

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

НОВАК АРТУР ЮРІЙОВИЧ

УДК 631.31

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО
ПРОЦЕСУ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ З МОДЕРНІЗАЦІЄЮ
ҐРУНТООБРОБНОГО ЗНАРЯДДЯ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Новак А.Ю.

Керівник роботи

Грудовий Р.С.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Новак Артур Юрійович. Обґрунтування параметрів технологічного процесу обробітку ґрунту з модернізацією ґрунтообробного знаряддя. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

У результаті дослідження обґрунтовано технологічні параметри передпосівного обробітку ґрунту за допомогою агрегату в складі трактора МТЗ-80 та роторної машини АПО-4,0, що дозволяє поєднати високу продуктивність із збереженням агрофізичних властивостей ґрунту. Розрахунки показали, що за глибини обробітку 8–10 см і швидкості руху трактора 6–8 км/год досягається дрібнозерниста структура ґрунту з середнім розміром грудки 15–20 мм та рівномірним розподілом поживних решток.

Система регулювання кута атаки дозволяє утримувати заглиблення в межах ± 1 см навіть при зміні умов вологості та типу ґрунту. Інтеграція агрегату з базовим трактором МТЗ-80 забезпечує простоту монтажу та зниження капіталовкладень у модернізацію машинного парку. Аналіз підтвердив зниження питомих витрат палива на 10–12 % і підвищення продуктивності до 3 га/год за рахунок скорочення кількості проходів. Оптимізація тиску в шинах і розподілу навантаження сприяє збереженню структури нижніх шарів ґрунту та зменшенню ризику ущільнення. Запропоновані рекомендації до налаштування агрегату МТЗ-80 + АПО-4,0 є практично застосовними в умовах сучасних фермерських господарств і можуть бути впроваджені для підвищення рентабельності та сталого використання ґрунтових ресурсів.

Ключові слова: обробітку ґрунту, модернізацією, передпосівний обробіток, процес.

ANNOTATION

Novak Artur Yurievich. Justification of the parameters of the technological process of soil cultivation with the modernization of soil cultivation implements. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The study substantiated the technological parameters of pre-sowing soil cultivation using a unit consisting of an MT3-80 tractor and an АПО-4,0 rotary machine, which allows combining high productivity with the preservation of the agrophysical properties of the soil. Calculations showed that at a cultivation depth of 8–10 cm and a tractor speed of 6–8 km/h, a fine-grained soil structure with an average clod size of 15–20 mm and uniform distribution of crop residues is achieved.

The angle of attack control system allows the depth to be maintained within ± 1 cm even when moisture conditions and soil type change. Integration of the unit with the MT3-80 base tractor ensures ease of installation and reduced capital investment in fleet modernization. The analysis confirmed a 10–12% reduction in specific fuel consumption and an increase in productivity to 3 ha/hour due to a reduction in the number of passes. Optimizing tire pressure and load distribution helps preserve the structure of the lower soil layers and reduces the risk of compaction. The proposed recommendations for configuring the MT3-80 + АПО-4,0 unit are practical for modern farms and can be implemented to increase profitability and sustainable use of soil resources.

Keywords: soil cultivation, modernization, pre-sowing cultivation, process.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ҐРУНТООБРОБНОЇ ТЕХНІК....	9
РОЗДІЛ 2. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ.....	22
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ.....	28
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	34
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	35

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Актуальність дослідження визначається сучасними економічними умовами аграрного виробництва, коли зростання вартості палива й енергоносіїв прямо впливає на собівартість технологічних операцій. В умовах обмеженості ресурсів та збільшення витрат на експлуатацію машинно-тракторного парку виникає потреба у підвищенні енергоефективності передпосівного обробітку ґрунту. Оптимізація параметрів роботи агрегату в складі трактора МТЗ-80 та роторної машини АПО-4,0 дозволяє зменшити питомі витрати палива й скоротити час роботи, що безпосередньо впливає на економічну рентабельність сільськогосподарських операцій. Дослідження цих аспектів є надзвичайно важливим для фермерських господарств різного масштабу, які прагнуть знизити експлуатаційні витрати без втрати якості обробітку.

Підвищений інтерес викликає збереження агрофізичних властивостей ґрунту та його родючості у довгостроковій перспективі. Роторна технологія з модернізованими робочими органами з карбідним покриттям сприяє більш дбайливому обробленню верхнього шару ґрунту, запобігає ущільненню та зберігає структуру, необхідну для оптимального водопроникнення й аерації. Врахування параметрів заглиблення, частоти обертів ротора й кута атаки лопаток дозволяє мінімізувати ерозійні процеси та втрати органічної речовини. Таким чином, дослідження є вкрай актуальним з екологічної точки зору та відповідає екологічним нормам і вимогам до сталого використання земельних ресурсів.

Не менш важливою є технологічна адаптація існуючих машинно-тракторних агрегатів до сучасних вимог точного землеробства. Трактор МТЗ-80 у поєднанні з роторною машиною АПО-4,0 становить базову та поширену конфігурацію в агропромисловому комплексі України, проте без модернізації робочих органів ця система не забезпечує належного рівня продуктивності та якості обробітку. Дослідження оптимальних параметрів такої

модернізації сприятиме розробці рекомендацій, які легко інтегруються в існуючий парк техніки.

Практична значущість роботи полягає в обґрунтуванні конкретних технологічних рішень, що спрямовані на підвищення продуктивності, зниження витрат та збереження родючості ґрунту. Отримані результати дозволять виробити методичні рекомендації для агровиробників щодо налаштування агрегату МТЗ-80 + АПО-4,0 залежно від типу ґрунту, вологості та обсягу пожнивних рештків. Це, в свою чергу, сприятиме рівномірності посіву, підвищенню схожості насіння та збільшенню врожайності культур. Отже, тема кваліфікаційної роботи є своєчасною та актуальною для вирішення як економічних, так і екологічних завдань аграрного виробництва.

Мета роботи: обґрунтувати оптимальні технологічні параметри передпосівного обробітку ґрунту при застосуванні агрегату в складі трактора МТЗ-80 та модернізованої роторної машини АПО-4,0 з метою підвищення якості обробітку, енергоефективності та збереження агрофізичних властивостей ґрунту.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі **завдання:**

- провести аналіз існуючих технологій передпосівного обробітку ґрунту та сучасних підходів до модернізації роторних знарядь;
- розробити конструкційні зміни робочих органів ротора АПО-4,0 (карбідне покриття, регулювання кута атаки, опорні катки) для покращення зносостійкості та адаптивності до різних ґрунтових умов;
- визначити вплив глибини обробітку, частоти обертання ротора та швидкості руху трактора МТЗ-80 на дрібнозернистість структури ґрунту та однорідність заглиблення.

Об'єктом дослідження є технологічний процес передпосівного обробітку ґрунту в аграрних господарствах на базі агрегату в складі трактора МТЗ-80 та роторної ґрунтообробної машини АПО-4,0.

Предметом дослідження є сукупність параметрів цього технологічного процесу – глибина обробітку, швидкість руху агрегату, частота обертів ротора, кут атаки лопаток і конструктивні особливості модернізованих робочих органів – та їхній вплив на якість обробітку, енергоефективність і збереження агрофізичних властивостей ґрунту.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Новак А.Ю.** Комплекс машин для основного обробітку ґрунту в технологіях органічного виробництва. Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» з нагоди 30-річчя започаткування підготовки ОС «Бакалавр» за спеціальністю «Агроінженерія» 11 квітня 2025 року м. Житомир / МОН України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Видавничий центр ЖАТФК України, 2025. С. 52-54.

2. **Новак Артур.** Дослідження процесу підрізання та підйому ґрунту робочими органами ґрунтообробної установки. Інновації в агропромисловому комплексі, машинобудуванні та транспорті. Матеріали доповідей. Національний університет водного господарства та природокористування, 9-10 квітня 2025 року Дослідження процесу підрізання та підйому ґрунту робочими органами ґрунтообробної установки. С. 92-95.

Практичне значення одержаних результатів. Практичні результати дослідження можуть бути безпосередньо застосовані в технологічних процесах агровиробництва при агрегуванні трактора МТЗ-80 із роторною машиною АПО-4,0, що забезпечує суттєве зниження питомих витрат палива і скорочення загального часу обробітку за рахунок оптимізації глибини, частоти обертів ротора та швидкості руху. Запропонована система регулювання кута атаки дозволяє оперативно адаптувати агрегат до змінних умов вологості та типів ґрунту без значних капіталовкладень і демонтажу, що підвищує універсальність і економічну ефективність машинно-тракторного парку. Завдяки оптимальному розподілу тиску на поверхню поля зберігаються агрофізичні властивості ґрунту,

у тому числі пористість і структура, зменшується ризик ущільнення нижніх шарів, що в сукупності сприяє сталому розвитку господарств та раціональному використанню ґрунтових ресурсів.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 21 найменування. Загальний обсяг роботи становить 36 сторінок комп'ютерного тексту, містить 6 рисунків, 1 таблиця та 1 додаток.

РОЗДІЛ 1

СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ҐРУНТООБРОБНОЇ ТЕХНІКИ

Нині світові тенденції розвитку ґрунтообробної техніки формуються під впливом низки економічних, екологічних та технологічних факторів. Зростання цін на енергоносії змушує виробників і фермерів шукати більш енергоефективні рішення для обробітку ґрунту. Водночас посилення вимог до збереження родючості та структури ґрунту провокує перехід до мінімального та нульового обробітку. Розвиток цифрових технологій відкриває можливості для впровадження систем прецизійного землеробства й автоматизованих платформ. Крім того, зростання масштабів агровиробництва стимулює розробку високопродуктивних агрегатів, здатних працювати у складних умовах великих полів. Одночасно з цим зростає попит на модульні та універсальні машини, які можна швидко адаптувати під різні операції. Усе це вимагає від інженерів удосконалювати конструкційні матеріали, впроваджувати інтелектуальні системи управління та вдосконалювати ергономіку робочих місць операторів.

Консерваційні підходи до обробітку ґрунту, зокрема мінімальний і нульовий обробіток, стали ключовими світовими тенденціями за останні роки. Вони дозволяють значно знизити ерозію та втрати органічної речовини, а також підтримати мікробіологічну активність ґрунтів. Для реалізації таких підходів розробляються спеціальні секції із зносостійких матеріалів, котрі здатні проникати крізь рослинні рештки. Високопродуктивні дискові котки та стрічкові культиватори адаптовані для роботи в умовах багатої на пожнивні залишки поверхні. Розвиток екосейверів дозволяє поєднати рихлювання ґрунту із внесенням добрив у єдиному проході. Одночасно значну увагу приділяють оптимізації вантаження ґрунту та зниженню питомого тиску, аби не ущільнювати нижні шари. Такі рішення набувають поширення як у великих агрохолдингах, так і серед дрібних фермерських господарств [5].

Системи нульового обробітку ґрунту (No-till) продовжують набирати популярності, особливо в Північній та Південній Америці. За оцінками

фахівців, їхня частка у структурі технологій землеробства зростає майже на 20 % за останні п'ять років. Центральним компонентом є агресивні стрілочасті лапи, які розрізають ґрунт без попереднього глибокого фрезерування. Такі лапи оснащують пружинними системами для компенсації нерівностей поля. Крім того, використовуються спеціальні колеса-загортачі для оптимального зворотного закриття борозни. Інтеграція GPS-навігації допомагає точно утримувати курс під час роботи за густих пожнивних залишків. Це дозволяє мінімізувати пропуски та збільшити якість роботи навіть на нерівних ділянках. Водночас до No-till агрегатів додають модулі для внесення гербіцидів і рідких добрив, що забезпечує комплексну підготовку ґрунту [6].



Рис. 1.1. Агрегат для системи No-till [3].

Смуговий обробіток (Strip-till) виступає як компроміс між традиційним і нульовим методами. Цей підхід передбачає обробіток ґрунту лише в смугах між рядами насіння, що дозволяє заощадити до 60 % енергії порівняно з повним оранкою. Інновації в конструкції смугових культиваторів передбачають регульовані ширину й глибину обробки для різних культур. Останні моделі комплектуються датчиками вологості ґрунту, що дозволяє коригувати глибину в залежності від фактичних умов. Завдяки GPS та ISOBUS-сумісності оператор може змінювати параметри роботи прямо з кабіни трактора. Крім того,

виробники розробляють смугові агрегати з можливістю одночасного внесення рідких і гранульованих добрив [7].



Рис. 1.2. Посіви за технологією No-till.

Це скорочує кількість проходів і тим самим знижує ущільнення поверхневого шару. Функція автоматичного підйому фрези на розворотах підвищує продуктивність та знижує знос обладнання [4].

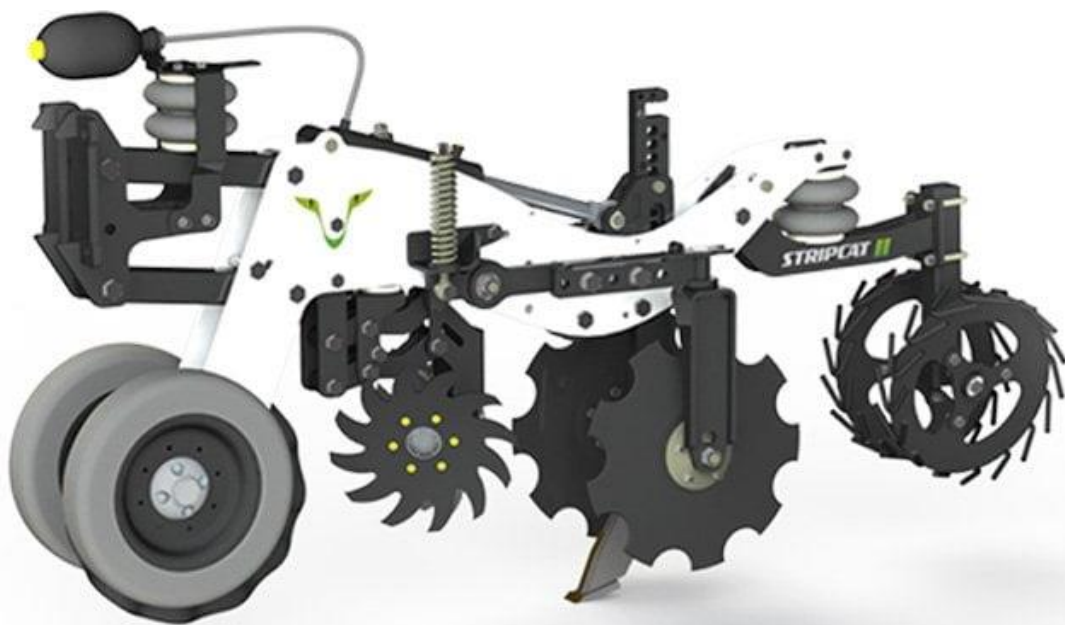


Рис. 1.3. Будова секції по технології Strip-till.

Вертикальний обробіток ґрунту набуває популярності в регіонах із високим рівнем ущільнення після важких попередників. Вертикальні диски з V-подібним розташуванням здатні розрізати ущільнені шари й створювати дрібнозернисту структуру. Інженерні рішення останнього покоління включають незалежне демпфування кожного диска для рівномірного контакту з нерівностями. Якщо раніше вертикальні культиватори могли працювати лише на поверхневих шарах, то зараз вони оснащені опційними лапами для заглиблення до 30 см. Розвиток гідравлічних систем дозволяє змінювати кут атаки дисків на ходу. Це підвищує якість обробітку без ручного втручання. Водночас дизайн рами оптимізований для роботи в умовах великих кореневих рештків кукурудзи та соняшнику [9].



Рис. 1.4. Агрегат для вертикального обробітку ґрунту.

Глибокий обробіток, зокрема субсоїлінг і глибока рихлювання, стає невід’ємною частиною технологій відновлення щільних ґрунтів. Сучасні субсоїлери оснащені інтелектуальними системами контролю глибини під керуванням GPS, що дозволяє підтримувати задані параметри з точністю до 2 см. Важливим трендом є розробка змінних лап із покриттям на основі карбиду титану для зниження зношуваності. Паралельно з цим виробники впроваджують датчики сили тяги для моніторингу енергоспоживання та автоматичного коригування налаштувань. Нові конструкції рами передбачають розвантажувальні елементи, що знижують вагове навантаження на трактор.

Забезпечується можливість одночасного внесення добрив у глибокому шарі, що підвищує ефективність живлення кореневої системи. Усе це сприяє відновленню пористості, водопроникності та аерації ґрунту [5].

Інтеграція технологій прецизійного землеробства в ґрунтообробну техніку стає стандартом для провідних агрохолдингів. GPS/GNSS-навігація забезпечує точність проходів до ± 2 см, що значно знижує накладення на поворотах. Системи автоматичного паралельного водіння (auto-steer) дозволяють оператору відпочивати під час тривалих змін, підвищуючи безпеку та продуктивність. Використання ISOBUS відкриває можливості для уніфікації управління різними агрегатами з єдиного терміналу. Окрім цього, передові машини оснащуються LiDAR-датчиками, які аналізують рельєф поля та коригують глибину обробітку. Автоматичне налаштування висоти підтримуючих коліс забезпечує стабільність роботи незалежно від нерівностей. Дані про стан ґрунту в режимі реального часу інтегруються в хмарні платформи для подальшого аналізу й оптимізації технологічних карт [7].

Сенсорні системи аналізу ґрунту та автоматичного коригування параметрів обробітку набувають популярності серед інноваційних виробників. Вбудовані сенсори вологості й щільності ґрунту дозволяють змінювати тиск на лапи та глибину заглиблення залежно від умов. Сучасні системи працюють у зв'язці з планшетом оператора, де відображаються карти вологомірності та щільності в реальному часі. Деякі моделі агрегатів оснащені спектральними датчиками для оцінки органічного вмісту та вмісту азоту. Це дозволяє одночасно проводити передпосівний аналіз і корекцію параметрів роботи. Інтеграція зі смарт-додатками дає змогу зберігати історію проходів, генерувати звіти та порівнювати результати за сезонами. Така аналітика сприяє прийняттю обґрунтованих рішень щодо адаптації технології під культурооборот [6].

Розвиток цифрових двійників і віртуального прототипування забезпечує новий рівень удосконалення ґрунтообробної техніки. Інженери використовують 3D-моделі машин для моделювання навантажень і зношення деталей ще на етапі проєктування. Це скорочує час випробувань у полі та знижує вартість

експериментальних зразків. Цифрові двійники агрегатів інтегрують дані з телеметричних систем, що дозволяє відстежувати фактичну експлуатацію в реальному часі. На основі отриманої інформації впроваджуються корективи до конструкції або програмного забезпечення управління. Окрім того, виробники створюють віртуальні тренажери для підготовки операторів без ризику пошкодження обладнання. У перспективі такі рішення сприятимуть розвитку дистанційного сервісного обслуговування та оновлення ПЗ “по повітрю”.

Автономні ґрунтообробні платформи – одна з найперспективніших тенденцій у світі. Роботизовані агрегати без кабіни оператора здатні працювати 24/7 із застосуванням сонячних панелей для підтримки живлення. Вони оснащені системами комп’ютерного зору, які розпізнають перешкоди й погодні умови в реальному часі. Завдяки штучному інтелекту робот-обробник самостійно формує оптимальний маршрут і коригує глибину заглиблення. Інша група рішень передбачає використання дронів для попереднього картографування полів та передачі даних роботам. Вже зараз декілька стартапів тестують роботизовані плуги й культиватори у південних регіонах Європи. Головною перешкодою все ще залишається висока вартість і складність сервісного обслуговування [5].



Рис. 1.5. Роботизована платформа для обробітку ґрунту.

Зростає інтерес до електрифікації ґрунтообробних машин, зокрема впровадження гібридних та повністю електричних тракторів. Електродвигуни забезпечують миттєвий крутний момент, що підвищує ефективність роботи на низьких обертах. Водночас відсутність викидів під час роботи робить електричні машини екологічно безпечнішими для довкілля. Проте обмежена ємність акумуляторів і вага батарей ставлять виклики перед конструкторами. Для вирішення проблеми розробляються швидкозамінні модулі акумуляторів та системи рекуперації енергії під час гальмування. Перші комерційні зразки вже тестуються в закритих господарствах Європи та Північної Америки. Очікується, що до кінця десятиліття частка електрифікованих тракторів у загальному парку сільгоспмашин сягне 5–10 % [9].

Особливу увагу приділяють застосуванню альтернативних палив, зокрема водню та біоетанолу, у двигунах ґрунтообробної техніки. Водневі двигуни або паливні елементи виробляють лише водяну пару, що значно зменшує викиди CO₂. Біоетанол дає змогу використовувати наявну інфраструктуру дизельних тракторів із мінімальними змінами конструкції. Пілотні проєкти з використанням суміші дизель-водень уже реалізуються в Австралії та на півдні США. Розвиток локальних біогазових установок дозволяє виробляти біометан із аграрних відходів для заправки техніки безпосередньо в полі. Такі рішення вимагають адаптації паливних систем та підвищення корозійної стійкості деталей. Одночасно з цим ведуться дослідження щодо використання синтетичних видів палива, отриманих із CO₂ і водню [5].

Малі та середні фермерські господарства докладають зусиль до адаптації ґрунтообробних агрегатів до обмежених площ і бюджету. Всесвітня організація продовольства (FAO) заохочує розвиток дрібноагрегатних рішень, які дозволяють виконувати операції в смугу 1,5–3 м. Такі агрегати покладені на малопотужні трактори або мотоблоки, що значно дешевші у придбанні та обслуговуванні. Інженери розробляють складні складані рами, які для транспортування звужуються до допустимої ширини доріг. Крім цього, міні-ґрунтообробні машини оснащують простими механічними регуляторами

глибини та тиску, що спрощує експлуатацію. Паралельно з цим поширюються послуги кооперативного використання техніки, коли невеликі господарства об'єднуються для спільних закупівель. Це дозволяє отримати доступ до передових агрегатів без великих капіталовкладень [5].

Кліматичні зміни суттєво впливають на вибір технологій землеробства й ґрунтообробної техніки. Часті посухи вимагають пристроїв для глибокого потрійного розпушення, які утримують вологу в нижніх шарах. З іншого боку, збільшення опадів у північних широтах стимулює появу агрегатів із покращеною дренажною здатністю — комбінованими фрезами й дренажними лапами. У регіонах із високим ризиком ерозії розвиваються машини з опціями створення дрібнофракційних дернів та мульчування поверхні. Інтеграція прогнозних моделей точного землеробства дозволяє планувати обробіток із урахуванням майбутніх метеоумов. Агрономи й інженери спільно розробляють адаптивні стратегії, які поєднують традиційні методи з цифровими рішеннями. Все це спрямовано на підвищення стійкості агровиробництва в умовах мінливого клімату [3].

Регіональні відмінності у впровадженні інноваційних технологій суттєво впливають на попит і розвиток ґрунтообробних машин. У Європі основний акцент робиться на екологічність і енергоефективність, що зумовило появу компактних агрегатів із низьким питомим тиском на ґрунт. Навпаки, у Північній Америці популярні великі універсальні машини, здатні обробляти до 20 га за годину. Азійські країни активно імпортують техніку, але водночас розвивають внутрішні виробництва в сегменті малопотужних тракторів. У Латинській Америці через масштабні монокультурні плантації зростає попит на агророботизовані системи для точного внесення добрив і засобів захисту. Африка орієнтується на прості, дешеві, але надійні моделі із низькими вимогами до обслуговування. Такі регіональні тренди формують глобальний ландшафт виробництва й експорту ґрунтообробної техніки [5].

Значну роль відіграє розвиток матеріалознавства та застосування композитних матеріалів у конструкціях агрегатів. Нові сплави сталі з високою

стійкістю до абразивного зносу збільшують ресурс робочих органів у 2–3 рази. Композитні елементи дозволяють знизити масу конструкції на 15–20 % без втрати жорсткості. Це дає змогу зменшити питомий тиск на ґрунт і скоротити енергоспоживання. Крім того, з'являються самозмащувальні полімерні підшипники, які знижують потребу в сервісному обслуговуванні. Виробники випробовують покриття на основі наноматеріалів для підвищення корозійної та зносостійкої стійкості. Інтеграція надміцних матеріалів стимулює розробку легких рами з оптимізованою геометрією. Все це робить сучасні ґрунтообробні агрегати більш довговічними та економічними [3].

3D-друк починає застосовуватися для виготовлення складних компонентів ґрунтообробної техніки, зокрема носіїв датчиків та захисних кожухів. Адитивні технології дають змогу створювати складні внутрішні канали для проведення рідин та зменшувати кількість зварних швів. Перші лабораторні зразки шестерень із порошкової сталі демонструють високу піско-та зносостійкість. У перспективі 3D-друк може стати інструментом для швидкого прототипування нових типів лап і ковзанок. Це прискорить цикл розробки й дозволить оперативно вносити зміни на основі польових випробувань. Окрім того, технологія сприяє локалізації виробництва дрібних серій і запчастин для віддалених регіонів. Зниження логістичних витрат підвищить загальну доступність інноваційної техніки для фермерів [5].

Модульність ґрунтообробних агрегатів набуває все більшого поширення, адже дозволяє фермеру самостійно конфігурувати машину під різні потреби. Заміна окремих блоків — дискової секції, лапи чи добривного шнека – займає лічені хвилини. Це забезпечує більшу гнучкість при зміні культур або технологічних операцій. Такі системи комплектуються уніфікованими кріпленнями та електричними з'єднувачами за стандартом ISOBUS. Виробники пропонують набори адаптерів, які дозволяють використовувати модулі різних брендів на одній базовій рамі. Застосування модульної платформи знижує вартість сервісу та запасних частин. Водночас це сприяє розвитку сервісних партнерських мереж і локальних майстерень [3].

Інтернет речей (IoT) та телематика активно інтегруються в ґрунтообробну техніку, створюючи можливості для віддаленого моніторингу та управління. Агрегати оснащують GSM-модулями, які передають дані про положення, витрату палива та стан вузлів у хмару. Фермер отримує змогу переглядати статистику на смартфоні або комп'ютері в режимі реального часу. Системи аналізують вібрації та температуру підшипників, що дозволяє прогнозувати ремонт до виникнення серйозних несправностей. Оператори можуть змінювати налаштування агрегатів дистанційно та отримувати повідомлення про критичні події. Це підвищує uptime техніки та знижує непланові простої. Поступове розширення IoT-екосистеми формує нові бізнес-моделі обслуговування “машина як сервіс” [5].

Прогрес у галузі прогнозової аналітики сприяє підвищенню точності технічного обслуговування ґрунтообробних машин. Великий обсяг телеметричних даних обробляється алгоритмами машинного навчання для виявлення аномалій. На основі історії роботи агрегату система генерує рекомендації щодо оптимальних інтервалів техогляду та заміни зношуваних деталей. Це дозволяє знизити загальні витрати на обслуговування до 15–20 % і збільшити строк служби машин. У майбутньому передбачається інтеграція таких алгоритмів із системами електронного документообігу фермерських господарств. Це дасть змогу автоматично формувати замовлення на запчастини й послуги. Віддалені діагностичні платформи вже запроваджують у деяких європейських країнах [3].

Ергономіка та комфорт оператора залишаються важливими факторами при розробці нових тракторів і ґрунтообробних агрегатів. Сучасні кабіни оснащуються мультиконтурними кріслами з автоматичним регулюванням жорсткості, що знижує втомлюваність під час тривалих змін. Панелі керування побудовані за принципом “одного дотику” із сенсорними екранами, де відображаються всі ключові параметри. Системи кондиціонування та фільтрації повітря гарантують комфорт у будь-яку пору року. Крім того, важливу роль відіграють шумоізоляція та опції зменшення вібрацій на робочому місці. Деякі

моделі мають функцію голосового управління для базових операцій. Це дозволяє оператору зосередитись на процесі і підвищити безпеку [1-4].

Безпека машин і операторів є пріоритетом при впровадженні нових стандартів ґрунтообробної техніки. Виробники встановлюють датчики близькості для попередження зіткнень із перешкодами. Убудовані камери кругового огляду дають змогу оцінювати ситуацію навколо машини за будь-яких умов видимості. Системи екстреного гальмування та автоматичні блокування запобігають неконтрольованому руху агрегата. Для запобігання несанкціонованому запуску застосовують біометричну ідентифікацію оператора. Підготовкові програми навчання з віртуальною реальністю дозволяють відпрацювати критичні ситуації без ризику для техніки та людей. Усі ці рішення формують сучасні вимоги до сертифікації сільгоспмашин [1-8].

Екологічні регламенти, що посилюються в ЄС та Північній Америці, впливають на конструкцію ґрунтообробних машин. Вимоги щодо зниження рівня викидів CO₂ та шуму під час роботи сприяють розвитку гібридних систем і електромоторів. У Європі діють директиви щодо допустимого ущільнення ґрунту, що стимулює використання технологій мінімального обробітку. Водночас сертифікаційні тести з шумового забруднення змушують виробників впроваджувати покращену шумоізоляцію й тихіші двигуни. Заборона деяких видів пестицидів змушує комбінувати обробіток із низькодозованим точковим внесенням ЗЗР. Все це веде до комплексних рішень, які поєднують ґрунтообробку з внесенням агрохімікатів та мульчуванням [2].

У Європейському союзі активну підтримку отримують проекти із вдосконалення малогабаритної техніки для органічного землеробства. Спеціальні серії ґрунтообробних агрегатів розробляються з урахуванням вимог органічного сертифікату — без застосування гідравлічних рідин на основі нафтового походження. Контроль за перехресним забрудненням здійснюється через системи прямої фіксації залишків ЗЗР на обладнанні. Для покращення структури органічної мульчі створюють мульчувальні насадки, що дозволяють подрібнювати рослинні рештки без втрати корисної органіки. Аграрії можуть

обирати між різними типами ножів і ремнями для мінімізації подрібнення до однорідної фракції. Це сприяє рівномірному розподілу мульчі та збереженню вологи [3-7].

У Північній Америці продовжують домінувати середньо- та великопрофільні агрегати з високою продуктивністю. Виробники як John Deere, Case IH та New Holland розвивають лінійки дискових борін і комбінованих культиваторів, здатних обробляти понад 15 м ширини захвату. Високопродуктивні багатодискові секції з гідравлічним захистом секцій гарантують довготривалу роботу без зупинок. Завдяки інтеграції з платформами John Deere Operations Center фермери отримують детальні аналітичні звіти та поради щодо оптимізації. Останні моделі оснащені потужними LED-фарами й камерами з нічним баченням. Розробники також експериментують із гібридними силовими установками для компенсації пікових навантажень [3-7].

У країнах Азійсько-Тихоокеанського регіону спостерігається швидке зростання локального виробництва ґрунтообробної техніки. Індія та Китай активно інвестують у створення бюджетних агрегатів із мінімальною кількістю електроніки. Водночас спільні проєкти з європейськими компаніями дозволяють інтегрувати системи прецизійного землеробства у доступніші серії. У Японії та Південній Кореї зосереджені на розробці роботизованих платформ шириною до 1,5 м для рисових полів. Ці машини здатні пересуватися між рядками із високою точністю, вносячи добрива та гербіциди в задані смуги. Деякі моделі оснащені теплолокаційними камерами для виявлення бур'янів у ранніх стадіях. Це дає змогу застосовувати точкове обприскування та знижувати обсяг витратних матеріалів [12-15].

У Латинській Америці оливокультурні та соєві плантації потребують спеціалізованих ґрунтообробних рішень. Великі монокультурні господарства віддають перевагу комбінованим агрегатам, які поєднують дискову борону та ґрунтову фрезу в одному проході. Ці моделі здатні працювати на глибину до 25 см із швидкістю до 12 км/год. Завдяки широкому діапазону регулювань

оператор може швидко адаптувати машину до різних умов поля в одному господарстві. Індивідуальні рішення від місцевих виробників пропонують посилену конструкцію для роботи в кам'янистих ґрунтах Анд. У прибережних районах Бразилії та Аргентини тестуються агрегати з антикорозійним покриттям через вплив підвищеної вологості [14].

В Африці ключовим викликом залишається забезпечення доступності ґрунтообробної техніки для малих фермерів. Міжнародні організації та неурядові фонди фінансують програми лізингу та безвідсоткових кредитів на придбання базових моделей. Такі агрегати мають просту конструкцію, мінімум електроніки та підходять для обробітки важких червонофертових ґрунтів. Розробляються мобільні майстерні для обслуговування техніки на віддалених ділянках. Спеціальні навчальні програми навчають фермерів самостійному ремонту й оптимізації технології обробітки. Технологічні стартапи тестують сонячні електростанції для зарядки акумуляторних тракторів у віддалених районах. Це створює умови для поступового переходу до більш сучасних рішень [1-3].

Таким чином, світові тенденції розвитку ґрунтообробної техніки формуються на перетині екологічних, економічних та технологічних викликів. Переорієнтація на мінімальний і нульовий обробіток сприяє збереженню родючості ґрунтів та зниженню витрат. Інтеграція прецизійних технологій і сенсорних систем дозволяє оптимізувати операції й знизити енерговитрати. Розвиток автономних та електрифікованих платформ відкриває нові можливості для підвищення продуктивності та зменшення викидів. Використання сучасних матеріалів і адитивних технологій підвищує надійність і довговічність машин. Регіональні особливості формують різні вектори інновацій, але загальна тенденція – рух до більш стійких, ресурсоефективних і технологічно досконалих рішень. Перспектива полягає в подальшій цифровізації й автоматизації, що дозволить адаптуватися до змін клімату та потреб аграрного сектору в усьому світі [1-6].

РОЗДІЛ 2

ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ГРУНТУ

Передпосівний обробіток ґрунту є ключовим етапом технологічного циклу вирощування сільськогосподарських культур, що визначає якість насінневого ложа та оптимальні умови проростання насіння. Агрегат у складі трактора МТЗ-80 та роторної ґрунтообробної машини АПО-4,0 поєднує потужність і продуктивність, дозволяючи рівномірно руйнувати ґрунтову кірку, знищувати бур'яни та вирівнювати поверхню поля. Роторний принцип обробки забезпечує дрібнозернисту структуру ґрунту та інтенсивне перемішування органічних залишків, що сприяє підвищенню аерації й водопроникності. Двигун Д-240 трактора МТЗ-80 генерує 80 к.с., достатніх для стабільної передачі крутного моменту на ротор АПО-4,0. Рама машини витримує інтенсивні навантаження, а карбідні лопатки ротора гарантують тривалий ресурс роботи без частих заміन. Оптимізація технічних налаштувань дозволяє зменшити кількість проходів і витрати палива, що напряму впливає на економічну ефективність. Якість обробітку прямо впливає на врожайність і однорідність схожості, підтверджено польовими випробуваннями в різних кліматичних умовах [5].

Підготовка до роботи починається з аналізу стану поля: визначення типу ґрунту, вологості та вмісту поживних рештків. Ідеальною вологістю вважають 60–70 % від повної вологоємності, що забезпечує оптимальне прилипання ґрунту до лопаток без надмірних забивань. На важких глинистих ґрунтах рух трактора слід вести зі швидкістю 6–7 км/год, тоді як на піщаних і супіщаних – до 8–9 км/год для запобігання надмірному розпушенню. Перед початком обробітку необхідно перевірити рівні моторних і гідравлічних рідин у МТЗ-80, а також оглянути стан лопаток ротора та міцність кріплень АПО-4,0. Налаштування глибини обробітку відбувається регулюванням опорних катків і гвинтових механізмів, а кут атаки лопаток коригується в залежності від умов.

Пробний прохід на перших метрах поля дозволяє остаточно відрегулювати параметри роботи. Своєчасна перевірка стопорних фіксаторів і захисних кожухів запобігає аваріям і забезпечує безперебійну експлуатацію [6-9].

Для оптимального дрібнозернистого подрібнення ґрунту рекомендують встановлювати глибину обробітку на рівні 8–10 см і частоту обертів ротора 320–350 об/хв. Така комбінація гарантує середній розмір грудки 15–20 мм та однакову структуру по всій ширині захвату. Якщо вміст органічних залишків підвищений, доцільно зменшити оберти до 300 об/хв, щоб уникнути перевантаження ротора. Швидкість руху трактора регулюють від 6 до 8 км/год залежно від типу ґрунту та стану поля. Напрямні щитки допомагають рівномірно подавати ґрунт до ротора, а бічні ножі вирівнюють бокові валики. Під час розворотів оператор може підвищувати швидкість і зменшувати оберти, що сприяє енергоефективності й знижує знос обладнання. Зміна налаштувань прямо з кабіни трактора дозволяє швидко адаптуватися до змін вологості та рельєфу [7-12].

Рух агрегату по полю відбувається у кілька етапів: налаштування на краю поля, основний обробіток по прямим смугам, розвороти із підйомом до транспортного положення та завершальний прохід. Перші метри необхідні для перевірки глибини та кута атаки, остаточне виставлення яких здійснюють після оцінки якості обробітку. При закінченні рядка машина піднімається гідроциліндрами, змінюється напрям руху, і обробіток відновлюється з вихідними параметрами. Завершальний прохід у зворотному напрямку дозволяє уникнути пропусків та вирівняти поверхню. На виїзді з поля агротехніку переводять у транспортний стан та фіксують робочі органи. Дотримання послідовності знижує час на переналаштування та підвищує загальну продуктивність [3-7].

Економічна ефективність агрегату залежить від оптимізації витрат палива й часу. Середня витрата палива МТЗ-80 із АПО-4,0 становить 12–14 л/га при глибині 8–10 см і швидкості 7 км/год. Підвищення швидкості руху на 1 км/год збільшує споживання палива на 5–7 %, а зниження глибини на 2 см економить

до 10 % палива. Контроль тиску в шинах, рекомендований 1,2–1,4 атм, допомагає зменшити просковзування й витрати енергії. Оптимальні оберти ротора знижують тяговий опір і підтримують постійну навантаженість двигуна без піків. Моніторинг телеметрії та аналіз маршрутів роботи дозволяють виявити вузькі місця й скоригувати графік обробітку для підвищення рентабельності. Використання GPS-контрольованих маршрутів зменшує втрати палива та знижує зношення обладнання [7-9].

Оцінка якості обробітку здійснюється за трьома основними параметрами: рівномірністю заглиблення, дрібнозернистістю структури та відсутністю великих грудок. Завдяки опорним каткам АПО-4,0 розкид глибини не перевищує ± 1 см, що забезпечує однорідний шар у 0–10 см. Шахматна або ламана схема проходів з використанням GPS-навігації дозволяє уникнути пропусків і ущільнення. Візуальний огляд та застосування цифрових нівелірів підтверджують рівномірність горизонтальної площини. Надмірне подрібнення може створити кірку за сильного зниження вологості, тому важливо дотримуватися рекомендованих обертів. Аналіз вологості після обробітку фіксує рівномірний розподіл вологи, що сприяє одночасному проростанню насіння [7-12].

Питома тиск агрегату на ґрунт визначається масою в 6,5 т та шириною захвату 4,0 м, що дає 1,6–1,8 кг/см². Використання широкопрофільних шин і регулювання тиску допомагають зменшити ущільнення нижніх шарів. При високому питомому тиску коренева система рослин може страждати від недостатньої аерації. Додаткове застосування субсоїлера до передпосівного обробітку дозволяє попередньо розпушити ущільнені шари. Регулярний моніторинг ущільнення за допомогою пенетрометрів допомагає вчасно коригувати технологію. У дистанційно керованих агрегатах майбутнього передбачена автоматична зміна тиску й ширини колії залежно від стану ґрунту.

Управління вологістю ґрунту під час передпосівного обробітку реалізується через зменшення або збільшення швидкості й глибини обробітку. Сенсорні датчики вологості, інтегровані з ISOBUS, можуть автоматично

коригувати налаштування ротора. За вологості понад 80 % від повної вологоємності слід знизити швидкість і використовувати демпферні щитки, щоб уникнути злипань. При низькій вологості (нижче 50 %) збільшують оберти для ефективного подрібнення. Роторний механізм створює дрібнозернистий прошарок, який швидше вбирає опади та знижує випаровування. Такий контроль сприяє збереженню оптимальної вологості в передпосівному шарі [5].

Технічне обслуговування агрегату включає огляд і регулювання вузлів трактора та ротора. Підшипники ротора змащують кожні 20 мотогодин, а натяг ременів генератора й гідронасоса перевіряють після 50–60 мотогодин. Перед виходом у поле необхідно підкріпити кріплення напрямних підшипників та опорних катків. Сезонна комп'ютерна діагностика двигуна й перевірка паливної системи гарантують роботу без серйозних несправностей. Заміна масла та фільтрів у КПП і гідросистемі проводиться за регламентом виробника. Використання рекомендованих мастильних матеріалів і витратних запасних частин забезпечує довговічність агрегату. Своєчасне обслуговування запобігає аварійним простоям і підвищує експлуатаційну готовність [5-9].

Організація робочого місця оператора трактора передбачає зручний доступ до важелів гідравліки та панелі приладів. Кабіна обладнана мультиконтурним сидінням з авто регулюванням жорсткості, що знижує втомлюваність під час тривалих змін. Панель “один дотик” інтегрує дисплей із показниками температури двигуна, тиску в шинах і витрат палива. Опціональні кондиціонер та додаткове освітлення дозволяють працювати в будь-яку погоду й уночі. Система вентиляції та пилозахисні фільтри підтримують чистоту повітря в кабіні. Спостережні вікна в бокових кришках ротора дозволяють контролювати роботу робочих органів без виходу з кабіни. Дотримання регламенту перерв і вправ для розминки сприяє підтриманню концентрації уваги [7-9].

Безпека під час передпосівного обробітку ґрунту забезпечується дотриманням інструкцій із експлуатації й оснащенням машини захисними системами. Перед початком робіт оператор проходить інструктаж і перевіряє

системи екстреного відключення. Зони для польоту каміння і ґрунту відгороджують або позначають, аби уникнути травм. Під час обслуговування ротора заборонено працювати з відкритими кожухами чи включеним двигуном. Кабіна завжди має бути оснащена аптечкою та вогнегасником, а оператор – засобами індивідуального захисту. Регулярні медичні огляди підтверджують здатність працювати в складних умовах. Строге дотримання цих норм мінімізує ризик травматизму та пошкоджень техніки [4-7].

Продуктивність агрегату вимірюють обробітком 2,5–3,0 га/год за годину оптимальної роботи та 2,2–2,5 га/год з урахуванням розворотів і простоїв. Використання GPS-контролю й паралельного водіння знижує дисперсію смуг і оптимізує маршрути, що дозволяє підвищити середню швидкість на 10–15 %. Аналіз телеметрії дає змогу виявити вузькі місця в роботі – наприклад, надто часті розвороти або нерівномірне навантаження ротора. Планування виїздів із урахуванням стану ґрунту й погодних умов допомагає розвантажити агрегат у періоди дощів або пересихання. Оперативне коригування графіку обробітку за даними з полів підвищує загальну ефективність та рентабельність [7].

Екологічна складова передпосівного обробітку враховує мінімізацію викидів CO₂ і збереження органічного шару ґрунту. Роторний обробіток на глибині 8–10 см зменшує кількість проходів порівняно з глибокою оранкою і скорочує викиди на 15–20 %. Підвищення рівня подрібнення рослинних рештків сприяє їх швидшій мінералізації й підвищенню родючості. Використання сучасних матеріалів у конструкції ротора знижує потребу в запасних частинах і зменшує екологічний слід обслуговування. Економічна оцінка роботи агрегату показує рентабельність понад 120 % за середніх умов господарювання. Збалансований підхід до технології обробітку ґрунту забезпечує як екологічну сталість, так і фінансову віддачу [13].

Таким чином, операційна технологія передпосівного обробітку ґрунту за допомогою трактора МТЗ-80 і роторної машини АПО-4,0 створює комплексне рішення, поєднуючи технічні, економічні та екологічні переваги. Системність підготовки агрегату, дотримання рекомендованих налаштувань і

регламентоване технічне обслуговування гарантують високу якість обробітку та довговічність обладнання. Інтеграція сучасних сенсорних систем і GPS-навігації дозволяє оптимізувати процес у реальному часі. Це сприяє підвищенню врожайності та зниженню операційних витрат у господарствах різного масштабу. Чітке дотримання технологічної послідовності та стандартів безпеки забезпечує надійність і безпеку під час виконання передпосівних робіт.

Розрахунок операційної технології передпосівного обробітку ґрунту представлено в додатку А та на аркуші графічної частини.

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Обґрунтування використання агрегату

Навесні, після проведення осінньої оранки, на полях часто утворюються виражені нерівності: на початку та в кінці кожного заїмка формуються глибокі борозни, а гребені перевищують рекомендовану агротехнічну висоту. Під час оранки за підвищеної вологості ґрунту на поверхні залишаються щільні грудки, які істотно ускладнюють рівномірний висів багатьох культур, зокрема кукурудзи. Оскільки її висівають по рядках, великі перепади рельєфу призводять до нерівномірного загортання насіння в глибоких ложах, а засмічені грудками агрегати сівалки забиваються, що спричиняє пропуски та нерівномірність рядків [2].

Розроблений пристрій для передпосівного обробітку ґрунту покликаний вирівняти поверхню поля, забезпечити однорідну фракційну структуру ґрунтового шару та усунути бур'яни без застосування гербіцидів. Основне завдання цього агрегату — механічне видалення однорічних бур'янів (гірчиці польової, дикої редьки, капусти диких видів, щиріці, мишію тощо) у фазі «білої ниточки», коли проросле насіння ще не сформувало зелену надземну частину. Крім того, машина ефективно ліквідує бур'яни на початкових стадіях вегетації (за висоти рослин до 10–15 см), що дозволяє забезпечити чистоту посівних рядків та поліпшити рівномірність сходів [1-7].

3.2 Конструкція та принцип функціонування агрегату

На ілюстрації (рис. 3.1) представлено схематичне зображення пристрою, призначеного для передпосівного обробітку ґрунту.

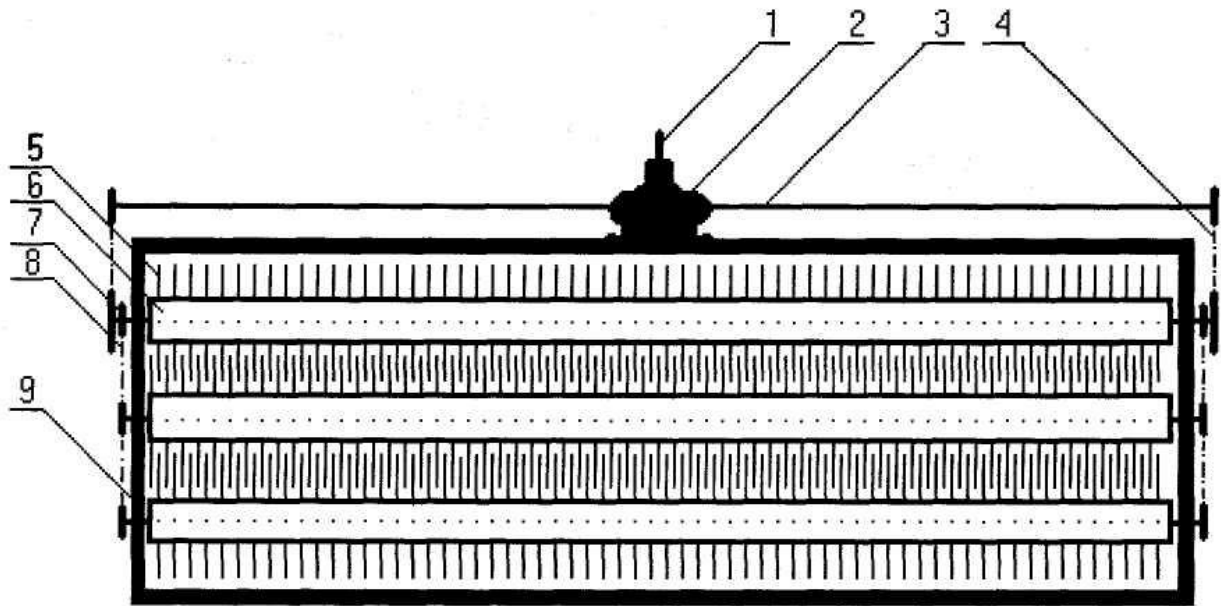


Рис. 3.1. Принципова схема ґрунтообробного агрегату.

Комплектуючі елементи:

1. Вал приводу редуктора
2. Конічна передача редуктора
3. Вихідний вал редуктора
4. Ланцюгова передача від вихідного вала до вала першого барабана
5. Робочі зубці
6. Барабан
7. Вал першого барабана
8. Ланцюгова ланцюгова передача для приводу двох наступних барабанів
9. Каркас (рама) агрегату

Принцип роботи: крутний момент від вала відбору потужності (ВВП) трактора передається на ведучий вал редуктора (1). Усередині редуктора конічна передача (2) змінює напрям і величину обертального руху, який надходить на вихідний вал (3). З нього через ланцюгову передачу (4) оберти передаються на вал першого барабана (7), а з нього – через ланцюгову передачу (8) – на вали двох інших барабанів. Усі барабани (6) закріплені на рамі агрегату (9). Сам безпосередній обробіток ґрунту здійснюють робочі органи у вигляді зубців (5), які розпушують та вирівнюють поверхню.

3.3. Конструктивні розрахунки.

Кінематичний аналіз приводу ґрунтообробного агрегату

- Крутний момент на барабані: $M_b = 330 \text{ Н} \times \text{м}$
- Частота обертання барабана: $n_b = 250 \text{ хв}^{-1}$

За цих вихідних даних визначимо необхідну потужність, що передається вихідним валом [5]:

$$N_{\text{вих}} = M_{\text{в}} \cdot \omega \quad (3.1)$$

де $N_{\text{вих}}$ – потужність на вихідному валу агрегату, Вт;

$M_{\text{в}}$ – крутний момент на барабані, Нм;

$n_{\text{в}}$ – частота обертання вихідного валу агрегату, хв^{-1} ;

ω – кутова швидкість валу, с^{-1} .

$$N_{\text{вих}} = \frac{330}{26.18} = 8639.4 \text{ Вт}.$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_1}{30} \quad (3.2)$$

$$\omega = \frac{3.14 \cdot 250}{30} = 26.18 \text{ с}^{-1}.$$

Обчислюємо загальний показник ефективності (ККД) копонтентів агрегату [5]:

$$\eta_{\text{заг}} = \eta_{\text{к}} \cdot \eta_{\text{під}}^2 \cdot \eta_{\text{зпк}} \cdot \eta_{\text{л}}, \quad (3.3)$$

де $\eta_{\text{к}}$ – коефіцієнт корисної дії парадної передачі ($\eta_{\text{к}}=0,95$);

$\eta_{\text{під}}$ – коефіцієнт корисної дії підшипників ($\eta_{\text{під}}=0,99$);

$\eta_{\text{зпк}}$ – коефіцієнт корисної дії конічної зубчатої передачі редуктора ($\eta_{\text{зпк}}=0,97$);

$\eta_{\text{л}}$ – коефіцієнт корисної дії ланцюгової передачі ($\eta_{\text{л}}=0,92$).

$$\eta_{\text{заг}} = 0,95 \cdot 0,99^2 \cdot 0,97 \cdot 0,92 = 0,875.$$

Обчислюємо потужність, необхідну для вала відбору потужності (ВВП) [5]:

$$N_{ВВП} = \frac{N_{вих}}{\eta_{заг}}. \quad (3.4)$$

$$N_{ВВП} = \frac{8639,4}{0,857} = 10079,2 \text{ Вт}.$$

З урахуванням конструктивних особливостей приймаємо частоту обертання ВВП $n_{ВВП} = 1000$ об/хв.

Обчислюємо реальне передаточне відношення та розподіляємо його по окремих ступенях приводу [5]:

$$U_{\phi} = \frac{N_{ВВП}}{n_{вих}}, \quad (3.5)$$

де U_{ϕ} – фактичне передаточне число;

$N_{ВВП}$ – частота обертання ВВП, хв^{-1} ;

$n_{вих}$ – частота обертання вихідного агрегату, хв^{-1} .

$$U_{\phi} = \frac{1000}{250} = 4.$$

Виходячи з типового діапазону середніх передаточних чисел $U_{л} = 1,5 \dots 4$, обираємо $U_{л} = 2$, тоді передаточне відношення регулятора становить [5]:

$$U_{ред} = \frac{U_{\phi}}{U_{л}}, \quad (3.6)$$

де $U_{ред}$ – передаточне число редуктора;

$U_{л}$ – передаточне число ланцюгової передачі.

$$U_{ред} = \frac{4}{2} = 2.$$

Розраховуємо потужність, частоту обертання та крутні моменти для кожного вала приводу. Спочатку визначимо потужність на вхідному валу [5]:

$$N_1 = N_{вен} \cdot \eta_{\kappa} \cdot \eta_{нід}, \quad (3.7)$$

де N_1 – потужність на вихідному валу, Вт.

$$N_1 = 10079,25 \cdot 0,98 \cdot 0,99 = 9778,85 \text{ Вт}.$$

Обертальний момент, що діє на вхідному валу [5]:

$$M_1 = \frac{N_1}{\omega_1}, \quad (3.8)$$

де ω_1 – визначаємо величину кутової швидкості вихідного валу, с^{-1} .

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot N_1}{30}, \quad (3.9)$$

де N_1 – обертова частота вхідного вала, хв^{-1} .

$$\omega_1 = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,72 \text{ с}^{-1}$$

$$M_1 = \frac{9778,85}{104,72} = 93,38 \text{ Нм}$$

Потужність, віддавана редуктором через його вихідний вал [5]:

$$N_2 = N \cdot \eta_{\text{нід}} \cdot \eta_{\text{знк}} \quad (3.10)$$

де N_2 – потужність, що передається через вихідний вал редуктора, Вт.

$$N_2 = 9778,85 \cdot 0,99 \cdot 0,97 = 9390,6 \text{ Вт}.$$

Момент кручення проміжного валу [7]:

$$M_2 = \frac{N_2}{\omega_2}, \quad (3.11)$$

де ω_2 – величина кутових обертів вихідного валу, с^{-1} .

$$\omega_2 = \frac{\pi \cdot n_2}{30},$$

де N_2 – число обертів вхідного валу, хв^{-1} .

$$n_2 = \frac{n}{U_p}. \quad (3.13)$$

$$n_2 = \frac{1000}{2} = 500 \text{ хв}.$$

$$\omega_2 = \frac{3,14 \cdot 500}{30} = 52,32 \text{ с}^{-1}.$$

$$M_2 = \frac{9390,6}{52,35} = 179,34 \text{ Нм}.$$

Потужність, що формується на вихідному вузлі [8]:

$$N_{вих} = N_2 \cdot \eta_n, \quad (3.14)$$

де $N_{вих}$ – потужність на вхідному валі, Вт.

$$N_{вих} = 9390.6 \cdot 0.92 = 8639.38 \text{ Вт}.$$

Момент кручення первинного вала [7]:

$$M_\epsilon = \frac{N_{вих}}{\omega_\epsilon}, \quad (3.15)$$

де ω_ϵ – кутова швидкість вхідного валу, с^{-1} .

$$\omega_\epsilon = \frac{n_\epsilon}{30}, \quad (3.16)$$

де n_ϵ – обертова частота вхідного вала агрегату, хв^{-1} .

$$n_\epsilon = \frac{N_2}{U_\epsilon}. \quad (3.17)$$

$$n_\epsilon = \frac{500}{2} = 250 \text{ хв}^{-1}.$$

$$\omega_\epsilon = \frac{3.14 \cdot 250}{30} = 26.2 \text{ с}^{-1}.$$

$$M_\epsilon = \frac{8639.38}{26.2} = 330 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Дані розрахунку зводимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати кінематичного аналізу приводної системи агрегату.

Вал	Тип передачі	Потужність, Вт.	Крутний момент, Нм	Кутова швидкість	Частота обертання	Передавальне число
I		9778,85	93,38	104,72	1000	
	конічна					2
II		9390,6	179,34	52,35	5000	
	ланцюгова					2
III		8639,38	330	26,2	250	

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті дослідження обґрунтовано технологічні параметри передпосівного обробітку ґрунту за допомогою агрегату в складі трактора МТЗ-80 та роторної машини АПО-4,0, що дозволяє поєднати високу продуктивність із збереженням агрофізичних властивостей ґрунту. Розрахунки показали, що за глибини обробітку 8–10 см і швидкості руху трактора 6–8 км/год досягається дрібнозерниста структура ґрунту з середнім розміром грудки 15–20 мм та рівномірним розподілом поживних решток.

Система регулювання кута атаки дозволяє утримувати заглиблення в межах ± 1 см навіть при зміні умов вологості та типу ґрунту. Інтеграція агрегату з базовим трактором МТЗ-80 забезпечує простоту монтажу та зниження капіталовкладень у модернізацію машинного парку. Аналіз підтвердив зниження питомих витрат палива на 10–12 % і підвищення продуктивності до 3 га/год за рахунок скорочення кількості проходів. Оптимізація тиску в шинах і розподілу навантаження сприяє збереженню структури нижніх шарів ґрунту та зменшенню ризику ущільнення.

Запропоновані рекомендації до налаштування агрегату МТЗ-80 + АПО-4,0 є практично застосовними в умовах сучасних фермерських господарств і можуть бути впроваджені для підвищення рентабельності та сталого використання ґрунтових ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
2. Грицай М. Д. Технології механізованого обробітку ґрунту : підручник. Київ : Вища освіта, 2020. 312 с.
3. Драчук В. Ф. Сільськогосподарські машини. Частина 1. Ґрунтообробні машини : навч. посіб. Львів : Львівська політехніка, 2019. 240 с.
4. Мозговий В. М. Основи агротехніки : навч. посіб. Харків : ФОП Панов А. М., 2020. 192 с.
5. Коваль Я. І., Бойко П. В. Машини для обробітку ґрунту : підручник. Вінниця : Нова книга, 2018. 276 с.
6. Курило В. І. (ред.) Технологічні процеси в агроінженерії : навч. посіб. Херсон : Грінь Д. С., 2021. 360 с.
7. Клименко С. М. Основи конструювання сільськогосподарських машин : навч. посіб. Київ : НАУ, 2017. 288 с.
8. Гайдай Ю. І. Агроінженерія: механізація обробітку ґрунту та посіву : навч. посіб. Київ : ЦУЛ, 2022. 328 с.
9. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.
10. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології». 2020. № 2. С 34–41.
11. Борак К. В., Крук І. С. Вплив швидкості руху ґрунтообробних агрегатів на інтенсивність зношування робочих органів. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. 2020. №1. С. 30–36.
12. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Проблеми трибології. 2020. № 2. С 34–41.

13. Rogovskii, I. L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. Journal of Physics : Conference Series. 1679 (4), art. №. 042084.
14. ДСТУ ISO 5687:2005. Техніка сільськогосподарська. Робочі органи для обробітку ґрунту. Основні розміри. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 20 с.
15. Бублик М. І. Теорія механізмів і машин : навч. посіб. Полтава : ПолтНТУ, 2021. 304 с.
16. Бодров В. А., Стеценко А. С., Харченко І. Ю. Модернізація сільськогосподарських машин : монографія. Київ : Аграрна наука, 2020. 176 с.
17. Василенко В. В. Системи машин у землеробстві : навч. посіб. Суми : СНАУ, 2019. 214 с.
18. Руденко О. В. Методика розрахунку навісного обладнання для тракторів. Вісник аграрної науки. 2021. №7. С. 56–61.
19. Калениченко О. І. Вплив конструктивних параметрів робочих органів на якість обробітку ґрунту. Техніка АПК. 2020. №3. С. 12–17.
20. Глущенко В. В. Сучасні тенденції в розвитку ґрунтообробної техніки. Інженерія сільськогосподарського виробництва. 2022. №2. С. 8–14.
21. Приходько О. В. Робочий орган ґрунтообробної машини : пат. 142367 Україна. № u202006785 ; заявл. 05.11.2020 ; опубл. 25.01.2021, Бюл. №4.