

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

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

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Польовий Артем Володимирович

УДК 631.17

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
УДОСКОНАЛЕННЯ КОМПЛЕКСУ МАШИН ДЛЯ
ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ З РОЗРОБКОЮ
СПЕЦІАЛЬНОГО ПЛУГА**

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 _____ Польовий А.В.

Керівник роботи

Білецький В.Р.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Польовий Артем Володимирович. Удосконалення комплексу машин для вирощування кукурудзи з розробкою спеціального плуга. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

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

Виконання кваліфікаційної роботи дозволило сформулювати комплексний підхід до удосконалення машинно-тракторного агрегату для вирощування кукурудзи, що включає аналіз агротехнічних вимог, оптимізацію режимів основного обробітку ґрунту та розробку спеціального чизельного плуга-розпушувача. Запропонований агрегат із трактором К-701 і восьмикорпусним плугом із криволінійними стояками забезпечує глибоке (до 0,35 м) розпушування ущільненого шару ґрунту, що сприяє покращенню водопроникності та аерації кореневої зони. Конструктивні параметри плуга — ширина захвату 4 м, висота стояків понад 0,74 м та ККД на рівні 88 % — забезпечують ефективне руйнування ущільнень із мінімальними втратами енергії. Застосування криволінійних стояків знижує інтенсивність викиду ґрунту на поверхню, що полегшує подальші технологічні операції та зменшує ерозійні процеси. Розрахунки тягового опору в діапазоні 40–45 кН свідчать про необхідність використання потужного трактора з тяговою здатністю понад 120 кВт. Така комбінація гарантує стабільну продуктивність за мінімальних пробуксовок і економне споживання пального при швидкості обробітку 6–8 км/год. Підсумовуючи, розроблена операційна технологія основного обробітку ґрунту з використанням трактора К-701 і чизельного плуга-розпушувача демонструє високу продуктивність, економічну ефективність та екологічну безпечність.

Keywords: чизельний плуг, обробіток, кукурудза, технологія, продуктивність.

ANNOTATION

Artem Volodymyrovych Polovyi. Improvement of the complex of machines for growing corn with the development of a special plough. – 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 completion of the qualification work made it possible to formulate a comprehensive approach to improving the machine-tractor unit for growing corn, which includes an analysis of agrotechnical requirements, optimisation of the main soil cultivation modes, and the development of a special chisel plough-cultivator. The proposed unit with a K-701 tractor and an eight-body plough with curved stands provides deep (up to 0.35 m) loosening of the compacted soil layer, which improves water permeability and aeration of the root zone. The design parameters of the plough — working width of 4 m, height of tines over 0.74 m and efficiency of 88% — ensure effective destruction of compaction with minimal energy loss. The use of curved tines reduces the intensity of soil ejection to the surface, which facilitates further technological operations and reduces erosion processes. Calculations of traction resistance in the range of 40–45 kN indicate the need to use a powerful tractor with a traction capacity of over 120 kW. This combination guarantees stable performance with minimal slippage and economical fuel consumption at a working speed of 6–8 km/h. In summary, the developed operational technology for primary soil cultivation using a K 701 tractor and a chisel plough demonstrates high productivity, economic efficiency and environmental safety.

Keywords: chisel plough, cultivation, corn, technology, productivity.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ.....	9
РОЗДІЛ 2. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ГРУНТУ.....	19
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ.....	26
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	38

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сучасне агровиробництво перебуває під тиском зростаючих демографічних потреб і кліматичних викликів, що висуває високі вимоги до інтенсифікації, економічності та екологічності технологічних заходів. Правильний основний обробіток ґрунту є одним із ключових факторів, що визначають рівень урожайності кукурудзи, з огляду на глибоке формування кореневої системи та забезпечення оптимальної аерації й водоутримання. Водночас традиційні методи оранки призводять до ущільнення нижчих прошарків, підвищення тягового опору та витрат пального, що негативно позначається на довгостроковій родючості полів.

В умовах нестабільних опадів і частих стресових періодів важливо впроваджувати ґрунтообробні агрегати з високим коефіцієнтом використання енергії і мінімальними втратами вологості. Поєднання потужного трактора К-701 з восьмикорпусним чизельним плугом-розпушувачем із криволінійними стояками дає змогу досягти глибини розпушування до 0,35 м без значного викиду обробленого шару на поверхню. Така технологія знижує тяговий опір до 40–45 кН при ККД плуга 88 % і дозволяє оптимізувати витрати пального за рахунок зменшення пробуксовок та рівномірного розподілу навантаження.

Економічна доцільність впровадження нового ґрунтообробного комплексу підтверджується розрахунками продуктивності на рівні 14,8 га/год, що забезпечує своєчасність виконання польових робіт у критичні агротехнічні строки. Завдяки розробленим конструктивним параметрам (ширина захвату 4 м, висота стояків понад 0,74 м, тягові характеристики трактора понад 120 кВт) знижується знос робочих органів і спрощується технічне обслуговування. Це суттєво підвищує рентабельність виробництва та скорочує період окупності інвестицій у техніку.

Впровадження описаного рішення у практику сприяє сталому розвитку агровиробництва за рахунок збереження структури ґрунту, зменшення ерозійних процесів та покращення біологічної активності кореневого шару.

Інтеграція таких агрегатів із системами точного землеробства та GPS-навігацією дозволяє адаптувати глибину й інтенсивність обробітку до локальних умов поля, що є важливим для мінімізації екологічного навантаження. Таким чином, тема вдосконалення комплексу машин для основного обробітку ґрунту є надзвичайно актуальною з позицій підвищення продуктивності, економічної ефективності та довгострокової збереженості агроєкосистем.

Метою дослідження є розробити та обґрунтувати операційно-конструктивні рішення для удосконалення комплексу машин із трактором К-701 та 8-корпусним чизельним плугом-розпушувачем із криволінійними стояками з метою підвищення якості основного обробітку ґрунту під вирощування кукурудзи, зниження енерговитрат і збереження родючості ґрунту.

Завдання дослідження:

- проаналізувати сучасні технології основного обробітку ґрунту під кукурудзу та визначити їхні переваги й недоліки в умовах інтенсивного землеробства;
- визначити технічні вимоги до агрегату «трактор К-701 + чизельний плуг-розпушувач» з урахуванням характеристик ґрунтів регіону та агротехнічних норм;
- розробити конструкцію 8-корпусного чизельного плуга-розпушувача із криволінійними стояками, визначивши оптимальну глибину та висоту стояків;
- провести розрахунок тягового опору плуга при ширині захвату 4 м і встановити необхідну тягову потужність трактора (> 120 кВт) для забезпечення стійкого руху та мінімальних пробуксовок;
- розробити рекомендації щодо впровадження та експлуатації запропонованого агрегату в умовах точного землеробства й мінімізації екологічного навантаження.

Об'єктом дослідження є машинно-тракторний агрегат, що складається з трактора К-701 та спеціально розробленого 8-корпусного чизельного плуга-розпушувача з криволінійними стояками, який призначений для основного обробітку ґрунту під вирощування кукурудзи.

Предметом дослідження є закономірності взаємодії трактора К-701 та 8-корпусного чизельного плуга-розпушувача з криволінійними стояками під час основного обробітку ґрунту, зокрема формування тягового опору, рівня енергетичної ефективності (ККД), глибинного розпушування та продуктивності агрегату.

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. 91-92.

2. Герасимчук Д.В., Шевчук О.А., **Польовий А.В.**, Прищепя А.В. Методи підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин. Аналіз технології вирощування лікарських злакових трав. 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. 111-113.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості безпосереднього впровадження розробленого машинно-тракторного агрегату в виробничі умови, що забезпечить підвищення ефективності основного обробітку ґрунту. Застосування трактора К-701 у поєднанні з 8-корпусним чизельним плугом-розпушувачем із криволінійними стояками дає змогу досягти

необхідної глибини розпушування при мінімальних витратах пального та зниженні тягового опору до 40–45 кН.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 23 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 39 сторінок комп'ютерного тексту, містить 7 рисунків та 4 додатки.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ

Сучасне вирощування кукурудзи починається з детального аналізу ґрунтово-кліматичних умов кожного поля. Визначають рівень ґрунтової кислотності, вміст органічної речовини, гранулометричний склад та запас доступних поживних елементів. На основі цих даних складають карту зон родючості й планують систему удобрення з диференційованим внесенням добрив. Особливу увагу приділяють зволоженню ґрунту: у посушливих регіонах актуальними стають краплинні та точкові системи з контролем вологості. У районах із достатніми опадами застосовують модифіковані дощувальні машини з датчиками вологості й погодними станціями. До передпосівної обробки залучаються технології мінімальної обробки та no-till, що дозволяють зберегти структуру ґрунту й зменшити ерозію. Для оптимального розпушення використовують багатофункціональні агрегати, здатні одночасно вносити добрива. Попередньо виконують калібрування ґрунтових куліс і коригують глибину обробки відповідно до індексів веселокології [1-4].

Вибір гібриду кукурудзи визначається не лише потенційною врожайністю, а й стійкістю до абіотичних стресів і хвороб. Інтенсивні й суперінтенсивні гібриди адаптовані до обмеженого зволоження завдяки розвиненій кореневій системі й здатності економніше використовувати воду. Гібриди різних груп стиглості дозволяють розподілити навантаження на логістику в період збирання та уникнути пікових зривів у роботах. Селекційні програми зосереджені на підвищенні толерантності до фузаріозу й іржі, а також на поліпшенні фотосинтетичної активності листя. У сучасних посівах популярні гібриди з підвищеним вмістом крохмалю та маси качана, що підвищує енергійну цінність зерна. При виборі сорту враховують ротацію культур, щоб уникнути накопичення специфічних збудників хвороб у ґрунті.

Крім того, технології гібридизації передбачають застосування маркерної селекції для точного відбору бажаних ознак [5-7].

Сівба кукурудзи виконується високоточними сівалками з GPS-керуванням та системами автоматичної компенсації ковзання. Це гарантує рівномірність рядків і правильне дотримання міжряддя, що є критичним для оптимізації використання площі. Сучасні агрегати мають датчики контролю виходу насіння та системи виявлення пропусків, що зменшує кількість незасіяних ділянок. Для адаптації до різних ґрунтових умов використовують регульовані сошники й систему контролю тиску на ґрунт. Норма висіву змінюється в межах поля відповідно до карт родючості та ухилу поверхні. При цьому сівалки інтегруються з платформами точного землеробства, що автоматично коригують параметри в реальному часі. Запровадження технології змінної глибини загортання дозволяє враховувати фракційний склад ґрунту й попереджувати надмірний тиск на посіяне зерно.



Рис. 1.1. Сівба кукурудзи и за технологією no-till

Протруювання насіння стало обов'язковим етапом, що забезпечує захист молодих рослин від ґрунтових патогенів і шкідників. Сучасні фунгіцидно-інсектицидні протруйники комплексно підтримують енергію проростання та стимулюють розвиток кореневої системи. Використовують біопрепарати на основі триходерми й ентеробактерій, що підвищують імунітет рослин і сприяють швидкому сходженню. Нанесення покриття з мікроелементами й амінокислотами поліпшує стійкість до стресів. Автоматизовані лінії обробки насіння забезпечують точне дозування й однорідність покриття. Контроль якості протруювання здійснюється за допомогою спектрофотометрії, що дозволяє виявити нерівномірності на ранніх етапах. Це зменшує ризик зріджених сходів і підвищує енергію проростання до максимуму.

Рациональне удобрення ґрунту передбачає мультифазне внесення макро- і мікродобрих. На етапі сівби ґрунт збагачують стартовими NPK-комплексами, що містять доступний фосфор і цинк для кореневої системи. Пізніше застосовують позакореневі підживлення карбамідом у фазу 6–8 листків та у фазу викидання волоті. Для оптимізації азотного живлення проводять листовий аналіз та коригують норми внесення в реальному часі. Мікродобрива з бором, марганцем і молібденом важливі для формування качана й рівномірності зерна. Рідкі комплекси у поєднанні з біостимуляторами знижують агрохімічне навантаження на ґрунт. Системи точного землеробства дозволяють вносити добрива точково, виходячи з карт зон родючості [7].

Іригація в технології вирощування кукурудзи базується на адаптивних системах керування водним режимом. Краплинне зрошення та дощувальні машини з датчиками вологості реагують на реальні потреби рослин. Мульчування поверхні мульчуючими покриттями чи сидератами зменшує випаровування. В критичні фази розвитку – цвітіння та налив – система автоматично підвищує інтенсивність подачі води. Використання супутникового моніторингу забезпечує прогнозування дефіциту вологи та коригування графіку поливу. Інтеграція з мобільними додатками дозволяє агроному у будь-який час

контролювати роботу системи. Це сприяє економії води до 30 % і стабілізації врожайності за змінних погодних умов [5-9].

Боротьба з бур'янами здійснюється в рамках інтегрованого захисту: поєднання механічних, агротехнічних і хімічних методів. Технології strip-till і no-till зменшують базу живлення бур'янів, а післясходові гербіциди прицільно впливають на надземну масу. Ротація гербіцидів запобігає формуванню резистентних штамів. Використання мульчі з сидератів пригнічує проростання бур'янів без застосування хімії. Сучасні обприскувачі з GPS-навігацією дозволяють локально вносити пестициди, мінімізуючи витрати та негативний вплив на довкілля. При цьому швидкість руху техніки адаптується в реальному часі для забезпечення оптимального покриття [6].

Управління шкідниками ґрунтується на прогнозі за фенофазами шкідливих видів і економічному порозі шкодочинності. Системи Degree-Day дозволяють визначити оптимальні строки обробки проти стеблового метелика та довгоносика. При перевищенні порогу економічних втрат застосовують інсектициди з різних хімічних груп для запобігання резистентності. Біотехнічні рішення, такі як феромонні пастки, забезпечують моніторинг без надмірних обробок. Дрони з камерами виявляють осередки ураження та дозволяють оперативно реагувати на загрозу. Це скорочує загальні витрати на захист і зберігає корисних ентомофагів.

Системи діагностики посівів ґрунтуються на безпілотних літальних апаратах з мультиспектральними камерами. Отримані знімки аналізують індекси вегетації (NDVI, GNDVI), щоб оцінити ознаки стресу та дефіциту поживних речовин. Інтелектуальні платформи автоматично формують карти зон несправностей та рекомендують коригувальні заходи. Карти густоти рослин допомагають планувати підсадження й оцінювати рівномірність сходів. Геоприв'язка даних сприяє оптимізації логістики збиральних робіт і економії пального. Інтеграція цих рішень з системами точного землеробства забезпечує оперативне коригування технологій [7-9].



Рис. 1.2. Діагностика посівів кукурудзи.

Листковий аналіз поживного стану проводять для своєчасного коригування мінерального живлення. Визначення вмісту азоту, фосфору, калію та мікроелементів у тканинах листя дає змогу уникнути надлишкового внесення добрив. Фоліарні підживлення із застосуванням полімерних гідрогелів зберігають вологу біля листкової поверхні. Стимулятори росту на основі амінокислот пришвидшують розвиток кореневої системи та підвищують стійкість до посухи. Розчини з низькою солоністю знижують фитотоксичний ефект та сприяють кращому поглинанню. Це дозволяє підвищити використання азоту до 90 % і мінімізувати втрати в довкілля [7-9].

Фізіологічні регулятори росту застосовують у ключові фази розвитку, зокрема під час формування генеративних органів. Цитокініни стимулюють поділ клітин у меристемах, забезпечуючи інтенсивне утворення волоті та качана. Ауксини сприяють розвитку кореневої системи та поліпшенню водопоглинання. Одночасне застосування різних груп регуляторів дозволяє коригувати ріст і подовження міжвузля. Використання систем аерозольного внесення забезпечує рівномірне покриття поверхні листя. Це сприяє підвищенню маси качана й рівномірності зерна, а також укріпленню клітинних оболонок [8-9].

Управління густотою посіву передбачає адаптивний підхід із можливістю корекції після сходів. У разі нерівномірного зій у застосовують підсадження вільних рослин із використанням спеціальних роторних сівалок. Контроль густоти дозволяє запобігти загущенню, що знижує провітрювання та підвищує ризик хвороб. Оптимальна густина забезпечує максимальну продуктивність фотосинтезу на одиницю площі. Системи точного землеробства коригують норми висіву в реальному часі на основі інформації з дронів. Це дозволяє гнучко реагувати на неоднорідність поля.

Інтеграція культур у міжряддях кукурудзи спрямована на підвищення біорізноманіття та боротьбу з ерозією. Сидерати в міжряддях збагачують ґрунт органікою й фіксують азот у післяжнивний період. Вибір рослин залежить від сівозміни та головної культури, щоб уникнути конфлікту за ресурси. Багатокомпонентні посіви сприяють пригніченню бур'янів біологічними методами. Післяжнивні культури можна використовувати як зелений корм або біомасу для енергетичних потреб. Це підвищує загальну стійкість агроєкосистеми [5-12].

Сівозміна є ключовим елементом стійкої технології вирощування кукурудзи. Ротація з бобовими, зернобобовими та просапними культурами зменшує накопичення збудників хвороб і шкідників. Сидерати та покривні культури відновлюють органічний вуглець у ґрунті. Зміна культур дозволяє оптимізувати використання елементів живлення з ґрунту та знижує потребу в мінеральних добривах. Ротація з бобовими сприяє азотфіксації та поліпшенню структури ґрунту. Такий підхід забезпечує високий рівень родючості без застосування інтенсивної агрохімії [3-7].

Збереження ґрунту реалізують через поперечне орання, терасування та захисні насадження. Мульчування стернею після обмолоту захищає верхній шар ґрунту від освіти кірки й знижує ерозію. Контурна орань по схилах зменшує стік води й втрати родючої речовини. Захисні смуги із багаторічних трав запобігають розмиву ґрунту. Впровадження стрічкових смуг із рослинами-

фільтрами поліпшує водоутримуючу здатність. Це особливо актуально на мальовничих схилах та в басейнах річок.

Цифрові платформи точного землеробства об'єднують збір, аналіз і візуалізацію даних. Вони інтегрують інформацію з ґрунтових зон, іригації, добрив і захисту рослин. Це дозволяє створити єдину інформаційну модель поля для прийняття рішень. Мобільні додатки надають агроному доступ до даних у полі в режимі реального часу. Хмарні рішення забезпечують історію полів і порівняння врожаїв по роках. Сервіси прогнозування на основі машинного навчання підвищують точність агротехнічних рекомендацій.

ГІС-технології використовують для картографування полів і планування логістики. Інтерактивні карти зон родючості дозволяють візуалізувати неоднорідність ґрунту. Вони слугують основою для диференційованого внесення добрив і захисту рослин. Поєднання ГІС з GPS-агрегацією дає змогу коригувати технологічні карти в режимі реального часу. Це сприяє підвищенню ефективності всіх операцій на полі. Застосування ГІС також допомагає виконувати агровиробничі субсидії та звітність перед державними органами [9].

Оптимальні строки збирання кукурудзи визначають за вологістю зерна та прогнозами погоди. Збирання вологого зерна потребує менш інтенсивної комбайнової обробки, що знижує втрати. Сучасні комбайни обладнані системами автоматичного регулювання решіт і ножів, що забезпечує якісне очищення зерна. Використання GPS-навігації в комбайнах мінімізує пропуски й подрібнення качанів. Після збору зерно направляють на сушильні комплекси з рекуперацією тепла. Це дозволяє зберегти якість і енергозбереження [8].

Післязбиральна обробка включає контроль вологості, очищення від домішок і калібрування зерна. Автоматизовані установки з шейкерами й повітродувками видаляють легкі домішки. Сепаратори з вібраційними столами сортують зерно за розміром і формою. Зерно зі зниженим вмістом пилу краще зберігається й менше пошкоджується шкідниками. Сучасні системи контролю вологомірів інтегруються в лінії обробки. Це забезпечує підтримання оптимальної вологості на рівні до 14 % [9].

Зберігання кукурудзи проводять у силосах зі змішаною аерацією та температурним контролем. Інтелектуальні системи відстежують зміну температури й вологості в різних шарах силосу. При необхідності включають вентиляцію чи активне охолодження. Це запобігає розвитку цвілі й збереженню поживних властивостей зерна. Силоси споруджують із антикорозійних матеріалів, що знижує витрати на обслуговування. Впровадження сенсорів дозволяє формувати звіти для менеджменту агрокомпанії.

Логістика зернової продукції охоплює планування маршрутів, транспортування й відвантаження. Використовують спеціалізовані зерновози з датчиками ваги та вологості. Це забезпечує точне виконання контрактних зобов'язань і знижує ризик претензій. Системи стеження GPS контролюють рух автотранспорту й скорочують час простою. Оптимізація маршрутів дає змогу знизити витрати на паливо та обслуговування. Інтеграція з ERP-системою дозволяє автоматизувати документообіг і платежі.

Економічний аналіз технологічного циклу включає розрахунок собівартості виробництва та ймовірних доходів. Моделі «витрати–вигоди» враховують ціни на насіння, добрива, паливо й оплату праці. Сценарії «найкращий–найгірший» допомагають оцінити ризики за різних погодних умов. Інвестиційні рішення приймають на основі дисконтованого грошового потоку та внутрішньої норми рентабельності. Це дозволяє визначити доцільність впровадження нових технологій. Регулярний фінансовий моніторинг забезпечує своєчасну корекцію стратегії [7].

Сталий розвиток агровиробництва передбачає мінімізацію впливу на навколишнє середовище. Застосовують технології точного внесення добрив, щоб запобігти евтрофікації водних об'єктів. Використання біопрепаратів зменшує хімічне навантаження на ґрунт. Впровадження систем поводження з агровідходами оптимізує ресурсозбереження. Енергозберігаючі рішення в сушінні та зберіганні знижують вуглецевий слід. Сертифікація за міжнародними стандартами підтверджує відповідність сталим практикам.

Біофertiлайзери та біопестициди на основі мікроорганізмів активно впроваджують у технологію вирощування. Вони сприяють природній біологічній рівновазі в ґрунті та підвищують врожайність. Використання біоінокулянтів знижує потребу в мінеральному азоті. Антагоністи ґрунтових патогенів пригнічують розвиток хвороб без хімічних препаратів. Суміші різних біопрепаратів дозволяють досягти синергетичного ефекту. Це відкриває перспективи органічного й екологічного землеробства.

Роботизація польових операцій значно зменшує потребу в ручній праці. Автономні трактори й обприскувачі виконують точні операції без участі оператора. Роботи-сівачі можуть здійснювати підсадження та корекцію густоти вважаючи в реальному часі. Дрони зважують рівень ураження посівів і координують обробки. Роботизовані платформи збільшують ефективність до 20 % за рахунок оптимізації маршрутів. Енергоефективні батарейні рішення знижують витрати на паливо [8].

Штучний інтелект застосовують для аналізу великих обсягів агроданих та прогнозування врожайності. Моделі машинного навчання враховують погодні умови, стан ґрунту та генетичні характеристики гібридів. Рекомендаційні системи формують індивідуальні агротехнічні карти для кожного поля. Чат-боти надають агроному поради в реальному часі за допомогою мобільного зв'язку. Такі рішення підвищують точність рішень і знижують людський фактор.

Геномна селекція прискорює створення нових гібридів із заданим набором ознак. Маркер-асистована селекція дозволяє виділити рослини з підвищеною стійкістю до посухи та хвороб. Використання CRISPR-технологій відкриває можливості точного редагування генів. Це сприяє підвищенню продуктивності та якості зерна. Співпраця наукових інститутів і комерційних селекційних центрів прискорює впровадження новинок. Перехід до нових поколінь гібридів відбувається щорічно.

Кліматичні виклики спонукають аграріїв адаптувати технології до змін температури й опадів. Використання покриттів із терморегулювальними

властивостями допомагає уникнути температурних стресів. Сидерати й покривні культури утримують надлишкову вологу навесні й восени. Створюють агролісомеліоративні насадження для м'якшення кліматичних коливань. Прогнози кліматичних моделей інтегрують у планування строків сівби й збирання. Це знижує ризик втрат урожаю через аномалії погоди.

Вирощування кукурудзи в якості біоенергетичної культури потребує окремих технологічних рішень. Гібриди для біогазу мають підвищену масу рослинної біомаси та високу цукристість стебел. Оптимальні строки збирання зсуваються до більш пізніх фаз для максимального накопичення біомаси. Післязбиральну обробку адаптують для подрібнення стебел та качанів у зберіганні. Системи виробництва біогазу інтегрують у фермерські господарства для замкнутого циклу. Це сприяє енергетичній незалежності агропідприємств.

Смарт-фермерство об'єднує всі цифрові рішення в єдину екосистему. Від підготовки ґрунту до продажу зерна бізнес-процеси автоматизовані та прозорі. Інтегровані платформи керують фінансами, ризиками та логістикою. Агроному достатньо мобільного пристрою для моніторингу та прийняття рішень. Аналітика у хмарі створює історію полів, що допомагає планувати стратегію розвитку. Це новий рівень менеджменту аграрного виробництва.

Майбутнє технології вирощування кукурудзи – у постійному оновленні на основі наукових досягнень і практичного досвіду. Інновації у селекції, агротехніці та цифрових рішеннях створюють синергетичний ефект. Сталий підхід поєднує високу продуктивність із захистом довкілля та збереженням ресурсів. Роль агронома трансформується до менеджера даних і проєктів. Загальне впровадження новацій гарантує продовольчу безпеку та конкурентоспроможність агросектору.

Технологічна карта вирощування кукурудзи розраховувалася за загальною прийнятою методикою, результати представлено на аркуші 1 графічної частини.

РОЗДІЛ 2

ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Операційна технологія основного обробітку ґрунту вимагає комплексного підходу, який починається з вибору оптимальної ґрунтообробної машини та устаткування. Поєднання трактора К-701 та розробленого 8-корпусного чизельного плуга-розпушувача з криволінійними стояками забезпечує необхідну продуктивність на великих площах. Така спеціалізована агрегація дозволяє досягти рівномірного розпушування ґрунту та мінімізувати перевитрати палива. Перед виїздом у поле обов'язково виконують калібрування гідросистем та перевірку кріплень агрегата. Параметри робочого органа, зокрема висота стояків більше 0,74 м, гарантують достатню глибину проникнення у важкі ґрунти. Ефективність плуга (ККД 88 %) свідчить про оптимальне перетворення енергії трактора на корисну механічну роботу. Для безперебійної роботи необхідно враховувати кліматичні умови, вологемкість ґрунту та його механічний склад. Такий підхід забезпечує високу якість обробітку та знижує ризики виникнення ущільнень.

Трактор К-701 вирізняється потужним двигуном із тяговою потужністю понад 120 кВт, що необхідно для подолання тягового опору у 40–45 кН при роботі з чизельним плугом шириною захвату 4 м. Завдяки тривісній конструкції він забезпечує стабільність на схилах та в умовах важкого ґрунту. Гідросистема трактора розрахована на високі навантаження та має достатній запас тиску для роботи з великими плугами. Кліренс трактора дозволяє маневрувати навіть у умовах пересіченого рельєфу. Система регулювання глибини обробітку прив'язана до навігаційних датчиків і забезпечує стабільний результат по всій ширині захвату. Колія трактора оптимізована для мінімального поширення колійного ущільнення. Агрегат бездоганно працює на швидкості 6–8 км/год, що гарантує високий щоденний наїзд. Енергетичні характеристики двигуна дозволяють працювати на середніх обертах із збереженням економічності.

Чизельний плуг-розпушувач із восьми корпусами та криволінійними стояками розроблено з урахуванням сучасних вимог до якісного розпушування ґрунту. Криволінійні стояки сприяють оптимальному розпушуванню без інтенсивного викиду ґрунту на поверхню. Конструктивна ширина захвату 4 м дозволяє охоплювати великі площі за мінімальний час. Висота стояків понад 0,74 м забезпечує глибину розпушування до 0,35 м, необхідну для руйнування ущільнених шарів. Режим роботи плуга регулюється за допомогою гідравліки трактора, що спрощує налаштування в польових умовах. Корпуси виконані з високоміцної сталі, що продовжує їхній ресурс та знижує витрати на ремонт. Габарити агрегата розраховані для зберігання та транспортування без демонтажу. Таке поєднання конструктивних особливостей гарантує стабільний ефект протягом усього сезону.

Процес агрегування трактора К-701 з чизельним плугом починається з ретельного центрування навіски та налаштування зусилля. Важливо рівномірно розподілити навантаження по осях трактора, щоб уникнути просідання передньої осі. Для цього використовують спеціальні регульовані навіски та балансири. Під час виїзду в поле перевіряють рівень масла у гідросистемі та тиск у шинах, що безпосередньо впливає на глибину обробітку. Датчики куту атаки стояків синхронізують роботу з швидкістю руху. Перед початком роботи рекомендується провести пробний прохід на маленькій ділянці. Це дозволяє оцінити глибину та однорідність розпушування. За результатами пробного проходу здійснюють остаточне налаштування.

Тяговий опір агрегата в 40–45 кН при ширині захвату 4 м забезпечує ефективне руйнування ущільнених прошарків ґрунту. Ця величина опору врахована при розрахунку передачі трактора К-701, де запас тяги є критичним для стабільної роботи. Значення тягового опору залежить від вологості та структури ґрунту: у вологих важких ґрунтах воно може зростати на 10–15 %. Важливо проводити контроль пробного опору за допомогою буксирного динамометра. Це дозволяє коригувати глибину або кут атаки стояків у реальному часі. При перевищенні допустимих значень слід зменшити

швидкість руху або глибину обробітку. Для оптимального балансу використовують автоматичні системи регулювання тяги. Цей підхід гарантує мінімальні пробуксовки та економію палива.

Розрахунок тягової потужності трактора показав необхідність двигуна понад 120 кВт для якісного виконання робіт чизельним плугом. Достатній запас потужності дозволяє підтримувати стабільну швидкість руху без перевантаження двигуна під час роботи з ущільненим ґрунтом. Параметри трансмісії К-701 адаптовані для роботи в середньому діапазоні обертів, що оптимізує паливну ефективність. Використання автоматичного регулювання оборотів двигуна згідно з навантаженням підвищує термін служби силової установки. Система моніторингу двигуна фіксує критичні навантаження та рекомендації щодо відновного технічного обслуговування. Гідравлічні насоси та фільтри розраховані на високі навантаження й мають запас прочності. Це знижує ймовірність поломок під час активного сезону. Така конфігурація гарантує безперервну роботу на великих площах.

ККД плуга на рівні 88 % свідчить про високу ефективність передачі енергії від трактора до ґрунтообробного органу. Цей показник досягається за рахунок оптимізованої геометрії корпусів та мінімізації втрат на тертя. Висока ефективність сприяє зниженню витрат пального на одиницю площі. Система змащення стояків та підшипників редукторів підтримує роботу в оптимальному режимі. Для контролю ККД використовують телеметричні датчики збереження навантаження на вал двигуна. Регулярний аналіз показників дозволяє вчасно коригувати параметри роботи. Застосування зносостійких вставок на ділянках посиленого тертя підвищує ресурс. Загалом високе значення ККД покращує рентабельність обробітку.

Глибина розпушування до 0,35 м забезпечує руйнування ущільнених прошарків без порушення структурного каркасу верхнього шару ґрунту. Такий режим сприяє покращенню водопроникності та аерації кореневого шару рослин. Частота проведення основного обробітку залежить від інтенсивності експлуатації землі та механічного складу ґрунту. У середньому агротехнічний

цикл включає один-півтора проходу чизельним плугом за сезон. Глибина встановлюється за допомогою гідравлічних регуляторів, синхронізованих із вимірювачами тиску. Після закінчення роботи виконують зовнішній огляд стояків на ознаки зносу. При виявленні дефектів проводять заміну або переточування лап. Це забезпечує стабільний розпушуючий ефект.

За нормою виробітку 14,8 га/год агрегат із трактором К-701 займає лідируючі позиції серед аналогів. Цей показник досягається при оптимальній швидкості 6–8 км/год та глибині 0,35 м. Для досягнення заявленої продуктивності важливо дотримуватись оптимального режиму руху без частих розворотів. Планування робіт здійснюють із урахуванням ширини захвату 4 м, щоб мінімізувати втрати на крайніх переходах. Використання GPS-траєкторів допомагає координувати рух та зменшувати повторні перекопування. Агроном визначає оптимальні графіки роботи за погодними прогнозами та вологістю ґрунту. У разі необхідності переходять на двозмінний режим роботи, щоб використати ранкову та вечірню прохолоду. Це знижує навантаження на силовий агрегат.

Планування агротехнічних операцій починається з топографічної зйомки полів та складання карт зон родючості. Завдяки таким даним визначають оптимальні маршрути руху агрегатів. Це дозволяє уникнути роботи на сильно схилах місцях з ризиком зсувів ґрунту. Крім того, карти зон родючості враховуються при розподілі добрив та завданні глибини обробітку. Геодезичні дані інтегрують у навігаційну систему трактора для автоматичної корекції руху. Це знижує людський фактор та підвищує якість обробітку. Методи точного землеробства оптимізують витрати ресурсів.

Рух агрегата контролюється за допомогою моніторингу пробуксовок та сили тяги. Система реєструє коливання тягового зусилля та автоматично коригує подачу палива. Датчики на колесах відстежують пробуксовку і за необхідності активують обмежувач крутного моменту. Така інтеграція знижує зношення шин та мінімізує ущільнення ґрунту. Вбудовані системи діагностики сповіщають оператора про перевантаження. Це дозволяє вчасно зупинити

роботу та усунути причину. Завдяки цьому продовжується термін служби всього агрегата.

Вагообмін енергії між трактором і плугом забезпечується через міцну навіску та жорстку раму плуга. Висота стояків понад 0,74 м забезпечує необхідний кут атаки корпусів. Це дозволяє знизити зусилля різання та покращити роботу в щільних шарах ґрунту. Конструкція рами розроблена з урахуванням коливань, що виникають під час роботи. Відповідні пружинні демпфери гасять вібрації та знижують навантаження на механізми. Регулювання гідроциліндрів дозволяє швидко змінювати кут атаки стояків. Завдяки цьому легко адаптуватися до різних типів ґрунтів.

Технічне обслуговування плуга включає перевірку стану стояків, болтових з'єднань та змащення вентилів. Регулярно очищають шліцьові зони від налиплого ґрунту та перевіряють знос наплавлених наконечників. При заміні деталей використовують лише заводські компоненти або аналоги з відповідними допусками. Графік ТО базується на напрацювах мотогодин і пройдених гектарах. Заміна гідравлічних фільтрів та масла проводиться згідно з регламентом виробника трактора. Це гарантує стабільні показники потужності та надійності. Документальний облік операцій спрощує аудит та планування ресурсів.

Безпека під час основного обробітку ґрунту передбачає дотримання швидкісного режиму та перевірку стану ґрунту. На схилах не рекомендується підніматися під кутом більше 12 %. Працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту та дотримуватися інструкцій з експлуатації. В полі встановлюють попереджувальні знаки навколо зон повороту. Перед виїздом перевіряють гальмівну систему трактора та світлову сигналізацію плуга. В разі аварійного зупинення агрегат повинен бути обладнаний механічним фіксатором стояків. Застосування засобів геолокації допомагає швидко знайти техніку в умовах поганої видимості.

Оптимізація витрат пального досягається за рахунок підтримки стабільних обертів двигуна та мінімізації холостого ходу. Використання

автоматичних зчеплень скорочує втрати енергії при розворотах. Агрегування з GPS-системою дозволяє уникати дублювання проходів. Оператор навчається ефективно використовувати пониженої передачу на важких ділянках. Проводять аналіз споживання пального за допомогою вбудованих лічильників. Це дає змогу коригувати режим роботи й планувати заправки. Зниження споживання пального підвищує економічну ефективність.

Економічна складова технології обробітку ґрунту включає аналіз собівартості 1 га і порівняння з альтернативними методами. Вартість амортизації трактора та плуга розподіляють на базі їхнього терміну служби та кількості мотогодин. Враховують витрати на пальне, мастильні матеріали, запасні частини та оплату праці. Модель «витрати–вигоди» показує, що при продуктивності 14,8 га/год окупність агрегата настає в межах 3–4 років активного використання. Застосування систем точного землеробства додатково знижує витрати до 10 %. Це робить комплекс К-701 + чизельний плуг-розпушувач конкурентоспроможним на ринку послуг. Інвестиційна привабливість підтверджується аналізом чутливості до коливань цін на пальне.

Інтеграція систем точного землеробства дозволяє збирати дані про якість обробітку в реальному часі. Використання датчиків вологості та тиску в ґрунті дозволяє оптимізувати агрозаходи. Геоприв'язка інформації формує звіти щодо виконаних операцій та їх результативності. Мобільні додатки дають змогу агроному коригувати технологічні карти безпосередньо з поля. Зібрані дані аналізуються в хмарі з використанням машинного навчання. Це сприяє постійному вдосконаленню технології та зниженню витрат. Точне землеробство забезпечує стаке підвищення врожайності.

Вплив обробітку ґрунту на екосистему поля вимагає раціонального підходу. Розпушування до 0,35 м сприяє відновленню аерації кореневого шару та сприяє розвитку корисної мікрофлори. Забезпечення водоутримування та зменшення ерозії знижує втрати родючого шарґрунту. Використання чизельного плуга замість важкої оранки зменшує порушення структури ґрунту. Це сприяє довготривалому збереженню гумусу та зменшенню викидів CO₂.

Поєднання технологій мінімального обробітку й чизельного розпушування забезпечує баланс між продуктивністю та охороною довкілля. Такі рішення відповідають сучасним екологічним нормам.

Підготовка операторів до роботи з агрегацією К-701 + чизельний плуг передбачає спеціальні тренінги. Працівники вивчають принципи налаштування глибини, кута атаки стояків та контролю тяги. Використання симуляторів допомагає знизити ризики під час реального виїзду в поле. Навички аналізу показників моніторингу дозволяють своєчасно коригувати параметри роботи. Оператори знайомляться з алгоритмами реагування на аварійні сигнали систем діагностики. Регулярні навчальні сесії сприяють підвищенню кваліфікації та безпеці. Комплексний підхід до освіти персоналу підвищує ефективність застосування технології.

Підсумовуючи, операційна технологія основного обробітку ґрунту з використанням трактора К-701 та 8-корпусного чизельного плуга-розпушувача з криволінійними стояками демонструє високу продуктивність і надійність. Ключові параметри – ширина захвату 4 м, тяговий опір 40–45 кН, потужність понад 120 кВт, ККД 88 %, глибина до 0,35 м та продуктивність 14,8 га/год – забезпечують економічну доцільність і екологічну безпеку. Така технологія відповідає сучасним вимогам точного землеробства та стійкого розвитку агросектору. Врахування технічних, економічних та екологічних аспектів дозволяє створити конкурентоспроможний сервіс у сфері ґрунтообробки. Подальші вдосконалення можуть бути спрямовані на автоматизацію контролю та впровадження альтернативних джерел енергії. Це відкриває перспективи для масштабування і адаптації технології до різних регіональних умов.

Розрахунок операційної карти основного обробітку представлено в *додатку А*, результати розрахунку відображено на листі №2 графічної частини роботи.

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Аналіз будови плугів

Оцінювання конструктивних характеристик плугів подано у *додатку Б*, де здійснено порівняння різних типів плугів, їх елементів та особливостей функціонування.

3.2 Причини створення плуга-розпушувача та його конструктивне вирішення

Сучасне сільське господарство, орієнтоване на підвищення продуктивності, водночас стикається з низкою негативних наслідків, одним із яких є ущільнення ґрунтового шару. Це явище викликане як природними чинниками, так і впливом агротехнічної діяльності. Ущільнені ґрунти характеризуються збільшеною об'ємною вагою та зменшеною пористістю, що значно обмежує циркуляцію повітря та вологи, а також ускладнює проникнення кореневої системи. Внаслідок цього зростає опір при обробітку, а врожайність сільськогосподарських культур або знижується, або стабілізується на низькому рівні.

Основними чинниками ущільнення ґрунту виступають надмірна вага сільськогосподарських агрегатів, часті переїзди техніки по полю у вологому стані, недотримання оптимальної вологості при проведенні польових робіт, відсутність органічних добрив у сівозміні, а також вирощування одних і тих самих культур протягом багатьох років (монокультура).

Рослини здатні повноцінно розвиватися лише за умов оптимального поєднання фізичних, хімічних та біологічних властивостей ґрунту. Тому підтримання ґрунту в розпушеному стані є ключовим фактором забезпечення високих урожаїв.

Для ґрунтів середнього механічного складу критичною щільністю є показник 1,6–1,7 г/см³ – за таких умов ріст кореневої системи значно ускладнюється або взагалі припиняється. Саме тому виникає нагальна потреба у створенні технічного засобу – плуга-розпушувача, який дозволить ефективно розпушувати ущільнені горизонти, не порушуючи структури верхнього шару ґрунту.

За умов тривалого використання ґрунтообробних машин на однаковій глибині обробітку, більш ніж половина оброблюваних площ зазнає ущільнення в зоні під орним шаром [7].

Такий тип деградації ґрунту класифікується на три основні категорії: ущільнення у межах орного шару, формування так званої «плужної підшви» безпосередньо під ним, а також ущільнення, що утворюється ще глибше — в підплужному горизонті [7].

Поняття «плужна підшва» означає ущільнений шар ґрунту, який формується нижче рівня проходження робочих органів обробного знаряддя. Цей шар починається одразу після межі обробленого ґрунту і характеризується практично повною відсутністю пористості.

Товщина ущільненого шару залежить від низки факторів: конструктивних особливостей робочих органів, ваги сільськогосподарського агрегату, кількості проходів на постійній глибині, рівня вологості та механічного складу ґрунту. У більшості випадків товщина плужної підшви коливається в межах 12–17 см [6].

Застосування глибокого обробітку ґрунту за допомогою чизельних агрегатів дозволяє ефективно зруйнувати ущільнений шар, відомий як плужна підшва. Це сприяє відновленню природного водно-повітряного режиму в ґрунтовому профілі. У посушливі періоди коренева система сільськогосподарських культур має можливість проникати вглиб і використовувати запаси вологи з нижніх горизонтів, тоді як за надлишкової кількості опадів вода з поверхневого шару безперешкодно просочується вниз. Така циркуляція вологи значно зменшує випаровування, стабілізує

співвідношення повітря і води в орному шарі та створює оптимальні умови для росту і розвитку рослин [4].

На відміну від традиційних знарядь, чизельні агрегати навіть при багаторічному застосуванні на однаковій глибині не призводять до формування вираженої плужної підшви. Це пояснюється конструктивними особливостями їхніх робочих органів — зокрема, малою шириною захвату, яка забезпечує мінімальний тиск на ґрунт і рівномірне розпушування без ущільнення [5].

Розроблений плуг-розпушувач за принципом дії і конструкцією наближений до чизельного плуга типу “Paraplow” від англійського виробника Howard (рис. Б.12). Основу конструкції становить рама, на якій змонтовані всі функціональні елементи: триточковий навісний механізм для агрегування з трактором, робочі органи на похилих стійках, кронштейни кріплення, дискові ножі, а також опорно-регульовальні колеса з механізмом регулювання висоти.

Робочі органи закріплюються до рами за допомогою двох кронштейнів і накладної пластини, що дозволяє змінювати міжряддя розміщення доліт у межах 350–500 мм. Завдяки нахиленому розташуванню робочих органів, зона активного розпушування ґрунту перевищує глибину обробітку в 1,25–1,45 рази. Зокрема, при глибині обробітку до 35 см найефективнішою виявляється відстань між долотами на рівні 500 мм [5].

Полицеві плуги класичної конструкції характеризуються підвищеним рівнем тягового опору. Науковець В.П. Горячкін запропонував поділ загального опору руху плуга R на три основні компоненти: R_1 , R_2 та R_3 . На його думку, незалежно від глибини оранки чи швидкості агрегату, завжди присутній постійний опір – R_1 , який не змінюється під впливом цих факторів.

До цього типу опору належать сили тертя, що виникають унаслідок контакту робочих органів із дном борозни, втрати на обертання коліс, тертя в підшипниках осей, а також опір коченню коліс по поверхні поля. Усі ці складові формують першу групу опору, яка прямо залежить від маси плуга. Тобто значення R_1 може бути орієнтовно визначене як пропорційне власній вазі знаряддя.

Згідно з принципом дії, полицевий плуг виконує переміщення скиби ґрунту у напрямку сусідньої борозни. Для здійснення цього процесу необхідно надати ґрунтовій масі певний імпульс – тобто, забезпечити її кінетичною енергією. Саме через це під час роботи плуга виникає складова опору R_3 яка пов'язана з витратами енергії на механічне переміщення частинок ґрунту. Цей опір обумовлений тим, що плуг змушує землю змінювати своє положення - виштовхуючи її убік і вниз у суміжну борозну.

Оскільки конструкція плугів-розпушувачів не передбачає наявності полиць, які забезпечують перекидання скиби в суміжну борозну, то зрозуміло, що під час їхньої роботи відсутня складова тягового опору R_3 , пов'язана з переміщенням ґрунту вбік.

Для обробітку ґрунту на значну глибину під культури, чутливі до ущільнення, зокрема кукурудзу, доцільніше застосовувати розпушувачі замість традиційних полицевих плугів. Це пояснюється тим, що полицеві плуги створюють підвищений тяговий опір під час роботи та характеризуються невисоким коефіцієнтом корисної дії.

3.3 Визначення ключових параметрів конструкції плуга-розпушувача

Планування розташування робочих органів на рамі плуга-розпушувача здійснюється з урахуванням зони активного впливу кожного з них на ґрунт. Основною умовою є забезпечення такого інтервалу між стояками, який запобігатиме накопиченню пожнивних решток і відповідно – засміченню агрегату в процесі роботи.

Практика експлуатації подібних знарядь засвідчує, що мінімальне забивання спостерігається при використанні стояків з поперечним перерізом напівкруглої форми. Такий конструктивний підхід дозволяє пожнивним залишкам легко скочуватись по гладкій передній поверхні стояка внаслідок взаємодії з ґрунтом, що знижує ймовірність утворення заторів. Виходячи з

цього, для даного плуга-розпушувача прийнято рішення використовувати робочі органи із стояками напівкруглого профілю (див. рис. 3.1).

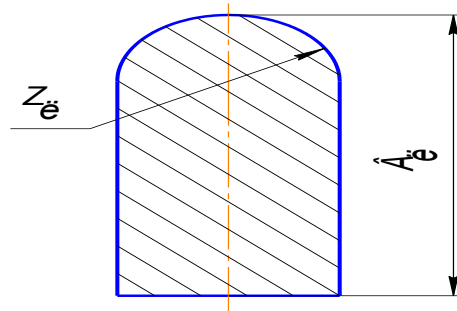


Рис. 3.1 Поперечний переріз стояків робочих органів

Для забезпечення достатньої міцності долота та стабільного заглиблення в ґрунт конструкцією передбачено заточування леза з верхнього боку. На рисунку 3.2 представлено схематичне зображення геометрії заточки долота, де умовно позначені основні параметри.

Зокрема, кут заточування леза позначається як i , а його рекомендоване значення коливається в межах $i = 20-22^\circ$ [12]. У конструкції прийнято значення $i = 20^\circ$.

Параметр β_0 позначає кут різання, який безпосередньо впливає на здатність долота проникати в ґрунт. Оптимальний діапазон значень цього кута становить $\beta_0 = 47-52^\circ$.

α – кут розпушування ґрунту. З урахуванням вимог до ефективного руйнування ґрунтової структури та мінімізації тягового опору, значення кута розпушування α доцільно утримувати в межах $25...30^\circ$ [12]. Приймаємо для розрахунків $\alpha = 27^\circ$.

Ψ – параметр, що визначає нахил площини відриву ґрунтового шару перед ріжучою кромкою. Його величину можна розрахувати за наступною формулою.:

$$\Psi = 90 - \frac{\alpha + \varphi + \rho}{2}, \quad (3.1)$$

де φ – кут тертя в трибосистемі «сталь-ґрунт», $\varphi = 25^\circ$;

ρ – кут внутрішнього тертя, $\rho = 40^\circ$.

$$\Psi = 90 - \frac{27 + 25 + 40}{2} = 44^\circ.$$

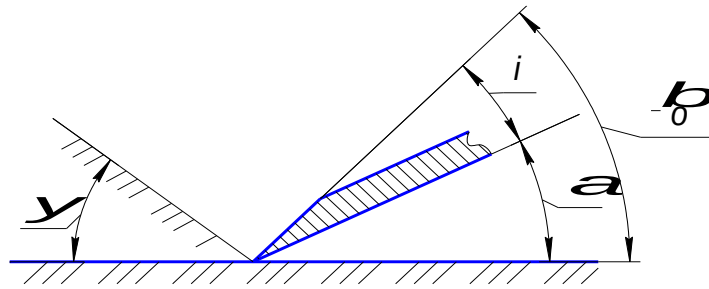


Рис. 3.2. Схема заточування долота корпусу плуга.

Проникнення робочих органів плуга в ґрунтову товщу відбувається переважно завдяки власній вазі агрегату. Застосування примусових засобів заглиблення у випадку начіпного обладнання вважається недоцільним, оскільки це може спричинити передчасний вихід з ладу окремих елементів конструкції.

Одним із ключових чинників, що впливає на ефективність обробітку, є мінімізація довжини шляху, який проходить робочий орган до досягнення заданої глибини. Це особливо важливо при виконанні глибокого рихлення, де навантаження на елементи зростає [3].

З огляду на функціональне призначення, плуги-розпушувачі експлуатуються на значних глибинах, де ґрунт має підвищену щільність. У таких умовах процес заглиблення є значно складнішим порівняно з обробітком на малій глибині, що вимагає врахування додаткових конструктивних рішень при проектуванні робочих органів [7].

Сила G_1 (рис. 3.3) може бути знайдено за допомогою такого математичного виразу [11]:

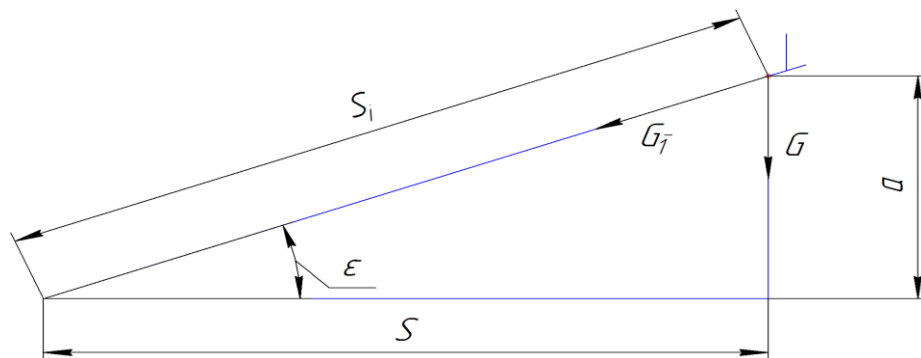


Рис. 3.3. Схема занурення корпусу плуга до встановленої глибини обробки

Вага плуга-розпушувача дорівнює 12,6 кН. Кут $\varepsilon = 6^\circ$ – характеризує напрямок траєкторії заглиблення робочого органа. Обсяг роботи, що виконується при зануренні плуга в ґрунт, розраховується за наступною формулою:

$$W = S_1 \times G_1. \quad (3.2)$$

Підставивши в формулу 3.1 маємо:

$$W = S_1 \cdot G \sin \varepsilon \quad (3.3)$$

З іншого боку, величину роботи W можна розрахувати за наступним співвідношенням:

$$W = k' \cdot a \cdot b \cdot n, \quad (3.4)$$

де k' – показник, що характеризує енергетичні витрати на кожен квадратний метр оброблюваної поверхні, $k' = 15 \cdot 10^3 \text{ Дж/м}^2$;

n – кількість корпусів, $n = 8$;

b – ширина захвату робочого органу, $b = 0,5 \text{ м}$;

a – глибина обробітку, $a = 0,3 \text{ м}$.

Вирази (3.4) і (3.5) еквівалентні, тоді:

$$S_1 \times G \times \sin \varepsilon = k' \times a \times b \times n \quad (3.5)$$

З даного рівняння отримуємо:

$$S_1 = \frac{k' \cdot a \cdot b \cdot n}{G \cdot \sin \varepsilon}. \quad (3.6)$$

$$S_1 = \frac{15 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,5 \cdot 8}{12,6 \cdot \sin 6^\circ \cdot 10^3} = 13,7 \text{ м}.$$

Для обчислення шляху заглиблення S скористаємось співвідношенням, що впливає з теореми Піфагора:

$$S = \sqrt{S_1^2 - a^2} \quad (3.7)$$

$$S = \sqrt{2,4^2 - 0,3^2} = 2,38 \text{ м}$$

Довжину траєкторії заглиблення плуга L_1 обчислюємо орієнтуючись на положення крайнього робочого органа (див. рис. 3.3).:

$$L_1 = L + S, \quad (3.8)$$

де L – інтервал між передніми кінцями лап у напрямку руху агрегату, який розраховується за наступною формулою:

$$L = a \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha + \varphi + \rho}{2} + l_0, \quad (3.9)$$

де l_0 – параметр, що встановлюється на основі конструктивних особливостей, $l_0 = 400$ мм.

$$L = 0,3 \cdot \operatorname{tg} \frac{27^\circ + 25^\circ + 40^\circ}{2} + 0,4 = 0,7 \text{ м}$$

$$L_1 = 0,7 + 13,6 = 14,3 \text{ м.}$$

Виконаємо обчислення тягового опору плуга, застосувавши відповідне розрахункове співвідношення:

$$R_n = f G + K F_k, \quad (3.10)$$

де f – параметр, який визначає силу тертя плуга в процесі його переміщення борозною, $f = 0,4$ [12];

K – показник, що відображає опір ґрунту зовнішньому механічному впливу, $K = 40$ кН/м² [11];

F_k – розмір площі перерізу розрихленого ґрунтового шару в межах допустимої глибини проникнення знаряддя, м².

Розрахунок площі F_k здійснюється за таким співвідношенням:

$$F_k = h_k B_k - F, \quad (3.11)$$

де F – поперечна площа недеформованих структур у зоні гребенів, м.

$$F = (n-1) \cdot F_T, \quad (3.12)$$

де F_T – площа поперечного перерізу ґрунтового гребеня з трикутним профілем і висотою h , м.:

$$F_T = \frac{(M - b)^2}{4} \quad (3.13)$$

$$F_T = \frac{(0,55 - 0,07)^2}{4} = 0,06 \text{ м}^2$$

$$F_1 = (8 - 1) 0,06 = 0,42 \text{ м}^2;$$

$$F_k = 0,35 \cdot 4,0 - 0,42 = 0,98 \text{ м}^2.$$

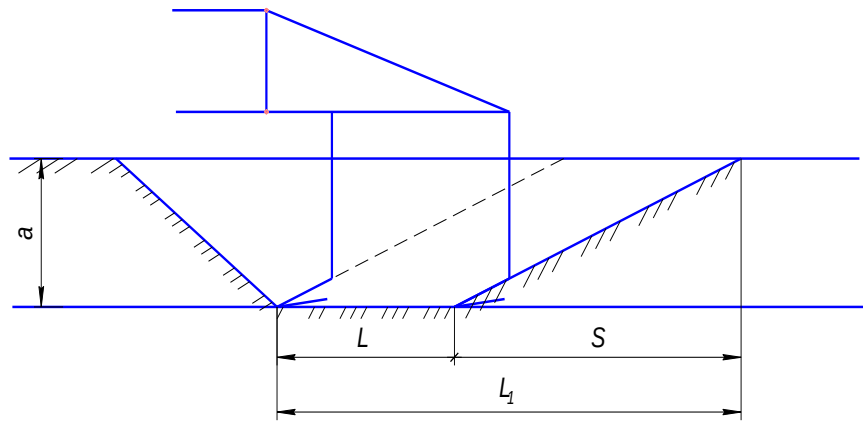


Рис. 3.4. Схема, що ілюструє розрахунок довжини траєкторії заглиблення корпусів плуга в ґрунт.

Підставивши необхідні параметри у формулу (3.10), отримаємо значення тягового опору для спроектованого плуга-розпушувача:

$$R_n = 0,4 \times 12,6 + 40 \times 0,98 \approx 44 \text{ кН.}$$

Розрахунок тягової потужності здійснюється за наступною формулою:

$$N_n = R_n \cdot V_p, \quad (3.14)$$

де V_p – робоча швидкість руху плуга, м/с.

Гранично допустима швидкість пересування плугів-розпушувачів становить 10 км/год, що еквівалентно 2,8 м/с. Відтак:

$$N_n = 44,0 \cdot 2,8 \approx 123 \text{ кВт.}$$

ККД плуга визначимо за залежністю:

$$\eta_n = 1 - \frac{f \cdot G}{R_n}, \quad (3.15)$$

$$\eta_n = 1 - \frac{0,5 \cdot 13}{44} = 0,88.$$

Згідно з [11], висота стояка плужного корпусу при досягненні максимальної глибини занурення визначається за формулою:

$$H_c = h_1 + h_2 + a, \quad (3.16)$$

де h_1 – найменша відстань у вертикальному напрямку між рамою агрегату та поверхнею обробленого ґрунту під час функціонування культиватора, м;

З метою забезпечення безперешкодного проходження поживних залишків у проміжку між рамою та ґрунтовим покривом, встановлено значення $h_1=0,3$.

$$h_2 = \frac{1}{4} \cdot a. \quad (3.17)$$

$$h_2 = \frac{1}{4} \cdot 0,35 = 0,088 \text{ м.}$$

Тоді, $H_c = 0,3 + 0,088 + 0,35 \approx 0,74 \text{ м.}$

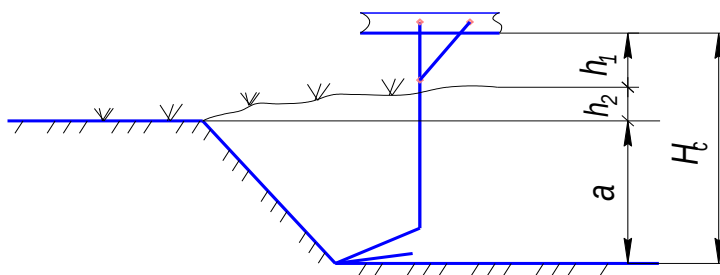


Рис. 3.5. Схема до визначення висоти стояка корпусу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Виконання кваліфікаційної роботи дозволило сформулювати комплексний підхід до удосконалення машинно-тракторного агрегату для вирощування кукурудзи, що включає аналіз агротехнічних вимог, оптимізацію режимів основного обробітку ґрунту та розробку спеціального чизельного плуга-розпушувача. Запропонований агрегат із трактором К-701 і восьмикорпусним плугом із криволінійними стояками забезпечує глибоке (до 0,35 м) розпушування ущільненого шару ґрунту, що сприяє покращенню водопроникності та аерації кореневої зони. Конструктивні параметри плуга — ширина захвату 4 м, висота стояків понад 0,74 м та ККД на рівні 88 % — забезпечують ефективне руйнування ущільнень із мінімальними втратами енергії. Застосування криволінійних стояків знижує інтенсивність викиду ґрунту на поверхню, що полегшує подальші технологічні операції та зменшує ерозійні процеси.

Розрахунки тягового опору в діапазоні 40–45 кН свідчать про необхідність використання потужного трактора з тяговою здатністю понад 120 кВт. Така комбінація гарантує стабільну продуктивність за мінімальних пробуксовок і економне споживання пального при швидкості обробітку 6–8 км/год. Норма виробітку агрегата на рівні 14,8 га/год відповідає вимогам високопродуктивного землеробства та дозволяє своєчасно виконувати операції в оптимальні агротехнічні строки. Стабільність роботи забезпечується автоматичними системами регулювання глибини й кута атаки, що синхронізуються з навігаційними датчиками.

Підсумовуючи, розроблена операційна технологія основного обробітку ґрунту з використанням трактора К-701 і чизельного плуга-розпушувача демонструє високу продуктивність, економічну ефективність та екологічну безпечність. Запропоновані інноваційні конструктивні рішення та синхронізовані режими роботи забезпечують рівномірне розпушування та оптимальне використання енергії. Практична реалізація цього комплексу

сприятиме підвищенню врожайності кукурудзи, збереженню родючого шару ґрунту та зниженню операційних витрат. Рекомендовано розгорнути серійне виробництво плугів і розширити впровадження автоматизованих систем контролю, що відкриє нові перспективи для розвитку високотехнологічного агробізнесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамчук В. В. Механізація сільськогосподарського виробництва. Київ : Аграрна освіта, 2018. 450 с.
2. 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.
3. Герасименко С. М. Сільськогосподарські машини: конструкція та розрахунок: підручник. Київ: Урожай, 2018. 230 с.
4. Жученко П. В. Трактор К-701: експлуатація та технічне обслуговування: навчальний посібник. Харків: ХДАУ, 2017. 192 с.
5. Коваленко А. І. Ґрунтозберігаючі технології в землеробстві: монографія. Одеса: ОНАХТ, 2021. 267 с.
6. Литвин Ю. П. Основи креслення деталей машин: підручник. Львів: ЛНАУ, 2016. 280 с.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Олійник Т. С. Чизельні плуги з криволінійними стояками: патент України № 123456. 2018. 6 с.
11. Петренко Є. Д. Системи GPS-навігації в точному землеробстві: монографія. Полтава: ПДАА, 2022. 310 с.
12. Романов М. І. Енергетика та економіка сільськогосподарських машин: підручник. Київ: Аграрна освіта, 2018. 275 с.

13. Сторожук В. П. Автоматизація технологічних процесів у землеробстві: підручник. Черкаси: ЧНУ, 2021. 288 с.
14. ІТкачук А. М. Механіка ґрунту: монографія. Київ: Ін-т ґрунтознавства, 2017. 320 с.
15. 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.
16. Удовіченко О. В. Стійкість ґрунтової структури та її відновлення: стаття. Агроінженерія. 2020. Т. 5, № 2. С. 78–86. 9 с.
17. Фесенко П. Л. Технологічні процеси обробітку ґрунту: підручник. Житомир: ЖАМ, 2019. 260 с.
18. Хоменко С. Г. Досвід впровадження чизельного плуга-розпушувача: звіт НДР. Київ: УААН, 2021. 58 с.
19. Чумаченко А. О. Технічні засоби точного землеробства: навчальний посібник. Львів: ЛНАУ, 2022. 223 с.
20. 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.
21. Шевченко І. В. Економічна ефективність сільськогосподарської техніки: монографія. Дніпро: ДНУ, 2018. 240 с.
22. Яковенко Н. П. Гідравлічні системи тракторів: підручник. Харків: ХНТУСГ, 2016. 254 с.
23. Zhang X., Li Y. Chisel plow design and soil mechanics: стаття. Soil & Tillage Research. 2021. Vol. 205. P. 104786. 10 с.