у випадку фінансування за рахунок власних вільних грошових коштів підприємства 133,4 тис. грн. за весь період експлуатації (8 років). Внутрішня норма прибутковості IRR склала 37,6 % при дисконтному терміні окупності 3,1 роки. Це значить, що при ставці альтернативної прибутковості капіталу менше, ніж знайдене значення $IRR = 37{,}6\%$, проект буде ефективним. Використання запозиченого капіталу для цих цілей зменшує значення чистої теперішньої вартості проекту на 33,8 тис. грн.

Таблиця 4.2 - Результати розрахунку показників ефективності

Показники	Засоби	
	Власні	Запозичені
Чиста поточна вартість NPV, ти. грн.	133,4	99,6
Внутрішня норма прибутковості IRR, %	37,6	Не визначались
Термін окупності n_{ok}, років	3,1	Не визначались

Виконані розрахунки показують, що ефективними в заміну серійного агрегату на модернізований є ефективним, що дозволяє при наступних умовах кредитного фінансування, банківських ставок, альтернативної дохідності забезпечити окупність впровадження модернізованої конструкції за 3,1 роки.

Висновки

В Україні стан земельної обробки зазнає значних трансформацій під впливом екологічних викликів, ринкових обмежень і технологічного прогресу. З одного боку, національна наука має багаторічний фундамент: століття стаціонарних дослідів, напрацьовані агротехнічні рекомендації та відпрацьовані канали їх впровадження через дослідні станції й освітні заходи. З іншого — сучасні економічні кризи, зміни клімату та потреба у ресурсозбереженні змушують переглядати традиційні підходи до оранки та загалом інтенсивного плужного обробітку.

Науково-практичні пріоритети

- Розробка і впровадження адаптивних технологій обробітку, що поєднують мінімізацію операцій з підтримкою родючості (комбінації strip-till, поверхневого мульчування, локального внесення добрив).
- Створення і впровадження робочих органів і роторових систем з підвищеною енергоефективністю і довговічністю (леговані матеріали, наплавлення, модульні картриджі).
- Розвиток гнучких приводів: гідромеханічні та електрифіковані приводи, що дозволяють регулювати оберти та момент у реальному часі, знижують динамічні пуски й підвищують надійність агрегатів.
- Масштабування цифрових рішень для диференційованої обробки і моніторингу стану ґрунту, що дає змогу зменшувати собівартість і зберігати врожайність.

Економічно-соціальні аспекти

- Зменшення імпортної залежності вимагає цілеспрямованої політики: підтримки локального машинобудування, інвестицій у НДДКР, держ-програм модернізації парку з урахуванням екологічних критеріїв.
- Необхідність підвищення кваліфікації агрономів і операторів щодо сучасних методів обробітку, цифрових інструментів і агрономічного менеджменту.

Практичні результати і прикладні висновки

- Зменшення стартових динамічних навантажень на робочі органи фрез досягається вдосконаленням приводу; порівняльні дослідження показують переваги гідромеханічних трансмісій над механічними приводами за рівнем динамічного навантаження й надійністю в робочих режимах.
- Модернізація фрезових агрегатів (наприклад, фрези КФГ-3,6) шляхом оптимізації приводу і застосування зносостійких робочих органів дозволяє знизити енерговитрати на старті, продовжити ресурс деталей та підвищити експлуатаційну надійність агрегата.
- Комбінування сучасних машин з агрономічними заходами (покривні культури, точкове внесення добрив, контроль вологості) забезпечує синергетичний ефект: зниження ерозії, накопичення органічної речовини і стабілізацію врожайності при менших енерговитратах.

Рекомендації для практики й політики

- Формувати державні й галузеві програми підтримки оновлення машинно-тракторного парку з пріоритетом машин з енергозберігаючими приводами та можливістю диференційованої обробки.
- Інвестувати в локальні НДДКР і кооперацію виробників із університетами для розробки конкурентоздатних вітчизняних конструкцій нового покоління.
- Масштабувати навчальні програми з мінімального й точного обробітку ґрунту, цифрових технологій і безпечної експлуатації техніки.
- Впроваджувати стандарти оцінки впливу технологій на ґрунтове середовище (карбонова інвентаризація, індекси структури ґрунту, ерозійні ризики) як частину прийняття рішень на рівні господарства.

Список використаної літератури

1. В. Засуха. Забезпечення агрофірм сучасною ґрунтообробною технікою та ефективність її використання. Український науково-дослідний інститут продуктивності агропромислового комплексу [Електронний ресурс]: стаття / В. Засуха // Режим доступу до статті.: http://www.galmash.com/technol.php?ln=ukr.
2. В. Пивовар Вітчизняна техніка для основного обробітку ґрунту [Електронний ресурс]: стаття / В. Пивовар // Режим доступу до статті.:
3. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві / В.Ю. Ільченко, П.І. Карасьов, А.С. Лімот та ін., // За ред. В.Ю.Зінченка. – К.: Урожай, 1993. – 288 с.
4. Ветохін В.І. Системні та фізико-хімічні основи проектування розпушувачів ґрунту: :Автореф. дис. на здобуття ступеня канд. тех. наук: 05.05.11 “Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва” / В.І. Ветохін. Глеваха, - 2010. С. 12-15.
5. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: Навчальний посібник / За ред. Д.Г. Войтюк, С.С. Яцун, Довжик М.Я. // Суми. Університетська книга – 2008. – 450 С.
6. Дипломне та курсове проектування / Д. Г. Войтюк, О. В. Дацишин, В. С. Колісник та ін.; За ред. О. В. Дацишина. – К.: Урожай, 1996. – 192 с.
7. Сільськогосподарські машини. Курсові роботи: Навчальне видання до виконання курсових робіт з дисципліни “Сільськогосподарські та меліоративні машини” для студентів аграрних вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації зі спеціальності “Механізація сільського господарства” / Л. В. Аніскевич, Д. Г. Войтюк, М. С. Волянський та ін.; за ред. О. М. Погорільця. – К.: Видавничий центр НАУ, 2006. – 134 с.
8. Гідропривід сільськогосподарської техніки: Навчальне видання / О.М. Погорілець, М.С. Волянський, В.Д. Войтюк. СІ. Иастушенко; За ред. О.М. Погорільця. — К.: Вища освіто, 200-4. — 368 с: іл.
9. Луковкін А.В. охорона праці. – К.: Колос. 1986. – 176 с.
10. Охорона праці в сільському господарстві [Електронний ресурс]: Режим доступу вільний: http://ipal.at.ua/publ/okhorona_praci/mozhlivi
11. Лехман С. Д., Рубльов В. І., Рябцев Б. І. Запобігання травматизму у сільському господарстві.- К.: Урожай, 1993.- 270 с.
12. Лехман С. Д. та ін. Довідник з охорони праці в сільському господарстві.- К.: Урожай, 1990.- 400 с.