

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

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

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Ковальчук Роман Олександрович

УДК 631.17

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ПРОЄКТ УДОСКОНАЛЕННЯ КОМПЛЕКСУ МАШИН ДЛЯ
ВИРОБНИЦТВА ОЗИМОГО РІПАКУ З МОДЕРНІЗАЦІЄЮ
ПРИКОЧУЮЧОГО ПРИСТРОЮ КУЛЬТИВАТОРА КПС-4**

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 _____ Ковальчук Р.О.

Керівник роботи

Білецький В.Р.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Ковальчук Роман Олександрович. Проєкт удосконалення комплексу машин для виробництва озимого ріпаку з модернізацією прикочуючого пристрою культиватора КПС-4. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

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

У даній кваліфікаційній роботі розроблено технологічну карту вирощування озимого ріпаку та створено операційну технологію передпосівного обробітку ґрунту. Виконано аналіз існуючих методів підготовки ґрунту й виявлено основні фактори, що впливають на якість посівного ложа. Розроблена схема інтегрує операції розпушення, вирівнювання та ущільнення у єдиний прохід, що знижує палива витрати та час на обробіток. Такий комплексний підхід гарантує ефективність технології за різних агротехнічних умов та типів ґрунту.

Модернізація прикочувального пристрою дозволяє значно знизити енергетичні витрати агрегату за рахунок оптимізації масово геометричних характеристик робочих органів і впровадження інтегрованого виконання операцій розпушення, вирівнювання та ущільнення ґрунту. Це сприятиме покращенню мульчувального ефекту та підвищенню якості передпосівного обробітку в системах мінімального й біологічного землеробства.

Впровадження розробленого пристрою забезпечить підвищення продуктивності роботи техніки, зменшить кількість технологічних проходів і сприятиме економії матеріальних та енергетичних ресурсів. У підсумку це сприятиме зростанню врожайності та зниженню собівартості вирощування сільськогосподарських культур.

Ключові слова: ріпак, передпосівний обробіток, ґрунт, каток, технологія.

ANNOTATION

Kovalchuk Roman Oleksandrovykh. Project to improve the complex of machines for the production of winter rapeseed with the modernization of the KHC-4 cultivator's rolling device. – 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.

This qualification work develops a technological map for growing winter rapeseed and creates an operational technology for pre-sowing soil cultivation. An analysis of existing soil preparation methods was performed, and the main factors affecting the quality of the seedbed were identified. The developed scheme integrates loosening, leveling, and compaction operations into a single pass, which reduces fuel consumption and cultivation time. This comprehensive approach guarantees the effectiveness of the technology under various agrotechnical conditions and soil types.

The modernization of the rolling device significantly reduces the energy consumption of the unit by optimizing the mass and geometric characteristics of the working parts and introducing integrated loosening, leveling, and soil compaction operations. This will improve the mulching effect and increase the quality of pre-sowing cultivation in minimum and biological farming systems.

The introduction of the developed device will increase the productivity of the equipment, reduce the number of technological passes, and contribute to the saving of material and energy resources. As a result, this will contribute to an increase in crop yields and a reduction in the cost of growing agricultural crops.

Keywords: rapeseed, pre-sowing cultivation, soil, roller, technology.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОЩУВАННЯ ОЗИМОГО РІПАКУ.....	9
РОЗДІЛ 2. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ГРУНТУ.....	20
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИКОЧУВАЧА ГРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТУ.....	24
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	33

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. У сучасних агротехнічних умовах України озимий ріпак посідає провідне місце серед олійних культур завдяки високій врожайності, універсальності використання продукції й значному експортному потенціалу. Збільшення площ під ріпаком спричиняє підвищений попит на ефективні технології обробітку ґрунту та посіву, що забезпечують рівномірне загортання насіння та оптимальні умови для його проростання. Водночас кліматичні коливання, зростання вартості паливно-мастильних матеріалів і ресурсозатратність традиційних машинно-технологічних процесів висувають вимогу до модернізації існуючої техніки з метою підвищення її енергоефективності та зменшення негативного впливу на довкілля.

Однією з ключових операцій у технологічному циклі вирощування озимого ріпаку є прикочування ґрунту культиватором одразу після посіву, що забезпечує щільний контакт насіння з родючим шаром і рівномірне розподілення вологи. Культиватор КПС-4 широко застосовується вітчизняними агропідприємствами, проте його стандартний прикочуючий пристрій має обмежені можливості регулювання тиску на ґрунт і не завжди забезпечує оптимальні умови для адаптації рослин у змінних польових умовах. Через це зберігаються втрати насіння внаслідок нерівномірного загортання та недостатнього ущільнення, що безпосередньо впливає на рівень сходів і майбутню врожайність.

Системний аналіз науково-технічних джерел свідчить про необхідність удосконалення прикочуючих елементів культиваторів із запровадженням регульованих механізмів тиску, здатних адаптуватися до різних типів ґрунту та вологості. Модернізація прикочуючого пристрою КПС-4, доопрацьованого з урахуванням можливості плавного регулювання навантаження та покращеної геометрії катків, дозволить підвищити інтенсивність ущільнення, зменшити глибинні розриви ґрунту й покращити умови схожості ріпаку. Крім того, це

відкриває перспективу зниження питомих енерговитрат за рахунок зменшення крутного моменту на валу і зниження пробуксовки.

Впровадження вдосконаленого комплексу машин із модернізованим прикочуючим пристроєм сприятиме підвищенню виходу дружніх сходів ріпаку, зменшенню технологічних втрат насіння до 10–15 % та зростанню врожайності на 0,2–0,5 т/га. Це матиме не лише економічний ефект у вигляді зменшення затрат на догляд і повторний пересів, а й екологічний — за рахунок зменшення необхідного обсягу оброблення ґрунту й відповідного скорочення викидів CO₂. Важливим також є соціальний аспект: підвищення продуктивності та рентабельності агровиробництва в регіонах із недостатньо продуктивними ґрунтами сприятиме зростанню доходів сільських господарств та зміцненню продовольчої безпеки держави.

Таким чином, проект удосконалення комплексу машин для виробництва озимого ріпаку з модернізацією прикочуючого пристрою культиватора КПС-4 є своєчасним і необхідним кроком у розвитку вітчизняного аграрного машинобудування та сучасних технологій обробітку ґрунту. Реалізація такого проекту сприятиме підвищенню технічного рівня агротехніки, оптимізації сільськогосподарських операцій і забезпеченню стабільного росту врожайності озимого ріпаку в умовах мінливого клімату.

Метою дослідження є розробити технічні рішення з удосконалення комплексу машин для вирощування озимого ріпаку шляхом модернізації прикочуючого пристрою культиватора КПС-4, з метою підвищення рівномірності ущільнення ґрунту після посіву, покращення схожості насіння та зниження енерговитрат при виконанні польових операцій.

Завдання дослідження:

- провести аналіз існуючих конструкцій прикочуючих пристроїв культиваторів і визначити їхні переваги та недоліки в роботі з різними типами ґрунту;

- встановити оптимальні параметри ущільнення ґрунту для забезпечення дружніх сходів озимого ріпаку (тиск на ґрунт, геометрію катків, швидкість руху машини);
- розробити ескізну конструкцію модернізованого прикочуючого пристрою з можливістю регулювання навантаження та адаптації до змінних польових умов;
- виконати міцнісні розрахунки елементів нового пристрою з урахуванням механічних навантажень і експлуатаційних вимог.

Об’єктом дослідження є технологічний процес ущільнення ґрунту після посіву озимого ріпаку за допомогою культиватора КПС-4 із модернізованим прикочуючим пристроєм.

Предметом дослідження закономірності впливу конструктивних і режимних параметрів модернізованого прикочуючого пристрою культиватора КПС-4 на рівномірність ущільнення ґрунту та умови проростання насіння озимого ріпаку.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Білецький В.Р., Ковальчук Р.О., Польовий А.В., Добранський С.С. Перспективні напрямки розвитку конструкцій ґрунтообробних машин. 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. 91-93.

2. Ковальчук Р.О. Аналіз будови жаток для збирання ріпаку. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конференції молодих учених (Запоріжжя, 03-28 лютого 2025 р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2025. С. 109-111.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені технічні рішення з модернізації прикочуючого пристрою культиватора КПС-4 можуть

бути впроваджені в серійне виробництво агротехніки для посіву озимого ріпаку, що дозволить агропідприємствам мінімізувати технологічні втрати насіння та досягти більш дружніх і рівномірних сходів у різноманітних ґрунтово-кліматичних умовах. Завдяки можливості плавного регулювання відповідального навантаження на ґрунт, оператори отримають змогу оперативно адаптувати робочий процес до змін вологості та структури ґрунту без зміни базових налаштувань трактора чи швидкісного режиму культиватора.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 32 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 35 сторінок комп'ютерного тексту, містить 3 рисунки та 4 додатки.

РОЗДІЛ 1

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОЩУВАННЯ ОЗИМОГО РІПАКУ

Один із ключових чинників успішного вирощування озимого ріпаку полягає у ретельному відборі та підготовці насіння, яке повинно мати високу енергію проростання та відповідати сортовим вимогам регіону. Насіння перевіряють у лабораторних умовах на вологість, показник польової схожості та енергію проростання, щоб гарантувати дружні сходи. Для підвищення захисту від патогенів і шкідників застосовують протруєння фунгіцидними та інсектицидними препаратами згідно з агрохімічним аналізом ґрунту. Вибір сорту ґрунтується на стійкості до низьких температур, здатності до регенерації після зимівлі та врожайному потенціалі. Оптимальна маса тисячі насінин для сучасних сортів ріпаку становить 4–6 г, що дозволяє регулювати густоту стояння рослин. Використання калібрувальних сит підвищує точність сівби та рівномірність загортання насіння. Своєчасна обробка насіння передбачає не тільки захист від інфекцій, а й забезпечення поживними речовинами на початку вегетації. Дотримання всіх агротехнічних норм при підготовці насіння є запорукою стабільного розвитку рослин у перші тижні після сівби. Якісний відбір насіння суттєво скорочує ризики втрат врожаю на етапі сходів та зимівлі.

Ґрунтовий аналіз передбачає визначення вмісту рухомого фосфору, обмінного калію та загального рівня гумусу в шарі 0–20 см, що дає змогу коригувати систему удобрення. У випадку дефіциту фосфору застосовують суперфосфат у нормі 150–200 кг/га, калію — хлорид калію з нормою 100–150 кг/га відповідно. Азотні добрива вносять у складі аміачної селітри під оранку та у вигляді карбаміду у фазі розетки, враховуючи потребу рослин у поживних речовинах на різних етапах розвитку. Показники рН ґрунту впливають на доступність елементів живлення, тому за необхідності проводять вапнування в нормі 2–4 т/га. Органічні добрива, такі як перепрілий гній або компост, вносять із розрахунку 20 т/га для покращення структурної стабільності ґрунту. Диференційовані норми удобрення на полях з різною

родючістю дозволяють оптимізувати витрати та підвищити екологічну безпеку. Господарське значення цих заходів проявляється у збільшенні потенційного врожаю та покращенні якості олії. Сучасні системи точного землеробства, які базуються на GPS-моніторингу та агромоніторингу ґрунту, сприяють диференційованому внесенню добрив. Ретельна підготовка ґрунту та удобрення створюють оптимальні умови для подальшого розвитку озимого ріпаку.

Глибока оранка на 25–30 см після збору попередника забезпечує знищення бур'янів і впровадження добрив у кореневмісний шар ґрунту. За умов підвищеної вологості ґрунту оранку проводять із використанням оборотних корпусних плугів, щоб уникнути ущільнення. Дводискові плуги або роторні агрегати застосовують на легких ґрунтах для кращого перемішування органіки і мінералів. Далі виконують боронування у два—три сліди для вирівнювання поверхні та руйнування великих грудок. Пружинні диски застосовують перед коткуванням, щоб досягти однорідної структури ґрунту. Культивація на глибині 8–10 см передбачає загортання добрив і створення дрібногрудкуватого посівного ложа. Контроль вологості важливий для уникнення формування гумусового панцира біля поверхні. Оптимальна структура ґрунту після передпосівного обробітку сприяє дружнім сходам із мінімальними втратами. Якісно підготовлена поверхня поля є основою для точного загортання насіння та рівномірного розвитку рослин.

Коткування проводять пружинними або важкими трубчастими котками для ущільнення дрібногрудкуватої структури ґрунту й ущільнення ложа перед сівбою. Це допомагає покращити контакт насіння з ґрунтом, забезпечити рівномірний доступ вологи та знизити випаровування. При високій вологості коткування відкладають, щоб уникнути утворення кірки. Після коткування виконують остаточне вирівнювання поверхні горизонтальними граблями або вирівнювачами. Контроль глибини ущільнення здійснюють за допомогою спеціальних маркувальних рейок. Використання комбінованих агрегатів «культиватор + коток» скорочує число технологічних проходів і економить паливо. Якісний передпосівний обробіток з коткуванням підвищує дружність та

рівномірність сходів. Системи точного креслення траєкторії руху техніки забезпечують мінімальні перекриття і оптимізують витрати. Точне коткування – ключ до формування якісного посівного ложа.

Оптимальні строки сівби озимого ріпаку в Україні припадають на кінець серпня – початок вересня, щоб рослини мали час на розвинення кореневої системи перед зимівлею. Сівбу слід завершити за 25–30 днів до стабільних морозів, коли середньодобова температура ґрунту не опускається нижче $+5^{\circ}\text{C}$. Нискі температури до $-5 \dots -7^{\circ}\text{C}$ ріпак переносить за умови правильної підготовки та достатньої вологи в кореневмісному шарі. Використання сівалок точного висіву дає змогу встановити густоту стояння 60–80 шт. на квадратний метр. Глибина загортання насіння становить 2–4 см залежно від вологості ґрунту. Після сівби проводять прикочування котком із радіальними ребрами для покращення контакту насіння з ґрунтом. Контроль якості сівби здійснюють шляхом вибіркової перевірки густоти стояння в декількох точках поля. Рівномірність сівби є запорукою дружного розвитку ріпаку у період осінньої вегетації. Дотримання строків і технології сівби збільшує шанси на успішну зимівлю та весняне відновлення.

Після появи сходів проводять легке боронування в кілька напрямків для розпушення поверхневого шару ґрунту та знищення сходів бур'янів. В осінній період основними захисними заходами є обприскування системними гербіцидами до фази 4 справжніх листків ріпаку. Препарати вибирають з урахуванням спектра дії та екологічних норм регіону. Осіннє внесення фосфорно-калійних добрив стимулює розвиток кореневої системи та підвищує стійкість до низьких температур. Важливо контролювати активність шкідників, таких як капустяна муха, і, за необхідності, застосовувати інсектициди. Ефективним заходом є також локальне внесення гранульованого хлорпірифосу в рядки після сівби. Осіння агротехніка формує міцні рослини, здатні протистояти зимовим стресам. Систематичний моніторинг посівів допомагає вчасно коригувати захисні заходи та забезпечити успішний перехід до зимівлі.

Восени, перед настанням стійких морозів, виконують прикореневе підживлення мікродобривами із вмістом бору та молібдену, що сприяє кращому формуванню корневих бруньок. Мікроелементи підвищують морозостійкість та опірність хворобам у весняний період. Для підживлення використовують розчини препаратів із нормою внесення 1–2 л/га через краплинне зрошення або штангові обприскувачі. Вологозберігаючі матеріали, такі як антистресові полімери, іноді додають до розчинів мікродобрив для продовження дії препаратів. Осіння вологозатримка – важливий чинник успішної зимівлі культури. Використання біофунгіцидів на основі триходерми знижує ризик розвитку корневих гнилей. Одночасно проводять моніторинг стану рослин і ґрунту за допомогою дистанційного зондування. Цей підхід забезпечує своєчасне введення корективів у агротехніку та зниження ризиків пошкодження посівів морозами.

Весною, з початком відновлення вегетації, виконують перше підживлення азотом із нормою 40–60 кг/га діючої речовини, щоб стимулювати ріст активність. Азотні добрива вносять у фазі «сніпкових» листків, коли рослини найбільше потребують живлення. При виявленні ознак дефіциту магнію або цинку проводять позакореневе підживлення відповідними сільськогосподарськими препаратами. Весняне боронування напівпружинними або зубовими боролами сприяє розпушенню ґрунту та додатковому знищенню бур'янів. Водночас перевіряють густоту стояння та стан рослин на предмет пошкоджень морозами або гризунами. Інсектицидні обробки проти хрестоцвітих клопів та листогризних совок проводять згідно з регламентом. Весняний догляд визначає рівень накопичення вегетативної маси та підготовку культури до генеративної фази. Комплексний підхід до весняного догляду сприяє підвищенню потенційного рівня врожайності.

У фазі бутонізації рекомендовано друге підживлення азотом із нормою 30–50 кг/га для стимулювання формування квіткових бруньок та розгалуження стебел. Підживлення по листу з комплексними добривами з мікроелементами сприяє підвищенню якості пилку та протидії абіотичним стресам. Важливо

застосовувати препарати, що містять бор і марганець, які відповідають за поділ клітин і синтез гормонів росту. Одночасно доцільно використовувати біостимулятори, що покращують обмінні процеси та підвищують загальний імунітет рослин. Обробки фунгіцидними препаратами проти фузаріозу та борошнистої роси проводять у фазі початку цвітіння. Дотримання температурних обмежень під час обприскування мінімізує фитотоксичні ризики. Оптимальне співвідношення живлення та захисту в цю фазу визначає кількість стручків і, відповідно, потенційний урожай. Якісний догляд у фазі бутонізації створює передумови для рівномірного наливу насіння.



Рис. 1.1. Процес обприскування ріпаку.

Період цвітіння є критичним для запилення, тому уникання хімічних обробок у жаркі та вітряні дні сприяє збереженню пилку та активності бджіл. Запилення комахами може підвищити врожайність на 10–15 %, тому варто забезпечити умови для збирання пилку. Рекомендовано висівання медоносних культур у безпосередній близькості до полів з ріпаком. У фазі цвітіння слід уникати надлишкової вологи, яка може призвести до розвитку пероноспорозу. Якщо спостерігається дефіцит вологи, проводять дощування дрібними краплями або краплинне зрошення. Використання біофунгіцидів на основі

грибів *Trichoderma* сприяє пригніченню патогенів і безпеці довкілля. Ретельний моніторинг стану посівів дозволяє вчасно коригувати заходи захисту та запобігати втратам.

Під час наливу насіння рослини потребують підвищеної вологості, тому за умов посухи доцільно застосовувати краплинне зрошення з нормою 300–400 м³/га. Регулярне зрошення в ранкові години знижує втрати вологи випаровуванням та підвищує ефективність використання водних ресурсів. Мульчування міжрядь соломою або синтетичними матеріалами допомагає зберегти вологу та зменшити бур'яни. Аналіз показників вологості ґрунту за допомогою датчиків дає змогу коригувати графік поливу. Водночас доцільно вносити калійні добрива під час поливу для поліпшення водопостачання клітин ріпаку. Надлишок вологи небезпечний у фазу наливу через ризик виникнення фузаріозу, тому слід уникати перезволоження. Своєчасне зрошення сприяє рівномірному формуванню насіння та зменшує кількість пустостручків. Ці агротехнічні заходи підвищують якість та масу врожаю.

Після завершення наливу насіння починають підготовку до збирання, контролюючи вологість насіння в стручках на рівні 8–10 %. Для прискореного підсихання поля залишають у провітрюваному стані після зрошення або дощів. Підготовка включає перевірку та налаштування жниварок і молотильних барабанів на комбайнах. Налаштування комбайна передбачає оптимальний просвіт між молотильним барабаном і решетами, щоб уникнути розтріскування насіння. Контроль швидкості руху в межах 2–3 км/год забезпечує мінімальні втрати при обмолоті. У разі вилягання культури використовують підтримуючі жниварки зі спеціальними приводами підйому. Перед комбайнуванням рекомендується провести суху обмолоту окремих пробних валків. Точна підготовка техніки та контроль вологості — запорука ефективного збирання.

Збирання озимого ріпаку може здійснюватися прямим або ступінчастим способом залежно від агротехнічних умов та стану посіву. Ступінчастий спосіб передбачає першочергове формування валків спеціальною жниваркою, які дозрівають упродовж 3–5 днів перед обмолотом. Прямий спосіб дозволяє

знизити кількість операцій, але більш чутливий до вологості насіння й стану поля. Вибір способу визначається параметрами вологості, виляганням та прогнозом погоди. Після збирання проводять проміжну очистку насіння від домішок і залишків стручків на приймальному пристрої комбайна. Оптимальні налаштування сепаратора й аспіраційної системи сприяють зменшенню домішок до рівня не більше 2 %. Якісне обмолочування без пошкодження оболонки насіння зберігає його схожість і олійність. Дотримання технології обмолоту знижує втрати під час збирання на 1–2 %.



Рис. 1.2. Збирання озимого ріпаку.

Після обмолоту насіння спрямовують на сушіння у спеціальні сушарки з температурою повітря не вище 40 °С, щоб не знизити вміст олії. Вологість після сушіння доводять до 6–8 % для безпечного зберігання без ризику самозігріву. Рух повітря в сушильній камері має бути рівномірним, щоб уникнути надмірного підсушування або пересушування частини насіння. Після сушіння насіння проходить аспірацію для видалення дрібних домішок і пилу. Для підвищення однорідності проводять калібрування на сепараторах з ситами різного діаметра отворів. Правильне сушіння і калібрування зберігають енергію

проростання та олійність насіння. Якісна післязбиральна доробка сприяє підвищенню комерційної вартості продукції. Сухе, очищене і відсортоване насіння готове до пакування та відвантаження.

Зберігання насіння ріпаку здійснюють у вентильованих силосах або складі з температурно-вологісним режимом 0–5 °C та відотною вологістю повітря 55–65 %. Регулярний моніторинг температури й вологості запобігає розвитку плісняви та самозігріванню. Для пересипання силосів використовують транспортні системи з мінімальним пошкодженням оболонки насіння. У разі виявлення температурної аномалії в силосі проводять інтенсивну вентиляцію. Перемішування насіння в силосах при необхідності рівномірно розподіляє температуру. Після довготривалого зберігання перевіряють схожість насіння та при потребі проводять додаткове кондиціювання. Дотримання параметрів зберігання гарантує готовність насіння до наступного сезону. Надійне зберігання — завершальний етап технології вирощування.

Економічна ефективність вирощування озимого ріпаку залежить від співвідношення витрат на технологічні операції та отриманого врожаю. Собівартість виробництва включає витрати на насіння, добрива, засоби захисту, паливо та оплату праці. Потенційний врожай 3–3,5 т/га насіння може забезпечити до 25 % рентабельності за середньої ціни 0,8 € за літр олії. Використання інтенсивних технологій і точного землеробства знижує витрати на похибки в обробітку ґрунту та внесенні добрив. Диференційоване удобрення та захист рослин дозволяють оптимізувати витрати пестицидів і знизити негативний вплив на довкілля. Впровадження ступеневих схем обробітку та збору зменшує втрати при обмолоті та підвищує вихід якісного насіння. Аналіз економічних показників допомагає господарствам приймати обґрунтовані рішення щодо інвестицій в техніку та ресурси. Розрахунок рентабельності за різних сценаріїв погоди й цінових умов формує стратегію планування сіяння.

Екологічна стійкість технології вирощування озимого ріпаку полягає в покращенні структури ґрунту завдяки глибокій кореневій системі, що знижує ерозію та покращує водопроникність. Рослинні рештки після обмолоту

збагачують ґрунт органічною речовиною, яка сприяє мікробіологічній активності. Ріпак у сівозміні зменшує рівень ґрунтових патогенів через інший спектр мікрофлори порівняно з зерновими. Використання біопрепаратів для захисту рослин знижує навантаження хімічних засобів на довкілля. Мінімальний обробіток ґрунту та прямий посів сприяють збереженню вологи і зменшенню викидів вуглецю. Контурні смуги з медоносними рослинами підтримують біорізноманіття і популяції корисних комах. Інтегрована система захисту мінімізує ризик накопичення пестицидів. Такий підхід забезпечує збалансований розвиток агроландшафту та довгострокову продуктивність ґрунтів.

Врахування результатів наукових досліджень сприяє оптимізації технології вирощування озимого ріпаку шляхом впровадження нових сортів із покращеною морозостійкістю та стійкістю до хвороб. Використання молекулярних маркерів у селекції скорочує час виведення перспективних сортів. Досліди з мікоризними препаратами показують підвищення засвоєння фосфору та стійкість до водного стресу. Генетичні модифікації спрямовані на зниження вмісту ерукової кислоти й покращення харчових властивостей олій. Експериментальні схеми живлення з комбінованими макро- і мікроелементами дають змогу гнучко реагувати на потреби рослин. Впровадження дистанційного моніторингу стану посівів через дрони і супутникові знімки дозволяє оперативно вносити корективи. Результати наукових досліджень формують базу для вдосконалення агротехнічних заходів. Постійне оновлення технології вирощування забезпечує стабільний рівень врожайності в умовах змін клімату.

Сучасна механізація процесів вирощування озимого ріпаку передбачає використання GPS-контрольованих тракторів для обробітку ґрунту, точного внесення добрив і захисту рослин. Сівалки точного висіву з секційною системою вимкнення виключають перекриття та економлять насіння. Обприскувачі з автоматичним регулюванням норми внесення реагентів знижують витрати пестицидів та підвищують безпеку операторів. Дрони з мультиспектральними камерами дозволяють оперативно оцінювати стан посівів

і виявляти ділянки зі стресом. Системи агрохмар сотні полів аналізують дані й формують рекомендації щодо диференційованого внесення ресурсів. Роботи-приймальники насіння автоматизують процеси сипучої логістики на полі. Інтеграція механічних і цифрових технологій підвищує ефективність праці та знижує собівартість вирощування. Розвиток механізації сприяє широкомасштабному застосуванню точного землеробства в Україні.

Дистанційні технології моніторингу полів, включаючи безпілотні літальні апарати та супутникові знімки, дозволяють одержувати актуальні дані про вегетаційний індекс, рівень вологості та бактеріологічний стан ґрунту. Інтеграція мобільних додатків для фіксації обстежень спрощує роботу агрономів у польових умовах. Використання тепловізійних та мультиспектральних сенсорів допомагає рано виявити ураження патогенами та хворобами. Дані агродронів передаються в хмарні сервіси для аналізу великих масивів інформації. На основі цих даних формуються карти диференційованого внесення добрив та гербіцидів. Мобільні платформи дозволяють аграріям оперативно коригувати агротехнічні заходи. Інформаційні технології підвищують точність і швидкість прийняття рішень. Такий підхід забезпечує оптимальне використання ресурсів і підвищує рентабельність виробництва.

Перспективи розвитку технології вирощування озимого ріпаку пов'язані зі створенням стійких до стресів сортів із підвищеним вмістом олії та білка. Використання біоінженерних методів селекції прискорює виведення адаптованих гібридів. Поєднання традиційних агротехнічних заходів із новітніми біопрепаратами й стимуляторами росту дає змогу підвищити врожайність на 20–30 %. Розвиток цифрових платформ для моніторингу та прогнозування погоди зменшує ризики через кліматичні аномалії. Інтеграція автономних роботів для обробітки ґрунту та збору врожаю значно спрощує трудові процеси. Поступовий перехід до безпілотних систем обприскування робить захист рослин більш безпечним для довкілля. Розвиток вертикальних ферм і закритих агрокультурних систем може призвести до нового рівня

інтенсивності вирощування. Синергетичне поєднання генетики, агротехніки та цифрових технологій відкриває нові горизонти в агровиробництві ріпаку.

Розрахунок технологічної карти вирощування озимого ріпаку представлено в додатку А, результати відображені на аркуші 1 графічної частини.

РОЗДІЛ 2

ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Передпосівний обробіток ґрунту є комплексом агротехнічних заходів, спрямованих на створення оптимальних умов для загортання насіння та його подальшого розвитку. Він складається з різних операцій, які взаємодіють між собою, забезпечуючи вирівнювання поверхні, розпушення та ущільнення ґрунту, а також рівномірний розподіл добрив та вологозбереження. Основною метою цих заходів є досягнення дружніх та рівномірних сходів шляхом створення посівного ложа з необхідними фізичними та водно-повітряними властивостями. Ефективний передпосівний обробіток ґрунту дозволяє знизити витрати на додаткові агротехнічні заходи під час вегетації рослин і підвищити загальну врожайність. Ключовим критерієм якості обробітку є глибина та однорідність розпушення верхнього шару ґрунту, яка повинна відповідати вимогам культури та вологості ґрунту. Використання сучасних агрегатів і тракторів з GPS-навігацією забезпечує точність виконання технологічних операцій і мінімізацію перекриттів. Не менш важливим аспектом є збереження родючості ґрунту та профілактика ерозійних процесів. Збалансована система передпосівного обробітку полягає в оптимізації кількості проходів техніки та виборі коректних робочих органів. Комплексний підхід до передпосівного обробітку ґрунту є передумовою для сталого ведення землеробства.

Ґрунт після збирання попередників часто містить рослинні рештки, які можуть перешкоджати рівномірній глибині загортання насіння. Розподіл та заробка наявних решток у верхньому шарі дозволяє уникнути пониження температури ґрунту та поліпшити тепло- та вологоємність. При цьому не рекомендується повне видалення органічної маси, адже вона сприяє покращенню структури ґрунту та підтримує біологічну активність. Агрегати з ротаційними робочими органами здатні подрібнити рештки до фракцій, що швидше перегнивають, та рівномірно розподілити їх по поверхні поля.

Однорідність подрібнення та заробки рослинних залишків є запорукою запобігання утворенню площинного ущільнення. Після цього виконується передплужна культивація для вирівнювання поверхні та підготовки до основної оранки або глибокої культивації. Правильне поєднання технологічних операцій сприяє економії палива та скороченню витрат часу на агрегування техніки. Якісна обробка рослинних залишків підвищує родючість ґрунту та сприяє зниженню популяції шкідників.

При підготовці ґрунту до сівби важливо контролювати рівень вологості верхнього шару, адже надмірне зволоження призводить до ущільнення та злипання грудок. Своєчасне визначення вологості ґрунту здійснюють за допомогою лабораторних методів або в полі датчиками. За умов оптимальної вологості працюють плужні та безплужні агрегати, здатні забезпечити необхідну глибину обробітку без утворення кірки. Якщо вологість недостатня, передпосівна культивація може бути замінена подрібненням і вирівнюванням ґрунту легшими зубовими боронами. В таких умовах застосування важких котків допомагає зберегти вологозапаси перед загортанням насіння. Водночас у занадто сухому ґрунті ризик руйнування ґрунтових агрегатів зростає, тому варто встановлювати оптимальний тиск на робочі органи. Регулювання швидкості руху техніки та глибини обробітку дозволяє уникнути надмірного руйнування структури ґрунту. Врахування погодних умов та характеристик ґрунту є невід'ємною складовою ефективної технології передпосівного обробітку.

Сучасні сівалки точного висіву поєднують у собі кілька функцій: розпушення, вирівнювання, загортання насіння та коткування. Це дозволяє виконувати передпосівний обробіток у мінімальній кількості агротехнічних проходів. Регулювання заглиблення робочих органів виконується з кабіни трактора у діапазоні декількох сантиметрів, що забезпечує точність сівби. Оператори можуть налаштовувати норму висіву насіння відповідно до результатів попереднього ґрунтового аналізу. Вбудовані датчики контролюють якість загортання та ущільнення, сигналізуючи про необхідність коригування

налаштувань. Інтеграція GPS-навігації дозволяє уникнути перекриттів та пропусків, що знижує втрати насіння. Обладнання може автоматично відключати окремі секції при розвертанні, що забезпечує економію ресурсів. За допомогою моніторингу в режимі реального часу агроном отримує дані про стан ґрунту та якість виконаних операцій. Такий підхід сприяє максимальній ефективності передпосівного обробітку та підвищенню врожайності.

Правильний вибір агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту залежить від його механічного складу та ступеня ущільнення. На легких піщаних ґрунтах ефективні ротаційні культиватори та дискові борони, які забезпечують дрібногрудкувату структуру. На середніх за механічним складом ґрунтах застосовують комбіновані агрегати з дисковими та зубовими робочими органами для оптимального розпушення та вирівнювання. На важких глинистих ґрунтах використовують плужні культиватори з потужними пружинними зубами та спеціальні котки з підрізаючими ребрами. Важливо забезпечити достатню тягу трактора для надійного здійснення операцій. Компроміс між глибиною обробітку та витратами палива дозволяє оптимізувати собівартість операцій. Агрегати не повинні залишати необроблені смуги або надмірно руйнувати ґрунт до стану пилової фракції. Конструктивні особливості машин повинні враховувати ергономіку роботи та зручність регулювання.

Обов'язковою складовою передпосівного обробітку є контроль та корекція рівня ущільнення ґрунту. Наявність якорного або коткувального ущільнення необхідна для сприяння капілярному підняттю ґрунтової вологи до рівня загортання насіння. Перевірка ущільнення здійснюється польовими ущільнювачами або інтегрованими датчиками АПК-машин. За недостатнього ущільнення застосовують трубчасті або пружинні котки з підпружиненими котками. Високе ущільнення може бути усунене легким боронуванням або прикоченням котками меншого тиску. Відповідний рівень ущільнення сприяє формуванню дружніх сходів та знижує глибину загортання насіння під власною вагою. При підборі параметрів ущільнення слід враховувати вимоги культури

до повітропроникності ґрунту. Регулярний моніторинг ущільнення зменшує ризик формування ущільнених прошарків, що обмежують коренеутворення. Таким чином, баланс між розпушенням і ущільненням лежить в основі якісного передпосівного обробітку.

Внесення добрив у ході передпосівного обробітку є суттєвим елементом формування родючості ґрунту. Мінеральні та органічні добрива можуть вноситися як на попередньому етапі глибокої культивації, так і безпосередньо перед сівбою на малу глибину. Гранульовані добрива вносяться за допомогою модульних систем, інтегрованих у західний агрегат. Борони або культиватори з додатковими розкидачами забезпечують рівномірний розподіл добрив по поверхні. Після внесення добрив необхідне їх загортання для запобігання втрат азоту аміачними випарами та фосфору через поверхневе змивання. Загортання виконується зубчатими котками або неглибокою культивацією. Важливо дотримуватися режиму роботи агрегатів, аби не створити надмірного ущільнення. Оптимальне поєднання добривоносних операцій і обробітку ґрунту забезпечує ефективне засвоєння поживних речовин рослинами.

Операційна технологія передпосівного ґрунту розрахована в додатку Б, результати представлені на аркуші №2 графічної частини.

РОЗДІЛ 3

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИКОЧУВАЧА ҐРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТУ

Дослідження конструкцій ґрунтообробних котків виявило, що більшість сучасних моделей характеризується надмірним енергоспоживанням, недостатньою здатністю формувати мульчу, необґрунтовано великою власною масою та нерегульованими режимами роботи. Через ці недоліки такі котки малоефективні в системах мінімального та біологічного землеробства, де передпосівний обробіток ґрунту має вирішальне значення. Отже, завдання скорочення витрат енергії та підвищення якості підготовки поля залишається надзвичайно актуальним. Для досягнення поставлених цілей необхідно розробити принципово нові робочі органи, здатні одним проходом забезпечити комплексну підготовку ґрунту до сівби.

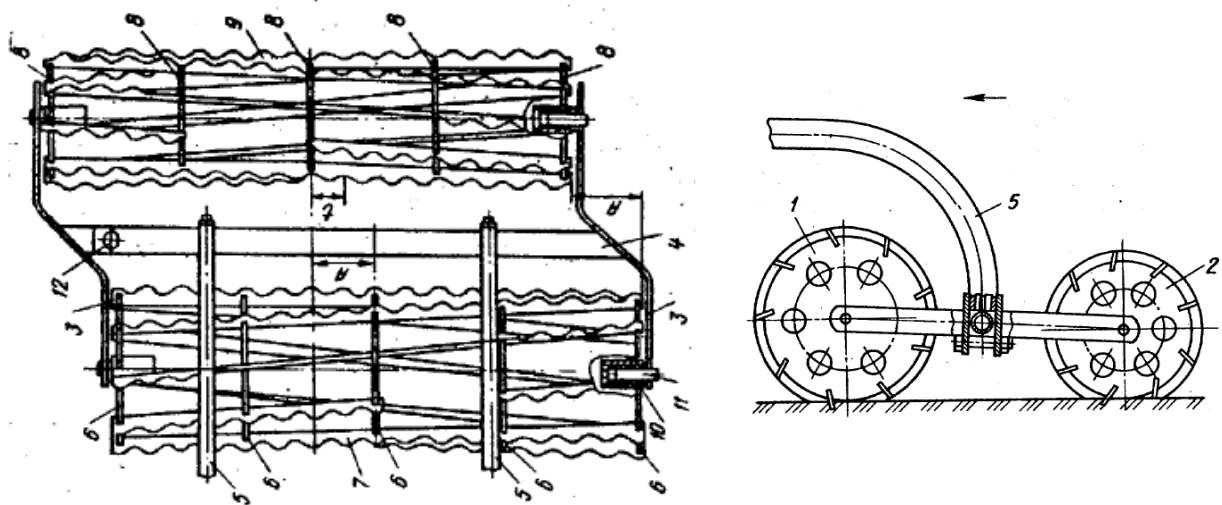


Рис. 3.1. Планчастий коток.

Дослідження різних конструкцій котків показало, що найкращі результати ущільнення досягаються застосуванням кілець діаметром 550 мм із овальним (краплеподібним) перетином обода шириною 25–27 мм, розташованих на осі з кроком 80–100 мм. При проході такого кільчастого котка максимальний рівень ущільнення фіксують на глибині 60–100 мм. Аналогічно,

спіральні котки діаметром 460 мм із прутком шириною 30 мм та кроком 95 мм забезпечують ущільнення на глибині 50–100 мм за питомого вертикального навантаження 0,8–2,2 кН/м.

У лісостеповій зоні доцільно використовувати планчасті котки: їх діаметр становить 230–380 мм, товщина прутків – 8–16 мм, відстань між прутками – 60–120 мм, а їх кількість по колу – 6–12 штук. Після обробітку ґрунту культиватором або пружинною бороною з установленими секціями таких котків утворюється дрібнозерниста структура та досягається густина 1,1–1,2 т/м³.

Планчасті прутки, встановлені по спіралі, ефективно ущільнюють підповерхневий шар (50–100 мм), проте недостатньо вирівнюють поверхню поля. Крім того, жорстке кріплення прутків призводить до їх засмічення ґрунтом і рослинними залишками при вологості понад 18–22 %, що обмежує використання комбінованих агрегатів у таких умовах.

Ущільнення передпосівного обробітку ґрунту має здійснюватися наприкінці комплексу агротехнічних заходів, оскільки саме ущільнений шар набуває необхідної щільності. Під дією навантаження в ґрунті виникають внутрішні напруження, подолання яких викликає його остаточну деформацію, що і створює ефект ущільнення.

3.1. Обґрунтування розрахунку прикочувального вузла

3.1.1. Аналіз та розрахунок з'єднувального елемента котка-розпушувача. Коток-розпушувач фіксується до рами культиватора за допомогою шворня та сталевго пальця. У процесі руху агрегату — як у робочому, так і в транспортному положенні — на палець у зоні кріплення виникають зминальні напруження. Величину цих напружень визначають, виходячи з умов міцності [4]:

$$\sigma_{зм} = \frac{F_m}{2d\delta} \leq [\sigma_{зм}] \quad (3.1)$$

де F_m – тягове зусилля на гаку трактора, Н; $F_m = 13200$ Н [4];

d – відповідно до конструктивних вимог, сталеві вісь обрана діаметром 30 мм.

δ – Довжина контактної зони, мм – за конструктивними вимогами приймаємо $\delta = 60$ мм.

$$\sigma_{зм} = \frac{13200 \cdot 10^6}{2 \cdot 30 \cdot 60} = 36,7 \text{ МПа}$$

Міцність пальця забезпечена.

Тепер розрахуємо напругу розриву в кронштейні сніці, виходячи з критерію міцності при розриві:

$$\sigma_p = \frac{F_m}{4a\delta} \leq [\sigma_p] \quad (3.2)$$

де a – розрахункова ширина руйнівної поверхні кронштейна сніці; згідно з конструктивними параметрами беремо $a = 50$ мм.

$$\sigma_p = \frac{13200 \cdot 10^6}{4 \cdot 50 \cdot 60} = 41 \text{ МПа}.$$

Наступним критичним з'єднанням з точки зору міцності є зварний шов, який фіксує кронштейн до сніці котка. Для цього зварного з'єднання умова міцності записується у такому вигляді [4]:

$$\tau_{зр} = \frac{F}{2S_{зр}} \leq [\tau_{зр}] \quad (3.3)$$

де $S_{зр}$ – площа шва, мм²;

$$S_{зр} = 0,7kB_{шв} \quad (3.4)$$

де k – товщина шва, мм; $k = 3$ мм;

B – протяжність кутового зварного шва, мм; $B = 160$ мм.

$$S_{зр} = 0,7 \cdot 3 \cdot 160 = 336 \text{ МПа}$$

$[\tau_{зр}] = 75-80 \text{ МПа}$ – допустиме напруження зріза матеріалу шва.

$$\tau_{зр} = \frac{13200 \cdot 10^6}{2 \cdot 336} = 19.6 \text{ МПа}$$

Аналіз отриманих результатів підтверджує, що вузли з'єднання котка-розпушувача мають істотний запас міцності (приблизно в три рази). Для кріплення котків до рами застосовуються дерев'яні підшипники валів батареї котків. Далі розрахуємо питомий тиск [4]:

$$P = \frac{F_n}{S_n} = \frac{F_n}{dL} \leq [P] \quad (3.5)$$

де d – діаметр котка, мм;

L – довжина вала котка, мм;

$[P]$ – допустимий питомий тиск, МПа; $[P] = 1,5-2,0$ МПа;

F_n – сила тиск, МПа.

$$F_n = \frac{G_m}{4} \quad (3.6)$$

де G_m – вага агрегату, Н.

$$F_n = \frac{15000}{4} = 3750H$$

$$P = \frac{3750 \cdot 10^4}{45 \cdot 100} = 8,3 \text{ МПа}$$

Оскільки умова міцності не задовольняється, дерев'яні підшипники в цих умовах непридатні. Тому доцільно перейти на бронзові підшипники ковзання, для яких допустимий питомий тиск становить 15 МПа.

3.1.2 Розрахунок вала котка-розпушувача на міцність

Опорні котки закріплено на валу, який обертається в бронзових підшипниках ковзання. Цей вал виконано з труби довжиною 2,8 м, змонтованої в двох підшипникових опорах із міжосьовою відстанню 1,75 м. На вал діють зусилля від маси котків G та сили опору коченню R .

Вихідні дані для розрахунку:

Вага котка $G = 220 \text{ Н}$;

Коефіцієнт опору коченню котка $f = 0,25$.

Сумарна сила опору коченню котка дорівнює:

$$R = Gf \tag{3.7}$$

$$R = 220 \cdot 0,25 = 55 \text{ Н}$$

– Розраховуємо величину та вектор вертикальних опорних реакцій під дією сили G .

$$R_A^e = R_B^e = \frac{90 \cdot 22}{2} = 990H$$

– розраховуємо величину згинаючих моментів у критичному перерізі в вертикальній площині:

$$\begin{aligned} M_C^e &= -G \cdot 4 \cdot 35 - G \cdot 3 \cdot 35 - G \cdot 2 \cdot 35 - G \cdot 35 + R_A \cdot 87,5 = \\ &= -22(140 + 105 + 75 + 35) + 99 \cdot 87,5 = 85,25H \cdot m \end{aligned}$$

$$M_A^e = -G \cdot 52,5 - G \cdot 17,5 = -22(52,5 + 17,5) = -154H \cdot m$$

– розраховуємо величину та напрямок опорних реакцій у горизонтальній площині:

$$R_A^z = R_B^z = \frac{90 \cdot 5,5}{2} = 250H$$

– розраховуємо значення згинаючих моментів у горизонтальній площині:

$$M_A^z = -5,5 \cdot 52,5 - 5,5 \cdot 17,5 = 38,5H \cdot m$$

$$\begin{aligned} M_C^z &= -5,5 \cdot 4 \cdot 35 - 5,5 \cdot 3 \cdot 35 - 6,5 \cdot 2 \cdot 35 - 5,5 \cdot 35 + R_A^z \cdot 87,5 = \\ &= -5,5 \cdot 140 + 105 - 75 + 351 + 25 \cdot 87,5 = 22,5H \cdot m \end{aligned}$$

Небезпечні перерізи будуть на опорах А та В, де $M_{max}^e = 1540H \cdot m$,
 $M_{max}^z = 38,5H \cdot m$

Обчислюємо сумарний згинаючий момент у критичному перерізі:

$$M_{max} = \sqrt{M_{max}^e + M_{max}^z} = \sqrt{1540^2 + 38,5^2} = 159H \cdot m$$

Критерій міцності в критичному перерізі:

$$G_{max} = \frac{M_{max}}{W} \leq [G] \quad (3.8)$$

$$W = \frac{\pi D_h^3}{32} (1 - L^4) \quad (3.9)$$

$$L = \frac{dB_h}{D_h} \quad (3.10)$$

$$L = \frac{50}{75} = 0,67 \text{ см}$$

$$W = \frac{3,14 \cdot 75^3}{32} (1 - 0,2) = 33,1 \text{ см}^2$$

Тоді $G_{max} = \frac{1590}{33,1} = 48 \text{ Н/см}^2$ що менше допустимого.

Отже умова міцності вала забезпечена.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі розроблено технологічну карту вирощування озимого ріпаку та створено операційну технологію передпосівного обробітку ґрунту. Виконано аналіз існуючих методів підготовки ґрунту й виявлено основні фактори, що впливають на якість посівного ложа. Розроблена схема інтегрує операції розпушення, вирівнювання та ущільнення у єдиний прохід, що знижує палива витрати та час на обробіток. Для кожного етапу визначено оптимальні глибинно-часові режими та параметри робочих органів. Створено чіткий алгоритм виконання робіт із рекомендаціями щодо налаштувань сільськогосподарської техніки. Затверджено нормативні значення питомого тиску та енергетичні показники, які забезпечують стабільність формування дружних сходів. Такий комплексний підхід гарантує ефективність технології за різних агротехнічних умов та типів ґрунту.

У результаті проведеного аналізу конструкцій котка-розпушувача встановлено, що надійність вузла кріплення забезпечується значним запасом міцності, що перевищує розрахункові вимоги майже у три рази. Це свідчить про правильний вибір геометричних та матеріальних параметрів з'єднувальних елементів, які витримують як статичні, так і динамічні навантаження в процесі роботи ґрунтообробного агрегату..

Модернізація прикочувального пристрою дозволяє значно знизити енергетичні витрати агрегату за рахунок оптимізації масово-геометричних характеристик робочих органів і впровадження інтегрованого виконання операцій розпушення, вирівнювання та ущільнення ґрунту. Це сприятиме покращенню мульчувального ефекту та підвищенню якості передпосівного обробітку в системах мінімального й біологічного землеробства.

Запропонована конструкція відрізняється універсальністю та може адаптуватися до різних механічних властивостей ґрунту шляхом зміни параметрів кілець або прутків котка. Такий підхід гарантує гнучкість у

налаштуванні агрегату під конкретні агротехнічні умови та дозволяє досягати стабільно високих результатів незалежно від типу ґрунту.

Впровадження розробленого пристрою забезпечить підвищення продуктивності роботи техніки, зменшить кількість технологічних проходів і сприятиме економії матеріальних та енергетичних ресурсів. У підсумку це сприятиме зростанню врожайності та зниженню собівартості вирощування сільськогосподарських культур.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамчук В. В. Механізація сільськогосподарського виробництва. Київ : Аграрна освіта, 2018. 450 с.
2. Гевко Б. М. Теорія, конструкція та розрахунок сільськогосподарських машин. Тернопіль : ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2016. 612 с.
3. 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.
4. 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.
5. Биков О. П. Технологія обробітку ґрунту: підручник. Київ: Урожай, 2018. 384 с.
6. Власенко І. М. Механізація передпосівних операцій: монографія. Харків: Прапор, 2016. 252 с.
7. Гнатюк С. В. Інтегровані технології землеробства: навч. посібник. Львів: Новий світ, 2019. 320 с.
8. Демченко Ю. І. Оптимізація енерговитрат ґрунтообробних машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02. Одеса, 2017. 180 с.
9. Железняк А. П. Сільськогосподарські котки: класифікація та конструкція: журн. «АгроМаш», 2020, № 4, с. 12–18.
10. Зоряна Л. В. Екологічні аспекти мінімального обробітку ґрунту: журн. «Екологія та Агро», 2021, № 2, с. 45–52.
11. Калиновський П. С. Точне землеробство: сучасні підходи: монографія. Київ: Наукова думка, 2022. 276 с.
12. Кириленко М. О. Розробка агрегатів для передпосівного обробітку: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02. Дніпро, 2018. 196 с.
13. Козак Т. Г. Біологічний землеробство: перехідні технології: навч. посібник. Херсон: Таврія, 2017. 240 с.

14. Корнієнко І. М. Посівні агрегати: конструкція та принцип роботи: Харків: Східний видавничий дім, 2019. 312 с.
15. Литвиненко В. В. Інноваційні матеріали в підшипниках сільгоспмашин: монографія. Київ: Поліс, 2020. 220 с.
16. Лук'яненко О. І. Аналіз Енергетичних показників ґрунтообробних машин: журн. «Механізація АПК», 2018, № 6, с. 30–37.
17. Новіков С. А. Мульчування ґрунту: технології та обладнання: навч. посібник. Чернігів: ЧДТУ, 2021. 184 с.
18. Олійник Ю. В. Механічні характеристики ґрунту: монографія. Львів: Львівська політехніка, 2017. 208 с.
19. Павленко Р. А. Вплив ущільнення на врожайність культур: журн. «Агрохімія», 2020, № 1, с. 22–29.
20. Петров К. Ю. Модернізація ґрунтообробних котків: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.02. Запоріжжя, 2019. 280 с.
21. Романюк Ф. П. Технологічні карти в агровиробництві: підручник. Київ: УАБ, 2021. 256 с.
22. Савченко А. П. Інтегрована система обробітку ґрунту: журн. «Агропромисловий ринок», 2019, № 3, с. 10–16.
23. Сидоренко Т. М. Основи механіки ґрунту: навч. посібник. Одеса: ОНУ, 2018. 192 с.
24. Соловйова Г. Я. Елементна база сільгоспмашин: монографія. Харків: ХАДІ, 2022. 244 с.
25. Степаненко І. Ю. Вплив передпосівного обробітку на водний режим ґрунту: журн. «Вода і ґрунт», 2021, № 4, с. 33–40.
26. Терещенко О. М. Байоекономічні аспекти мінімального обробітку: журн. «Економіка АПК», 2020, № 2, с. 18–26.
27. Ткаченко В. І. Ресурсощадні технології землеробства: підручник. Житомир: Полісся, 2019. 304 с.
28. Устименко В. П. Моніторинг стану ґрунтів дронами: журн. «Дрони в агро», 2022, № 1, с. 5–12.

29. Федоров Ю. І. Взаємодія робочих органів з ґрунтом: монографія. Київ: Наукова думка, 2017. 268 с.

30. 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.

31. 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

32. 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.