

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко-технологічний факультет

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету

механіко-технологічного

_____ Братішко В.В.

«__» _____ 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

сільськогосподарських машин та
системотехніки ім. акад. П. М. Василенка

_____ Гуменюк Ю.О.

«__» _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему «Обґрунтування параметрів системи внесення рідких добрив
грунтообробного агрегату при вирощуванні озимої пшениці»**

Спеціальність - 208 «Агроінженерія»

Освітня програма - ТТР

Орієнтація освітньої програми - освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

К.т.н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Сівак І.М.
(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Волянський М.С.
(ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

Панченко А.С.
(ПІБ студента)

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
сільськогосподарських машин та
системотехніки ім. акад. П. М. Василенка
к.т.н., доцент _____ **Гуменюк Ю.О.**
«__» _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ**

Панченку Андрію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність - 208 «Агроінженерія»

Освітня програма - ТТР

Орієнтація освітньої програми - освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи - «Обґрунтування параметрів системи внесення рідких добрив ґрунтообробного агрегату при вирощуванні озимої пшениці»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «13» листопада 2024 р. № 2038 «С».

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру - 2025 р. 11. 01.

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи:

- агротехнічні вимоги до обробітку ґрунту та внесенню добрив при вирощуванні озимої пшениці;
- технічні характеристики ґрунтообробних машин;
- технології та системи внесення рідких добрив.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз сучасних технологій обробітку ґрунту та способів внесення рідких добрив із метою вибору найбільш ефективної системи для умов вирощування озимої пшениці.
2. Обґрунтувати технологічну схему агрегата для внесення рідких добрив при вирощуванні озимої пшениці.
3. Вплив конструктивних параметрів системи подачі на рівномірність подачі добрив і стабільність потоку.
4. Залежність рівномірності розподілу добрив від швидкості руху агрегата.
5. Вплив двошарового внесення добрив на розвиток кореневої системи, густоту стояння та врожайність озимої пшениці.

Дата видачі завдання 15 жовтня 2024 р.

**Керівник
магістерської кваліфікаційної роботи**

(підпис)

Волянський М.С.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Панченко А.С.
(прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота викладена на 91 сторінці, містить 5 таблиць, 15 рисунків, список використаних джерел із 20 найменувань.

Мета роботи – підвищення ефективності технологічного процесу внесення рідких добрив під час вирощування озимої пшениці шляхом обґрунтування параметрів системи подачі та розподілу добрив у складі ґрунтообробного агрегату.

У магістерській роботі розглянуто:

- актуальність і сучасні напрями удосконалення технологій внесення добрив при вирощуванні озимої пшениці;
- теоретичні основи та методичку визначення параметрів подачі рідких добрив;
- розроблення конструктивної схеми вдосконаленого ґрунтообробного агрегату з інтегрованою системою внесення добрив;
- проведення розрахунків основних елементів системи подачі;
- оцінку техніко-економічної ефективності використання агрегату у виробничих умовах.

Результати дослідження свідчать, що застосування вдосконаленої системи дозволяє забезпечити рівномірність розподілу рідких добрив у ґрунтовому шарі, зменшити втрати поживних речовин та підвищити ефективність їх використання рослинами.

Ключові слова: РІДКІ ДОБРИВА, ҐРУНТООБРОБНИЙ АГРЕГАТ, РІВНОМІРНІСТЬ ПОДАЧІ, ОЗИМА ПШЕНИЦЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ, РОЗПОДІЛ РОБОЧОЇ РІДИНИ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АГРОБІОЛОГІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДО ВИРОЩУВАННЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ.....	11
1.1 Значення озимої пшениці в сільському господарстві.....	11
1.2 Агробіологічні передумови до вирощування озимої пшениці.....	15
1.3 Технології вирощування озимої пшениці.....	23
1.4 Технічні засоби для вирощування озимої пшениці.....	25
РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ҐРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ.....	34
2.1 Механіко-технологічні передумови до обробітку при вирощуванні озимої пшениці.....	34
2.2 Агробіологічні передумови використання рідких добрив при вирощуванні озимої пшениці.....	35
2.3 Аналіз ґрунтообробного агрегата.....	39
2.4 Розрахунок та аналіз оптимального складу агрегата.....	41
2.5 Розрахунок гідросистеми.....	53
2.6 Технологічний розрахунок.....	61
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	65
3.1 Теоретичні передумови та наукове обґрунтування напрямку досліджень.....	65
3.2 Обґрунтування технологічної схеми агрегату для внесення рідких добрив.....	66
3.3 Об'єкт, предмет, мета і завдання досліджень.....	69
3.4 Методика проведення досліджень.....	71
3.5 Умови проведення досліджень.....	74
3.6 Результати досліджень та практична цінність.....	76
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ВНЕСЕННЯ РІДКИХ ДОБРИВ.....	78

	7
4.1 Розрахунок показників для оцінки економічної ефективності.....	78
ВИСНОВКИ.....	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	89

ВСТУП

Сучасний етап розвитку аграрного виробництва характеризується підвищеними вимогами до ефективності використання ресурсів, енергозбереження та екологічної безпеки технологічних процесів. В умовах зростання вартості мінеральних добрив та необхідності підвищення врожайності сільськогосподарських культур особливої актуальності набувають питання удосконалення систем внесення добрив, зокрема рідких, у процесі основного або передпосівного обробітку ґрунту. Це дозволяє підвищити коефіцієнт використання поживних речовин, зменшити втрати азоту, забезпечити рівномірність розподілу добрив у ґрунтовому шарі та оптимізувати живлення рослин на ранніх етапах розвитку.

Однією з найважливіших культур у сільськогосподарському виробництві України є озима пшениця. Саме тому удосконалення технологічних процесів її вирощування, зокрема поєднання обробітку ґрунту із одночасним внесенням рідких добрив, є актуальним завданням сучасної агроінженерії. Застосування інтегрованих систем дозволяє знизити кількість проходів техніки полем, скоротити витрати паливно-мастильних матеріалів, підвищити продуктивність праці та зменшити ущільнення ґрунту. Водночас важливим є наукове обґрунтування параметрів системи подачі, дозування та розподілу рідких добрив у ґрунтообробному агрегаті, що забезпечить стабільну роботу технологічної системи і високу ефективність агротехнічних процесів.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності технологічного процесу внесення рідких добрив під час вирощування озимої пшениці шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів системи подачі та розподілу добрив у складі ґрунтообробного агрегату.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасні технології внесення добрив при вирощуванні озимої пшениці;
- визначити основні фактори, що впливають на якість та рівномірність

розподілу рідких добрив у ґрунті;

- провести теоретичне обґрунтування параметрів системи подачі добрив у складі агрегату;
- розробити конструктивну схему вдосконаленого ґрунтообробного агрегату з системою внесення рідких добрив;
- виконати перевіірочні розрахунки основних елементів системи;
- оцінити техніко-економічну ефективність запропонованого технічного рішення.

Об'єктом дослідження є технологічний процес внесення рідких добрив при обробі ґрунту під озиму пшеницю.

Предметом дослідження є система подачі та розподілу рідких добрив у складі ґрунтообробного агрегату.

У роботі застосовано аналітичні, розрахункові, порівняльні та експериментальні методи дослідження, що дозволили визначити взаємозв'язок між конструктивними параметрами елементів системи внесення рідких добрив і якістю технологічного процесу. Використано методи математичного моделювання для встановлення оптимальних параметрів потоку робочої рідини, а також графічний та інженерний аналіз для побудови функціональних залежностей.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у подальшому розвитку теоретичних положень щодо вдосконалення систем подачі рідких добрив у складі ґрунтообробних агрегатів. У роботі обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри системи внесення рідких добрив, які забезпечують рівномірний розподіл робочої рідини в ґрунтовому шарі при мінімальних енерговитратах.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованих рішень при проєктуванні та модернізації ґрунтообробних агрегатів з інтегрованими системами внесення рідких добрив. Результати досліджень можуть бути впроваджені у виробничих умовах сільськогосподарських підприємств для підвищення ефективності

добрив та зниження собівартості продукції.

Студент магістратури брав участь у виконанні науково-дослідних тем кафедри, пов'язаних із вдосконаленням сільськогосподарських машин та агрегатів, а також у підготовці матеріалів наукових публікацій за тематикою дослідження.

На захист виносяться такі основні положення:

- теоретичні основи розрахунку системи внесення рідких добрив ґрунтообробного агрегату;
- результати аналітичних та експериментальних досліджень параметрів подачі і розподілу робочої рідини;
- пропозиції щодо підвищення ефективності роботи вдосконаленого агрегату.

Структура та обсяг роботи.

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Основний текст викладено на 91 сторінці, робота містить 5 таблиць, 15 рисунків і 20 використаних джерел.

РОЗДІЛ 1

АГРОБІОЛОГІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДО ВИРОЩУВАННЯ
ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ

1.1. Значення озимої пшениці у сільському господарстві

Озима пшениця - рід однорічних та культурних рослин родини тонконогових. За посівними площами серед зернових культур вона займає перше місце і є головною продовольчою культурою в Україні. Саме це твердження пояснює причину, чому значення озимої пшениці у народному господарстві посідає важливе місце, а також підкреслює її необхідність для забезпечення людей якісними продуктами харчування.

Забезпечення людей борошном, для виготовлення хлібобулочних виробів і хліба – це основне призначення озимої пшениці [10]. Харчова цінність такого хліба залежить від хімічного складу зерна. Пшеничне зерно містить значну кількість білків, вміст яких, залежно від сорту та умов вирощування, у середньому становить від 13% до 15%. Також у зерні міститься велика кількість вуглеводів, з них 70 % крохмалю, вітаміни В1 (тіамін), В2 (рибофлавін), РР (нікотинамід), Е (токоферол) та провітаміни А (каротин), D (попередник вітаміну D, який виробляється в шкірі під впливом ультрафіолетового випромінювання) та до 2 % зольних мінеральних речовин. Білки, якими багате зерно пшениці є повноцінними за своїм амінокислотним складом. Вони включають усі необхідні для людини амінокислоти – валін, метіонін, фенілаланін, триптофан, лізин, треонін, аргінін, лейцин, ізолейцин, гістидин – які добре засвоюються організмом людини.

Поживна цінність білка пшениці становить лише близько 50%, оскільки у його складі бракує таких незамінних амінокислот, як метіонін, треонін і лізин. Тому навіть за достатнього вмісту білка організм людини може засвоїти лише половину його кількості. Це і підкреслює важливість вирощення пшениці з

високим вмістом білка. Приблизно 450 грамів пшеничного хліба або хлібобулочних виробів здатні забезпечити близько третини добової потреби людини в їжі та повноцінних білках, половину потреб у вуглеводах, 50–60 % — у вітамінах групи В і до 80 % — у вітаміні Е. Крім того, пшеничний хліб майже повністю покриває потребу організму в таких макроелементах, як залізо й фосфор, а також забезпечує близько 40 % потреби в кальції.

Пшеничний хліб є надійним джерелом енергії з високою поживністю. Він вважається продуктом з високою калорійністю, де в 1 кілограмі продукту може міститися від 2000 до 2500 кілокалорій. М'які (звичайні, хлібні) сорти пшениці, з яких виготовляють борошно для хліба та хлібобулочних виробів високої якості, відповідно до державного стандарту, належать до вищого, першого та другого класів. Таке зерно містить відповідно 36 %, 32 % і не менше ніж 28 % сирої клейковини першої групи, має натуру не нижче 755 г/л, скловидність не менше 60 %, а сила борошна становить не менше 280 одиниць альвеографа.

Середнє співвідношення вмісту білка і крохмалю в пшеничному зерні становить 1 до 6,5, це співвідношення є найбільш сприятливим для нормальної працездатності людини і підтримання маси її тіла.

Хліб, випечений із борошна сильних пшениць, є не лише джерелом поживних речовин, а й чинником, що сприяє поліпшенню травлення та кращому засвоєнню інших продуктів харчування. У борошномельному виробництві сильні пшениці використовують для покращення якості слабких. Додавання 20–30 % борошна зі сильних пшениць до борошна зі слабких значно підвищує його хлібопекарські властивості. Держава заохочує виробників до вирощування високоякісного зерна сильних сортів пшениці.

У виробництві поширена група цінних пшениць, які за класифікацією належать до 3-го класу. Їхнє зерно містить від 23 % до 28 % сирої клейковини, а сила борошна становить менше ніж 280 одиниць альвеографа. З такого борошна випікають хліб доброї якості, проте воно не придатне для поліпшення борошна зі слабких пшениць.

Якщо зерно пшениці містить менше 23% сирої клейковини, то таке зерно

відносять до 4-го класу, що відноситься до слабких пшениць із найменш якісними хлібопекарськими властивостями.

Зерно пшениці у якому вміст сирової клейковини менше 18 % відносять до 5-го класу, таке зерно використовується у продовольчих цілях.

Якщо м'яке пшеничне зерно має низький вміст білка (до 11 %) та високий вміст крохмалю, воно може бути корисним для використання у кондитерській промисловості. Хоча в Україні таких сортів поки невелика кількість [14].

В Україні поширені сорти твердої озимої пшениці, які, порівняно з м'якими сортами, містять більше білка — до 18 %. Проте для хлібопекарської промисловості вони менш придатні, оскільки утворюють тугу й коротку клейковину, через що хліб із такого борошна має менший об'єм і швидше черствіє. Натомість борошно з твердих сортів пшениці є незамінним у виробництві макаронних виробів.

Клейковина з таких сортів сприяє виготовленню різних макаронних виробів (макарони, спагеті, локшина), які мають приємну текстуру і колір, зберігаючи свою форму у процесі варіння. Також, зерно твердих сортів пшениці використовують для виробництва манної крупи та сорту борошна- крупчатка високої якості.

Такий продукт як пшеничні висівки використовують у тваринництві, особливо цінними вони є для відгодівлі молодняка великої рогатої худоби, це зумовлено високим вмістом білка, що може становити до 14%.

Солома також відіграє певну роль у годівлі тварин: 100 кг звичайної соломи оцінюється приблизно в 21 кормову одиницю та містить до 0,6 кг перетравного протеїну. У разі безостих сортів пшениці цей показник значно вищий — 100 кг соломи забезпечують близько 40 кормових одиниць і містять до 1,5 кг перетравного протеїну.

Пшениця — одна з найдавніших і найпоширеніших культур у світі. Вона була відома мешканцям Месопотамії (сучасного Іраку) ще близько 6500 років до нашої ери, у 6000 роках до н. е. її вирощували землероби Давнього Єгипту в долині Нілу, а приблизно 5000 років до н. е. — у Китаї. На території сучасної

України, а також у Середній Азії, Грузії, Азербайджані, Вірменії та сусідніх регіонах пшеницю почали культивувати орієнтовно в 4000–3000 роках до нашої ери.

Озима пшениця, що вирощується за сучасними інтенсивними технологіями є гарним попередником для багатьох культур у сівозміні [2].

Через повномасштабне вторгнення посівні площі озимої пшениці в Україні значно скоротилися, проте наша країна змогла залишитися серед десяти провідних світових виробників. У глобальному масштабі виробництво пшениці протягом останніх двох сезонів продовжує зростати, і на сезон 2023–2024 року прогнозується новий рекорд — 789,8 млн тон зерна. До п'ятірки найбільших виробників пшениці входять Китай, Індія, Російська Федерація, США та Австралія.

Стабільним залишаються показники Європейського Союзу, який у сезоні 2022–2023 року виробив 134,3 млн тон зерна, поступаючись лише Китаю з обсягом 138 млн тон.

Світові посівні площі під пшеницю незначно зростають, і складають 221,4 млн. га, але середньосвітова врожайність незначно падає і складає 3,57 т з га. Порівняним із виробництвом лишається і внутрішнє споживання пшениці. Найбільшими країнами експортерами є росія - 44,5 млн. т, Україна у цьому топі на 6-му місці – 15,0 млн т [9]. Найбільшими світовими імпортерами є Єгипет, Індонезія та Китай.

У сезоні 2022–2023 в Україні загальна площа посівів озимої пшениці склала 7,2 млн га, з яких 1,8 млн га знаходились на тимчасово окупованих територіях. Урожайність на цих територіях була на 16 % нижчою порівняно з підконтрольними районами, а ще 8 % посівів не вдалося зібрати.

У сезоні 2023–2024 на тимчасово окупованих територіях під озиму пшеницю було засіяно на 10 % менше площі.

Структура посівних площ та врожайності

	Підконтрольні Україні території	Підконтрольні Україні території	Підконтрольні Україні території
Площа, млн га	5,40	1,80	7,20
Виробництво, млн т	20,80	5,80	26,60
Урожайність	3,85	3,22	3,69

1.2. Агробіологічні передумови до вирощування озимої пшениці

Як зазначалося раніше, пшениця належить до ботанічної родини злакових (тонконогових). Рід включає 30 видів, серед яких 26 є культурними, 4 — дикими, а також існують синтетичні види.

Види пшениці за морфологічними ознаками та господарськими властивостями поділяють на дві групи: полб'яні (плівчасті) та справжні (голозерні). У зрілому стані полб'яні колоски легко розпадаються на окремі зерна разом із частинами стрижня, тоді як під час обмолочування справжньої пшениці зерно потрапляє до бункера комбайна без оболонки. До полб'яних пшениць відносять однозернянку, полбу та спельту, загалом налічується 14 видів. Серед справжньої пшениці найціннішими є тверда та м'яка пшениця.

М'яка пшениця є найціннішим, найурожайнішим і найпоширенішим видом пшениці, виступаючи провідною хлібною культурою у багатьох країнах. Вона характеризується високою пластичністю, а сорти — дворучки, з ярою та озимою формами, що дозволяє вирощувати їх у різних кліматичних умовах світу. Озима м'яка пшениця відзначається високими хлібопекарськими властивостями та нараховує близько 194 сортів. Основним її недоліком є недостатня стійкість до хвороб, що може негативно впливати на врожайність.

Залишається актуальною проблема забезпечення населення продуктами харчування, причому зерно виступає не лише як товар для купівлі та продажу, а

й як своєрідна «валюта» та основа стратегічних запасів.

Пшениця відіграє важливу роль у вирішенні проблеми забезпечення продовольчої безпеки. Повна реалізація потенціалу деяких сортів озимої пшениці у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах ще недостатньо вивчена, оскільки багато залежить від погодних умов у різні вегетаційні періоди та генетичних особливостей сорту. Вегетаційний період озимої пшениці триває від 145 до 190 днів залежно від сорту. Фази проростання та набубнявіння включають такі підфази: водопоглинення, набухання до наклёвування, ріст первинних корінців, ріст проростка та вихід проростка. При низьких середньодобових температурах і нестачі вологи ці фази можуть подовжуватися, але в середньому тривають 1–2 дні.

Поява пера у вигляді шильця над поверхнею ґрунту свідчить про завершення фаз набубнявіння та проростання. Температура на глибині загортання насіння впливає на дружність сходів — для їх появи достатньо 2–5 °С. За оптимальної вологості та температури ґрунту сходи з'являються на 6–9-й день після посіву.

Фаза сходів починається після появи колептиля та першого листка над поверхнею ґрунту. Зелений листок росте за рахунок пластичних речовин, утворених під час фотосинтезу. За сприятливих умов його ріст завершується на 7–15-й день.

Коренева система пшениці розвивається разом із ростом листків. Коли рослина досягає 3–4 листків, ріст міжвузля припиняється, а на підземній частині формується потовщення — вузол кущіння. Фаза кущення починається через 15–20 днів після появи сходів. Озима пшениця проходить цю фазу при температурі 13–18 °С, а вузол кущіння розташовується на глибині близько 1,5–3 см від поверхні ґрунту. Глибина залягання залежить від способу вирощування, індивідуальних особливостей рослини та умов довкілля. Рослини, у яких вузол кущіння знаходиться глибше 3 см, більш стійкі до вилягання.

Енергія кущення в значній мірі визначається біологічними особливостями сорту. Озимі сорти пшениці, стійкі до несприятливих умов зимівлі, куцяться інтенсивніше і формують розлогий кущ, тоді як пластичні сорти кущання

проявляють слабше. Як надмірне, так і недостатнє кущення знижує врожайність зерна: у першому випадку через ризик вилягання рослин, у другому — через недостатню кількість продуктивних пагонів.

Початковий ріст стебла відбувається з нижнього міжвузля, яке протягом 10–15 днів активно видовжується. Піднявшись, воно утворює листову трубку, через яку проростають друге та наступні міжвузля. Фазою трубкування вважають момент, коли перший стебловий вузол піднімається на 2–3 см над поверхнею ґрунту, що відбувається приблизно через 42–50 днів після появи сходів. Цей період характеризується інтенсивним ростом вегетативної маси, формуванням та диференціацією суцвіть і репродуктивних органів. У цей час рослина особливо потребує достатньої кількості поживних речовин та вологи для нормального розвитку.

Фаза колосіння пшениці починається зі швидкого росту останнього міжвузля, яке виштовхує суцвіття з піхви верхнього листка назовні. Цей момент вважають настанням фази, коли довжина суцвіття у 10–15 % рослин досягає не менше половини довжини піхви листка. Спочатку колоски з'являються на головних пагонах, а через 1–3 дні — на бічних. Виколошування триває близько 5–6 днів, після чого через 2–3 дні починається цвітіння. При холодній погоді проміжок між колосінням і цвітінням може збільшуватися до 5–8 днів.

Початок цвітіння озимої пшениці визначається розкриттям нижніх квіток колосків у середній частині колоса, після чого процес поширюється вгору та вниз. На 2–3-й день після початку цвітіння відкривається найбільша кількість квіток. За сприятливих умов цвітіння може тривати близько доби, проте найінтенсивніше воно відбувається вранці та ввечері.

Запилення квіток відбувається під час фази цвітіння. Озима пшениця здебільшого самозапильна, хоча можливе й перехресне запилення. Більшість квіток у колосі (60–90 %) цвітуть, коли лусочки відкриті.

Цвітіння може відбуватися навіть у колосках, що залишилися в пазусі верхнього листка, особливо за сильної посухи та високих температур. Зниження температури уповільнює цвітіння та може зменшити врожайність. Мінімальна

температура, за якої цвітіння можливе, становить 6–7 °С, тоді як зниження до 0 °С може спричинити стерильність квіток.

Для успішного цвітіння рослини потребують достатньої кількості вологи. Найсприятливіші умови спостерігаються, коли вологість ґрунту становить не менше 75–80 % від його повної вологоємності.

У початковій стадії цвітіння формується найбільш повноцінне зерно. Процес формування зернівки починається після запліднення і триває в середньому 12–14 днів.

Протягом цієї фази зернівка інтенсивно зростає. Під кінець цього процесу зернівка досягає нормальної довжини і при натисканні виділяє рідину, подібну до молока, що свідчить про початок молочної стиглості. Тоді вологість зернівки становить 65–75 %.

Процес наливу зерна триває від початку молочної до воскової стиглості і займає 10–15 днів. У цей період спостерігається інтенсивний приріст сухої маси зернівки та поступове зменшення її вологості. Зернівка потовщується, змінює колір із зеленого на світло-жовтий, а її маса збільшується в 3–4 рази. Наприкінці фази вологість зернівки знижується до 35–40 %, надходження органічних і мінеральних речовин припиняється, і маса сухої речовини більше не збільшується.

На етапі повної стиглості насіння вологість зерна різко знижується з 35–40 % до 16–18 %, одночасно висихають стебла, листки та суцвіття, і зерно поступово відокремлюється від рослини. Вимоги пшениці до основних факторів росту і розвитку змінюються залежно від сорту, віку рослини, її стану, погодних умов та інших чинників.

Озима пшениця відноситься до холодостійких культур. Навіть за температури посівного шару ґрунту всього 2 °С насіння може прорости, хоча сходи можуть з'являтися запізно і нерівномірно. Оптимальна температура для дружного проростання — 14–17 °С, тоді як підвищення до 25 °С і більше може спричинити ураження проростків грибковими хворобами та формування слабких, тонких коренів. Проростання насіння та утворення сходів відбуваються

восени, а наступні етапи розвитку — навесні та влітку наступного року. За достатнього загартування взимку пшениця здатна витримувати зниження температури ґрунту на глибині вузла кущіння до $-16-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, а найбільш морозостійкі сорти — до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Рослини озимої пшениці характеризуються високою термотолерантністю у літній період. Навіть короточасні підвищення температури до $35-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ не завдають суттєвої шкоди розвитку рослин, особливо за умови достатнього зволоження ґрунту.

Якість зерна, а також вміст білка та клейковини значною мірою визначаються погодними умовами та рівнем доступності для рослин азоту і вологи в ґрунті. Озима пшениця потребує постійного забезпечення водою; під час проростання насіння воно поглинає вологу в обсязі $50-55\%$ від власної маси.

Недостатня вологість ґрунту під час проростання насіння та появи сходів може істотно пошкоджувати посіви, викликаючи зріджені та нерівномірні сходи. Дефіцит вологи на фазі кущіння призводить до зниження кущистості рослин, а в період колосіння та цвітіння — до зменшення кількості зерен у колосі та маси 1000 насінин. Для формування одиниці сухої речовини рослина витрачає від 300 до 450 одиниць води.

Протягом вегетаційного періоду вологість ґрунту має залишатися у межах $65-80\%$ від норми вологості ґрунту.

Коренева система пшениці найефективніше розвивається у пухких ґрунтах з об'ємною масою $1,1-1,25\text{ г/см}^3$. Занадто розслаблені ґрунти з об'ємною масою менше $1,1\text{ г/см}^3$ також є небажаними для розвитку коренів, оскільки при наступному осіданні ґрунту це може призвести до обривання корінців.

Якщо ґрунт родючий, насичений гумусом (його вміст не менше 2%) та багатий допустимими рослинам елементами живлення, тоді пшениця буде процвітати. Для утворення 1 центнера зерна, з урахуванням соломи, вона вилучає з ґрунту від 3 до 4 кг азоту, від $0,9$ до $1,3$ кг фосфору і від 2 до 3 кг калію, залежно від сорту та умов вирощування.

Найсприятливішими для вирощування пшениці є чорноземні, каштанові, сірі

та темно-сірі опідзолені ґрунти середньосуглинкової механічної структури з нейтральною реакцією ґрунтового середовища (рН 6,5–7,5). Незадовільно пшениця розвивається на солонцюватих і кислих ґрунтах важкого механічного складу, схильних до запливання, а також на ділянках із застою води.

На показники родючості ґрунту під час вирощування озимої пшениці впливає низка різноманітних чинників, і їх оцінка є важливою для раціонального використання ґрунтів та забезпечення високої продуктивності сільськогосподарських культур.

На основі тривалих досліджень було встановлено вплив попередників на поживний режим чорноземів та врожайність озимої пшениці. Агрохімічні показники ґрунту, такі як вміст гумусу, азоту, фосфору, калію та рН, відіграють ключову роль у створенні оптимальних умов для росту й розвитку рослин, а також у забезпеченні стабільної продуктивності врожаю.

Пшениця озима, серед зернових культур, проявляє найвищі вимоги до умов живлення, особливо в період формування та наливу зерна. Азотне живлення та погодні умови мають вирішальне значення для утворення зерна та продуктивності пшениці озимої, оскільки значна частина урожаю формується після колосіння.

Фосфор сприяє формуванню кореневої системи та генеративних органів рослин, тоді як його дефіцит може призвести до їх недостатнього розвитку. Калій підвищує міцність стебла та морозостійкість рослин, що є важливим чинником для забезпечення високої врожайності.

Сівозміни мають велике значення для раціонального використання орних земель та підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Вибір сівозмін слід здійснювати з урахуванням природно-кліматичних умов та потреб конкретного господарства. Найбільш сприятливими попередниками для озимої пшениці є чисті та зайняті пари, горох та інші зернові бобові культури. Підбір попередників має враховувати вміст фосфору та калію в ґрунті та потреби самої пшениці. Сівозміна є ключовим елементом землеробства, що забезпечує підтримку родючості ґрунту, зменшує ризик поширення хвороб і шкідників та

покращує фітосанітарний стан ґрунту.

При виборі попередників для озимої пшениці необхідно враховувати природно- кліматичні умови, потреби господарства та агрохімічні властивості ґрунту.

Вплив різних попередників на ґрунт суттєво впливає на його агрохімічні показники, що, в свою чергу, має значення для раціонального використання чорноземів, відновлення та підвищення їх родючості, а також для отримання високих урожаїв сільськогосподарських культур, зокрема й озимої пшениці.

Агрохімічні показники ґрунту, зокрема вміст гумусу, азоту, фосфору, калію та рівень рН, є визначальними для створення оптимальних умов росту та розвитку сільськогосподарських культур, а також для підтримки стабільного екологічного стану агроландшафтів.

Серед зернових колосових культур озима пшениця є найвибагливішою до умов живлення. Потреби цієї культури у мінеральних елементах змінюються протягом її онтогенезу.

Азотне живлення суттєво впливає на озерненість колоса та крупність зерна, а отже, й на врожайність озимої пшениці, особливо в період формування та наливу зерна.

Фосфор суттєво впливає на розвиток кореневої системи, формування генеративних органів та утворення зерна. Його дефіцит може призводити до уповільнення росту зазначених органів.

Калійне живлення відіграє важливу роль у підвищенні морозостійкості рослин та зміцненні стебел, що є особливо актуальним для сортів, схильних до вилягання. Дефіцит калію може спричиняти зниження врожайності та погіршення якості зерна.

Сівозміна забезпечує раціональне використання земельних та інших ресурсів і дозволяє розробляти технології вирощування культур з урахуванням їх взаємного впливу. Використання оптимальних сівозмін, що відповідають природно-кліматичним умовам та спеціалізації господарства, є одним із ключових чинників підвищення ефективності землеробства.

Дослідження та виробнича практика показують, що найкращими попередниками пшениці в різних зонах України є:

- Степова зона: чисті та зайняті пари, горох, люцерна (за умови зрошення);
- Лісостепова зона: зайняті пари, горох, багаторічні трави на один укіс;
- Поліська зона: зайняті пари, горох, рання картопля, льон-довгунець.

Розміщення пшениці після кращих попередників може призвести до збільшення врожаю зерна на 0,7–1 т/га і більше порівняно з розміщенням її після стерньових попередників.

Зернобобові культури, такі як горох, вика, кормові боби та соя, є важливими попередниками, оскільки сприяють покращенню структури ґрунту та зменшенню його забур'яненості. Розвинений травостій цих культур істотно впливає на врожайність наступної сільськогосподарської культури.

Температурний режим визначає накопичення поживних речовин у ґрунті та впливає на швидкість переміщення води з розчиненими солями, що, у свою чергу, визначає доступність елементів живлення для рослин. За низьких температур сповільнюється поглинання коренями азоту та фосфору, а також уповільнюється засвоєння калію.

Ґрунт є основним джерелом поживних речовин для рослин. Хоча більшість цих елементів міститься в органічних сполуках рослинних решток та перегнійних речовинах, лише незначна їх частина доступна для засвоєння рослинами. Тому важливу роль у збереженні та накопиченні поживних речовин у ґрунті відіграють культури, що вирощуються в сівозміні.

Азот у ґрунті здебільшого міститься у вигляді органічних сполук, тоді як доступні для рослин форми азоту обмежені. Біологічні процеси, зокрема симбіоз бульбочкових бактерій із бобовими культурами, сприяють збагаченню ґрунту азотом.

Фосфор є важливим елементом живлення рослин, а його доступність у ґрунті визначається біологічним кругообігом речовин.

Калій відіграє ключову роль у розвитку рослин та підвищенні їх стійкості до стресових умов, а його доступність також регулюється біологічними процесами.

Таким чином, раціональне включення зернобобових культур у сівозміну сприяє покращенню структури ґрунту та забезпеченню рослин поживними речовинами, що позитивно впливає на врожайність наступних культур.

1.3. Технології вирощування озимої пшениці

Технологій вирощування озимої пшениці досить багато, адже кожне господарство обирає технологію залежно від доступності власних ресурсів та ґрунтово-кліматичних умов господарства [17]. Ми розглянемо тільки основні технології обробітку ґрунту: традиційна обробка, No-Till, Strip-Till і Verti-Till.

Важливим етапом, що визначає стан ґрунтового покриву та врожайність культур, є обробіток ґрунту. У сучасних умовах стрімкого розвитку світового сільського господарства удосконалюються технології обробітку ґрунту, які дозволяють мінімізувати антропогенний вплив на навколишнє середовище, підвищити врожайність і ефективність агровиробництва.

Традиційний обробіток ґрунту базується на оранці, яка забезпечує перевертання, розпушування та кришіння верхнього шару ґрунту. Для розпушування також застосовуються механічні засоби. Ця технологія обрана за основу в даній бакалаврській кваліфікаційній роботі, оскільки вона широко використовується протягом багатьох років і має як переваги, так і недоліки. До основних переваг належать аерація ґрунту, покращення його структури та зниження чисельності шкідливих мікроорганізмів.

Серед недоліків оранки слід зазначити втрату органічної речовини, забруднення навколишнього середовища, зокрема ґрунтових вод, та ерозію ґрунту. Як альтернативу можна застосовувати глибоке рихлення, яке дозволяє розпушувати ґрунт без перевертання верхнього шару, зменшуючи ризик ерозії. Глибоке рихлення покращує дренажні властивості ґрунту та забезпечує кореневу систему рослин можливістю проникати в більш глибокі шари, а волога краще просочується в нижні горизонти. До культур із глибокою кореневою системою належить озима пшениця, тому для ефективного вирощування цієї культури

доцільним є застосування оранки або глибокого рихлення.

Технологія Strip-Till бере свою базу на застосуванні різних засобів для обробки лише тієї частини ґрунту, де буде розміщене насіння. Такий підхід дозволяє зберегти вологу та зменшити ерозію за рахунок того, що велика частина ґрунту лишається в незмінному стані. Насіння розміщується в оптимальних умовах для проростання, що поліпшує врожайність. Недоліками технології є необхідність точного планування смужок та вирівнювання ґрунту, а також високі ціни на обладнання. Така технологія є найбільш ефективною, де потрібно ефективно використати ресурси та зберегти ґрунт.

Технологія No-Till передбачає нульовий обробіток ґрунту, коли поле перед посівом не піддається механічному обробітку. Рослинні рештки попередньої культури залишаються на поверхні ґрунту, що сприяє збереженню його структури та вологості. До переваг цієї технології належать збереження ґрунтового покриву, економія паливно-мастильних матеріалів та зниження зносу обладнання. Серед недоліків — конкуренція між рослинами за воду та поживні речовини, а також ризик підвищення чисельності шкідливих мікроорганізмів. No-Till рекомендують застосовувати на ділянках, де необхідно запобігти ерозії ґрунту та максимально зберегти його родючість. Ця технологія підходить для культур, здатних розвиватися серед рослинних решток і які не потребують глибокого розпушування ґрунту.

Технологія Verti-Till поєднує елементи розпушування та глибокого рихлення ґрунту. Спеціальне обладнання дозволяє створювати вертикально оброблені смуги ґрунту. Перевагами цієї технології є поліпшення структури та дренажних властивостей ґрунту, забезпечення оптимальної аерації та збереження більшої кількості органічної речовини, що сприяє ефективнішому розкладанню рослинних решток для наступних культур. До недоліків відносять складність застосування та потребу в спеціалізованій техніці. Verti-Till доцільно використовувати на ділянках, де необхідно ефективно розпушити рослинні рештки та звільнити поживні речовини, а також для вирощування культур, здатних використовувати покращену структуру ґрунту.

1.4. Технічні засоби для вирощування озимої пшениці

Технічні засоби та їх характеристики будуть наведені відповідно до технологій, які були описані в попередньому підрозділі. У прикладі агрегатів що використовуються у тій чи іншій технології буде використано лише по одному.

Оскільки виробників є велика кількість, і кожен трактує ефективність свого агрегату найвищому рівні відповідно до ціни.

Згідно з традиційною технологією обробітку ґрунту, після збирання попередньої культури проводять лушення стерні, що є важливим етапом підготовки ґрунту до наступної сівби. Цей процес включає подрібнення та розпушування ґрунту, активне знищення бур'янів, а також накопичення вологи. Лушення сприяє збереженню поживних речовин, зменшенню чисельності шкідників та активізації діяльності ґрунтових мікроорганізмів. Як результат, підвищується якість підготовки ґрунту для подальшого обробітку та знижується його опір під час майбутньої оранки.

Український виробник Деметра виготовляє дисковий лушильник з пружинними стійками ЛДД-3000 (рис. 1.1) [4]. Агрегат забезпечує якісне перемішування ґрунту та рослинних решток. Глибина обробітку 4-12 см.



Рис. 1.1. Дисковий луцильник ЛДД-3000

Індивідуальні пружинні стійки робочих органів забезпечують безперебійну та ефективну роботу луцильної системи навіть у забруднених або кам'янистих умовах. Така конструкція дозволяє досягати високої продуктивності при мінімальному споживанні палива та забезпечує можливість роботи на підвищених швидкостях.

На ринку представлена велика кількість агрегатів для луцення стерні як вітчизняних так і закордонних виробників. Вони можуть мати різні робочі органи, вузли, робочу ширину захвату і швидкість.

Після обробки попередника виконують найбільш важливий обробіток ґрунту – оранку [11]. Як зазначалося раніше даний технологічний процес дозволяє забезпечити перевертання, розпушування та кришіння верхнього шару ґрунту. Роботи виконуються у встановлені агротехнічні строки при оптимальній фізичній стиглості ґрунту, коли його відносна вологість становить 40–70 % від повної вологоємності. Якщо стиснутий у руці ґрунт при падінні з висоти 1,5 м розпадається на дрібні грудки, це свідчить про досягнення оптимальної стиглості. У такий період витрачається мінімум зусиль, ґрунт не прилипає до робочих органів, не пилить і формує крихкі структури. Обробка надмірно

вологого або пересушеного ґрунту призводить до утворення великих грудок. За ідеальної обробки ґрунтовий шар перевертається на 180° , розкривається на структурні агрегати розміром близько 13 мм, а добрива і рослинні рештки переміщуються на дно борозни.

Глибина обробки ґрунту визначається специфікою вирощуваних культур, ґрунтово-кліматичними умовами, а також ступенем забур'яненості. Обробку ґрунту на глибину до 20 см відносять до поверхневої, 20–22 см — до стандартної, понад 22 см — до глибокої, а більше 40 см — до плантажної.

Вітчизняний виробник Велес-Агро виробляє плуг оборотний навісний ПОН-3-35+ (рис. 1.2) для оранки під технічні та зернові культури на глибину 18–35 см на ділянках, за умови незасміченості ділянок камінням та іншими перешкодами, з твердістю ґрунту до 3,5 МПа та питомим опором не більше 0,09 МПа [12].

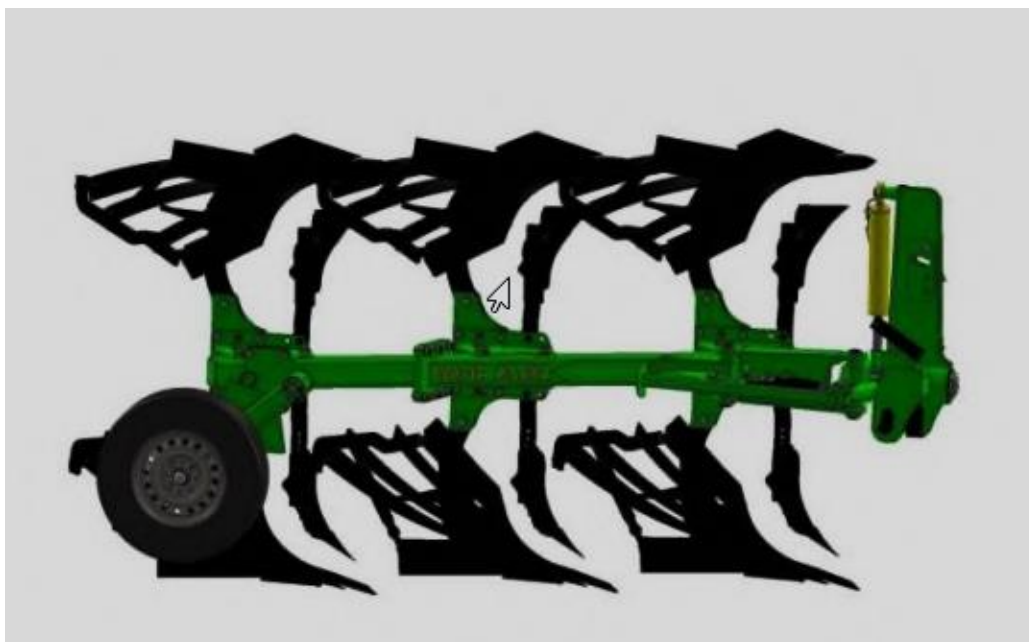


Рис. 1.2. Плуг Велес-Агро ПОН-3-35+

Відвали даного плуга мають смугову будову – це дозволяє ефективніше розпушувати ґрунт в умовах підвищеної вологи та не залишати суцільних пластів.

Гвинтовий регулятор забезпечує можливість налаштування кута нахилу відвалу та ширини захвату робочого органу. Плуг агрегується з тракторами потужністю 82–105 к. с.

Після основного обробітку проводять культивуацію – передпосівний обробіток ґрунту. Від якості культивації значною мірою залежить дружність і рівномірність появи сходів насіння.

Проводять культивуацію агрегатом КПС-4 ВЕСНА (рис. 1.3) [6].



Рис. 1.3. Культиватор КПС-4 ВЕСНА

На культиваторі застосована лапа, яка забезпечує стабільність роботи передньої та задньої частини завдяки зміненому куту атаки обробітку. Навантаження на трактор зменшується через зменшення борозни. Глибина обробітку ґрунту варіює в межах 4–12 см. Конструкція навісного обладнання культиватора дозволяє незалежно регулювати висоту котків та гребінки, а також змінювати кут нахилу самої гребінки. Робочі органи культиватора залежать від поставлених технологічних вимог (рис. 1.4).

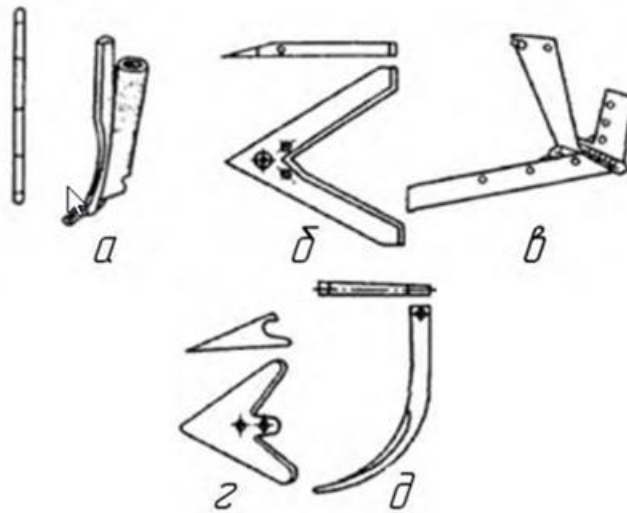


Рис.1.4. Робочі органи культиваторів: *а* — підживлювальний ніж; *б* — стрілочаста лапа без хвостовика; *в* — плоскорізальна лапа; *г* — стрілочаста універсальна лапа; *д* — долотоподібна лапа

Після культивації здійснюють посів. Він виконується сівалками суцільного висіву на глибину 3–5 см залежно від ґрунтово-кліматичних умов. На вітчизняному ринку зернові сівалки представлені такими виробниками, як ФАВОРИТ, ЕЛЬВОРТИ, а також низкою інших, у тому числі іноземних компаній.

Досліджуючи ринок агрегатів, спрямованих на оптимізацію вирощування та ефективного управління ресурсами, компанія Mzugi пропонує революційний підхід до обробки ґрунту за допомогою свого агрегату Pro-Til (рис. 1.5) [18]. Ця технологія, відома як Strip-Till, поєднує переваги традиційної та нульової обробки для забезпечення оптимальних умов для вирощування рослин.



Рис. 1.5. Комбінований агрегат Mzuri Pro-Til

Одним із важливих аспектів цієї технології є збереження та акумуляція вологи в ґрунті. Завдяки специфіці обробітку, який передбачає залишення стерні та поживних решток, волога не лише утримується в ґрунті, а й ефективно накопичується під час опадів.

Технологія Strip-Till від Mzuri Pro-Til об'єднує розпушування ґрунту на задану глибину, внесення добрив та висів насіння без попередньої обробки ґрунту по стерні попередньої культури. Ця система дозволяє виконати всі необхідні операції за один прохід, забезпечуючи ефективне вирощування культури.

Важливою особливістю є те, що обробляється лише 33 % площі поля, а решта залишається недоторканою. Це сприяє раціональному використанню ресурсів, зменшенню викидів та збереженню біорізноманіття ґрунту. Крім того, застосування цієї технології дозволяє зменшити витрати пального та скоротити час роботи.

Випробування показали, що технологія Strip-Till від Mzuri Pro-Til ефективна навіть у посушливі періоди, забезпечуючи дружні сходи за відсутності опадів. Цей метод успішно застосовується для вирощування озимої пшениці в регіонах із посушливим кліматом, зокрема в Одеській, Миколаївській та Черкаській областях України, а також у інших регіонах, де проводилися випробування.

No-Till або нульова технологія - це складний агрокомплекс, що включає різноманітні заходи. Це не просто відмова від обробки ґрунту та зусилля заощадити паливо, але й ефективне керування сівозміною та поживними рештками.

На початковому етапі впровадження технологія No-Till здобула популярність в Україні завдяки обіцянці економії ресурсів і збереження вологи в ґрунті. Проте деякі фермери зазнали зниження врожайності на 20–30 % або навіть повної відсутності врожаю, що змусило їх відмовитися від цієї технології через необхідність тривалої підготовки ґрунту.

Водночас для багатьох фермерів надзвичайно привабливою була можливість зекономити до 70 % пального на гектар та прискорити підготовку полів до посіву. У результаті в Україні найпоширенішою практикою став так званий «напів No-Till», що передбачає періодичний прямий висів насіння у стерню.

Необхідно зазначити, що ефективне впровадження технології No-Till вимагає спеціалізованого обладнання, зокрема потужних сівалок, здатних працювати з товстим шаром рослинних залишків. Вибір такого обладнання є критично важливим, оскільки від його продуктивності залежить якість обробки ґрунту та збереження врожайності.

Вітчизняна компанія ТОВ Агромаш-Калина виробляє сівалку KASI NO TILL (рис. 1.6) розроблену для рядкового посіву насіння зернових, бобових культур, ріпаку та льону, одночасно вносячи гранульовані мінеральні добрива за технологією No-Till [16]. Вона також підходить для посіву насіння інших культур, які мають схожий розмір і норми висіву.



Рис. 1.6. Агротрактор-Калина KASI NO TILL

Однією з основних переваг сівалки KASI є здатність здійснювати якісний посів у непідготовлений ґрунт, адже технологія No-Till не передбачає культивування чи іншої попередньої обробки. Для цього сівалка оснащена сошниками з високим тиском, що забезпечує точне закладання насіння на потрібну глибину, а також надійною системою його подачі та розстановки в рядках. Великий тиск на кожен сошник обумовлює масивну конструкцію та значну вагу агрегату, через що він призначений виключно для причіпного виконання, а не для навісного.

Іноземна компанія Kuhn пропонує агрегат для вертикального обробітку ґрунту Excelsator (рис. 1.7). Цей агрегат призначений для подрібнення та загортання пожнивних решток, а також для підготовки посівного ложа для насіння на швидкості від 12 до 16 км/год за один прохід. Такий підхід дозволяє уникнути повного перевертання ґрунту та його бічного переміщення, зберігаючи природну структуру та зменшуючи ризик ерозій, таких як вітрова та водна. Пожнивні рештки рослин-попередників залишаються на поверхні, поступово розкладаються та сприяють підвищенню родючості ґрунту.



Рис. 1.7. Агрегат для вертикального обробітку ґрунту Kuhn Excelerator

Таким чином, вирощування озимої пшениці є комплексним процесом, що потребує ретельного врахування численних факторів та дотримання агротехнічних вимог для отримання високоякісного та стабільного врожаю.

Запас поживних речовин у ґрунті є критично важливим, адже він забезпечує рослини необхідними елементами для нормального росту та розвитку. Водночас ґрунтово-кліматичні умови відіграють визначальну роль, оскільки нестача вологи або слабка родючість ґрунту можуть суттєво обмежувати потенціал рослин. Неодноразово спостерігалось, що навіть на найпродуктивніших полях у періоди посухи врожайність знижувалася до рекордно низьких показників.

Стартові умови розвитку рослини мають вирішальне значення. Якщо рослина не отримає необхідного початкового стимулу в період вегетації, це може негативно позначитися на її подальшому рості та врожайності. Саме тому надзвичайно важливо правильно підготувати ґрунт перед посівом, створивши оптимальне посівне ложе та забезпечивши достатню кількість стартових поживних речовин для ефективного розвитку рослини.

Отже, успішне вирощування озимої пшениці вимагає комплексного підходу та уваги до кожного з важливих факторів, зокрема до збереження вологи, запасу оптимальної кількості поживних речовин у ґрунті при стартовому рості рослини і в процесі її розвитку.

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ ҐРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ РІДКИХ ДОБРИВ

2.1 Механіко-технологічні передумови до обробітку при вирощуванні озимої пшениці.

Технологічні властивості ґрунту істотно впливають на ефективність процесів його обробітку та внесення рідких добрив, адже саме вони визначають ступінь розпушення, перемішування, кришіння й ущільнення орного шару. Ґрунт є складною багатофазною системою, що включає тверду, рідку та газоподібну фази, а також живі організми, які беруть участь у формуванні його фізико-механічних властивостей.

У даній магістерській роботі для розрахунків прийнято характеристики, притаманні середнім типам ґрунтів. До таких належать супіщані, піщано-суглинисті та пилувато-суглинисті ґрунти, які займають проміжне положення за своїми агрофізичними властивостями. Вони мають добру водопроникність, легко розпушуються та забезпечують сприятливі умови для розвитку кореневої системи озимої пшениці.

Рідка фаза ґрунту представлена водою та розчинами мінеральних речовин, які безпосередньо впливають на ефективність засвоєння добрив. Вода може перебувати у зв'язаному або вільному стані, що визначає рухомість поживних елементів. Газоподібна фаза складається з повітря, водяної пари та інших газів, які заповнюють поровий простір між частинками твердої фази.

Вологість є одним із ключових параметрів, що визначає технологічну стиглість ґрунту. Найбільш сприятливими умовами для механічного обробітку та ефективного внесення рідких добрив є відносна вологість у межах 60...70%.

Щільність ґрунту залежить від його гранулометричного складу, вмісту гумусу та пористості і змінюється в межах 0,9–1,6 г/см³. Оптимальна щільність для росту більшості культур, зокрема озимої пшениці, становить 1,0–1,3 г/см³.

Твердість ґрунту характеризує його опір проникненню робочих органів агрегату. Вона визначається силою, необхідною для занурення наконечника в ґрунт, і має важливе значення при розрахунку навантажень на елементи системи внесення добрив.

Коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту є змінною величиною, що залежить від його складу, вологості та стану робочих поверхонь. За даними Г.М. Синєокова, для суглинистих ґрунтів коефіцієнт тертя зі сталлю становить 0,35–0,50, а кут тертя — 19–26°.

Опір ґрунту різним видам деформації залишається предметом активних досліджень, адже ці властивості визначають ефективність роботи машин для обробітку та внесення добрив. Встановлено, що найменший опір спостерігається при розтягуванні, середній — при зсуві, а найбільший — при стисненні.

Липкість і пластичність є додатковими характеристиками, що впливають на взаємодію ґрунту з робочими органами. Липкість визначає здатність частинок ґрунту прилипати до поверхонь, тоді як пластичність характеризує його здатність деформуватися без утворення тріщин після припинення дії навантаження. Для суглинистих ґрунтів коефіцієнт пластичності зазвичай становить 7–17.

2.2 Агробіологічні передумови використання рідких добрив при вирощуванні озимої пшениці

У сучасних умовах зміни клімату та посилення посушливості значно впливають на ефективність використання мінеральних добрив при вирощуванні озимої пшениці. Недостатній рівень вологи в ґрунті обмежує доступність елементів живлення, особливо азоту, у критичні періоди розвитку культури — від відновлення весняної вегетації до куціння та трубкування. Це змушує аграріїв шукати більш гнучкі та ефективні системи внесення добрив, здатні забезпечити рослини необхідними поживними речовинами за мінімальних витрат і з урахуванням погодних ризиків.

Традиційні гранульовані форми азотних добрив ефективно працюють лише при достатній вологості ґрунту, оскільки без води процес їх розчинення і доступність для рослин значно знижується. У разі дефіциту опадів рослини отримують обмежену кількість азоту, що призводить до зменшення кушіння, уповільнення росту стебла та формування нижчого врожаю. В умовах стрімкого зростання цін на мінеральні добрива, несвоєчасне або надмірне внесення азоту тягне за собою економічні втрати виробників. У цьому контексті особливу увагу приділяють рідким комплексним добривам, які швидко розчиняються у ґрунті та рівномірно розподіляються, забезпечуючи кращу доступність поживних речовин для рослин.

На світовому рівні лідерами за використанням рідких форм добрив є США, де близько 60–65% всього азоту вноситься у рідкій формі. Це пояснюється високим рівнем механізації та автоматизації агротехнологічних процесів, а також нижчими витратами на зберігання та транспортування. В Україні частка рідких добрив поки що невисока, що пов'язано з обмеженою наявністю спеціальної техніки та умов для їх зберігання. Проте досвід інших країн показує, що застосування рідких добрив дозволяє зменшити трудові витрати, підвищити рівномірність внесення та ефективність використання поживних речовин.

У процесі вирощування озимої пшениці однією з ключових передумов отримання високих урожаїв є раціональне забезпечення рослин елементами живлення. Для формування 1 центнера зерна разом із соломомою культура виносить із ґрунту в середньому від 3 до 4 кг азоту, від 0,9 до 1,3 кг фосфору та від 2 до 3 кг калію, залежно від сорту, рівня агротехніки та умов вирощування. Забезпечення оптимальної кількості поживних речовин є важливою складовою формування потенційного врожаю. Разом із тим, у більшості ґрунтів степової зони України наявний певний природний запас азоту, фосфору та калію, який частково задовольняє потреби рослин на початкових етапах росту. Надмірне внесення мінеральних добрив у посушливих умовах є недоцільним, оскільки за відсутності достатньої вологості рослина не здатна повноцінно засвоїти елементи живлення. Частина азоту може втрачатися через денітрифікацію або

переходити у форми, недоступні для засвоєння, що призводить до зниження ефективності добрив та економічних витрат.

Особливе значення має застосування рідких комплексних добрив, які включають азот, фосфор, калій та інші мікроелементи. Вони забезпечують швидке засвоєння рослинами та дозволяють проводити рівномірне внесення на полях із різною механічною структурою ґрунту. Найбільш ефективним вважається смугове двошарове внесення, при якому добрива подаються на глибину 5 та 15 см. Такий метод дозволяє розподілити поживні речовини в межах активного шару розвитку кореневої системи та забезпечує рівномірне засвоєння елементів живлення протягом вегетаційного періоду. Крім того, двошарова подача добрив зменшує втрати азоту через випаровування або вимивання та підвищує адаптивність технології до умов зволоження.

Глибина внесення рідких добрив визначається механічним складом ґрунту та його вологою. На легких піщаних ґрунтах глибина внесення збільшується, щоб добриво потрапляло ближче до кореневої системи, а на важких глинистих ґрунтах її зменшують для запобігання втратам азоту та нерівномірному розподіленню. У посушливих умовах доцільно збільшувати глибину внесення, щоб мінімізувати випаровування, а на ґрунтах із лужною реакцією або високим вмістом карбонатів — ретельно підбирати параметри внесення для запобігання хімічним тратам.

Для внесення рідких добрив використовують спеціальні агрегати, які забезпечують одночасне проникнення добрива на потрібну глибину та рівномірне розподілення. До таких належать культиватори передпосівного обробітку та аплікатори, агреговані з тракторами відповідного тягового класу. Кожен робочий орган оснащений трубкою або каналом для подачі добрива, що гарантує однорідний розподіл азоту по площі та мінімізацію його втрат. Механізація процесу знижує трудові витрати та забезпечує високий рівень технологічності.

Після внесення рідких добрив відбувається часткова адсорбція азоту ґрунтовими колоїдами, що зменшує його міграцію в нижні шари та підвищує

доступність для рослин. Далі азот трансформується з амонійної у нітратну форму через нітрифікацію, що дозволяє поживним речовинам ефективніше переміщуватися у ґрунтовому розчині та засвоюватися кореневою системою. Рідкі добрива також впливають на ґрунтову мікрофлору: спочатку тимчасово зменшується чисельність мікроорганізмів, проте після перетворення азоту у доступні форми активність відновлюється. Деякі форми рідких добрив можуть мати додатковий ефект на ґрунтову фауну, зокрема впливати на чисельність шкідників у верхньому шарі.

Ефективність внесення рідких добрив залежить від фізичного стану ґрунту. Пересушений ґрунт знижує ефективність через втрати азоту на поверхні, тоді як перезволожений ускладнює проходження добрива через канали агрегату та призводить до нерівномірного розподілу. Тому перед внесенням рідких добрив важливо оцінити вологість ґрунту та провести підготовчі операції, такі як боронування або культивування, для створення оптимального ґрунтового профілю.

На полях із високим вмістом органічної речовини внесення рідких добрив демонструє високу ефективність, оскільки органіка сприяє утриманню та перерозподілу азоту. Рекомендується комбінувати різні види рідких і органічних добрив для підтримання балансу поживних речовин та запобігання надмірній мінералізації органіки. На легких ґрунтах доцільно вносити добрива навесні, щоб уникнути вимивання азоту під час дощів, на важких та буферних ґрунтах — восени з урахуванням температури і фаз розвитку рослин.

З метою оптимального живлення рослин в умовах обмеженої вологості рекомендована норма внесення 185 л/га рідких комплексних добрив, що відповідає агрономічно доцільному рівню забезпечення елементами живлення на початкових етапах росту. Внесення проводиться смуговим способом на дві глибини — 5 та 15 см, що забезпечує розподіл поживних речовин у межах активного шару розвитку кореневої системи. Обрана технологічна схема передбачає можливість коригування системи удобрення навесні залежно від фактичних погодних умов та стану посівів. У разі сприятливої осені та достатнього зволоження взимку доцільність проведення додаткового

підживлення у фазі весняного кушення зберігається. Це дозволяє компенсувати можливі втрати поживних речовин та закласти вищий потенціал урожайності, максимально використовуючи ефект попереднього внесення на різну глибину.

Таким чином, використання рідких комплексних добрив у поєднанні зі смуговим двошаровим внесенням сприяє підвищенню ефективності використання елементів живлення, адаптації технології до умов зволоження та стабільному формуванню врожайності озимої пшениці навіть за впливу кліматичних обмежень.

2.3 Аналіз ґрунтообробного агрегату

Вітчизняний виробник ЕЛЬВОРТИ випускає причіпний культиватор «POLARIS 4», який призначений для високоефективної та ресурсозберігаючої підготовки ґрунту перед посівом сільськогосподарських культур. Агрегат поєднує кілька технологічних операцій: культивацію, підрізання та вичісування бур'янів, а також вирівнювання поверхні і її ущільнення для створення оптимальних умов для посіву. Культиватор «POLARIS 4» (рис. 2.1) оснащений лапами на С-подібних стійках із пружинним механізмом та катками для ущільнення ґрунту, що забезпечує ефективну роботу на різних типах ґрунтів. Лапи гарантують рівномірне розпушування ґрунту на глибину від 5 до 12 см та повне знищення бур'янів. Робочі органи виготовлені з високоякісної сталі та додатково укріплені сормайтгом, що підвищує їх довговічність та зносостійкість.

Глибина обробітку регулюється за допомогою центрального гвинта на рамі та гвинтових пар на опорних колесах. Вирівнювачі і борони забезпечують формування рівного посівного ложа, оптимальну щільність верхнього шару та кришіння ґрунту з переважанням дрібних грудок розміром до 25 мм. Для підвищення ефективності роботи культиватор комплектується гідросистемою, яка включає гідроциліндр, рукави високого тиску, дросель та штуцери.

Об'єднання двох і більше агрегатів за допомогою зчіпки дозволяє створювати широкозахватні комплекси, що значно підвищує продуктивність та

економічність обробітку.



Рис. 2.1. Культиватор «POLARIS 4» від компанії ЕЛЬВОРТИ

Для магістерської роботи базовий культиватор було модифіковано з метою реалізації технології смугового обробітку ґрунту з одночасним внесенням рідких добрив. Основні зміни стосуються конструкції робочих органів та їх розташування: замість 15 лап використовується 9, розташованих через кожні 45 см, що формує чергуючі оброблені та необроблені смуги. Лапи мають стрілчасту форму для обробітку верхнього шару на глибину 4–5 см та долотоподібне подовження, що дозволяє подавати рідкі добрива у нижній шар ґрунту на глибину до 20 см. Такий підхід забезпечує локалізоване внесення поживних речовин безпосередньо в зону розвитку кореневої системи та зберігає вологу в необроблених смугах.

Порівняно з оригінальним агрегатом, модифікована конструкція дозволяє значно зменшити енергозатрати та втрати вологи, адже обробляється не весь площинний шар ґрунту, а лише необхідні смуги для сівби. Це забезпечує більш ефективне використання рідких добрив та підвищує продуктивність рослин завдяки концентрованому живленню. Крім того, смуговий обробіток зменшує механічне порушення структури ґрунту, мінімізує ерозійні процеси та сприяє підтримці оптимальної вологості в необроблених ділянках. Завдяки поєднанню локалізованого розпушення та двошарового внесення добрив, агрегат створює передумови для рівномірного росту рослин і підвищення врожайності озимої пшениці.

Технічні характеристики культиватора POLARIS 4

	Базовий	Вдосконалений
Агрегується з трактором, клас	1,4	1,4
Робоча швидкість, км/год	До 12	До 9
Робоча ширина захвату, м	3,895	3,790
Глибина обробітку ґрунту, см	5-12	20
Обслуговуючий персонал, чол.	1	1
Кількість робочих органів, шт.	15	9
Маса агрегату, кг	1480	2120
Ширина захоплення стрілкової лапи, мм	330	190

2.4 Розрахунок та аналіз оптимального складу агрегата

У магістерській роботі запропоновано модифікацію ґрунтообробного агрегату на базі культиватора POLARIS 4 для смугового обробітку ґрунту з одночасним внесенням рідких добрив у два горизонти. Замість суцільної культивації використовується 9 робочих органів, розташованих через 45 см, що дозволяє формувати чергуючі оброблені та необроблені смуги ґрунту. Верхній шар обробляється стрілочастими лапами на глибину 4–5 см для створення посівного ложа, а долотоподібні подовження забезпечують подачу рідких добрив у нижній шар на глибину 15 см.

Для визначення відповідності агрегату потужності трактора та забезпечення виконання агротехнічних вимог проведено розрахунок тяги для обробітку верхнього шару на глибину 5 см. Далі виконано порівняльний аналіз з обробітком нижнього шару за допомогою долотоподібних подовжень на глибину 20 см із одночасним внесенням рідких добрив. Такий підхід дозволяє оцінити оптимальний склад агрегата з точки зору кількості робочих органів, їх розташування, а також витрат енергії та продуктивності.

Порівняння обох режимів обробітку показує, що верхній шар на 5 см забезпечує підготовку рівного посівного ложа з мінімальними механічними втратами та збереженням вологості в необроблених смугах, тоді як нижній шар із долотоподібними подовженнями забезпечує точне локалізоване внесення добрив і підтримку росту кореневої системи. Розрахунки підтверджують, що запропонована схема дозволяє оптимально поєднати якість обробітку ґрунту, ефективність внесення добрив та економію енергетичних витрат.

Ми проведемо розрахунок для суцільної культивації на глибину 5 сантиметрів, після чого віднімемо ширину необроблюваних смуг. Те ж саме проведемо з розрахунками для долотоподібного подовження. Долотоподібне подовження з робочою шириною 4 сантиметри.

Дані для тягового розрахунку:

- трактор: Case Maxxum 110;
- колісна формула: 4К4
- культиватор: ЕЛЬВОРТИ «POLARIS 4»;
- питомий опір ґрунту: $k_{01} = 2,0$ кН/м, при швидкості руху 5 км/год на глибину 5 см;
- питомий опір ґрунту: $k_{02} = 7,3$ кН/м, при швидкості руху 5 км/год на глибину 20 см;
- кут нахилу місцевості: $i = 1\%$;
- глибина культивації за звичайних умов: $a = 5$ см;
- глибина культивації з внесенням рідких добрив: $a = 20$ см;
- довжина гону: 1100 м;
- коефіцієнт прогинання шин: $\lambda = 0,78$;
- номінальні оберти двигуна: $n_n = 2200$ об/хв;
- номінальна потужність двигуна: $N_{ен} = 82,0$ кВт;
- маса трактора: $m_{тр} = 4880$ кг;
- теоретична швидкість руху: $v_t = 8$ км/год;
- радіус обода: $r_0 = 0,485$ м;
- висота шини: $h = 0,318$ м;

- кількість конічних пар: $\alpha = 1$;
- кількість циліндричних пар: $\beta = 5$;
- коефіцієнт зчеплення ведучого апарату з ґрунтом: $\mu = 0,53$;
- коефіцієнт опору кочення: $f = 0,1$.

Визначення складових тягового балансу трактора:

Радіус кочення колеса колісного трактора:

$$r_k = r_0 + \lambda h, \text{ м}, \quad (2.1)$$

де r_0 - радіус обода колеса, м;

λ – коефіцієнт прогинання шини;

h - висота шини, м;

$$r_k = 0,485 + 0,75 \cdot 0,318 = 0,723 \text{ м.}$$

Визначення механічного ККД трансмісії трактора:

$$\eta_{\text{тр}} = \eta_k^\alpha \cdot \eta_{\text{ц}}^\beta \cdot \eta_{\text{г}}, \quad (2.2)$$

де $\eta_{\text{ц}} = 0,97$ – коефіцієнт корисної дії циліндричної пари шестерень;

$\eta_k = 0,96$ – коефіцієнт корисної дії конічної пари шестерень;

α і β – кількість конічних і циліндричних пар у зачепленні;

$\eta_{\text{г}}$ – ККД гусениці, для колісних тракторів $\eta_{\text{г}} = 1,0$;

$$\eta_{\text{тр}} = 0,97^1 \cdot 0,96^5 \cdot 1 = 0,79$$

Знаходимо передаточне число трансмісії:

$$i_{\text{тр}} = \frac{0,377 \cdot n_{\text{н}} \cdot r_k}{v_{\text{т}}}, \quad (2.3)$$

де $v_{\text{т}}$ – теоретична швидкість руху трактора, км/год;

$n_{\text{н}}$ – номінальні оберти двигуна;

$$i_{\text{тр}} = \frac{0,377 \cdot 2200 \cdot 0,723}{8,0} = 74,95$$

Дотичну силу тяги визначимо за формулою:

$$P_{\text{дот}} = \frac{9,554 \cdot N_{\text{ен}} \cdot i_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{тр}}}{r_{\text{к}} \cdot n_{\text{н}}}, \text{кН}, \quad (2.4)$$

$$P_{\text{дот}} = \frac{9,554 \cdot 82,0 \cdot 74,95 \cdot 0,79}{0,723 \cdot 2200} = 29,16 \text{ кН}.$$

Максимальна сила зчеплення:

$$F_{\text{max}} = \mu \cdot G_{\text{зч}}, \text{кН}, \quad (2.5)$$

де $G_{\text{зч}}$ – зчіпна сила ваги трактора, Н;

μ – коефіцієнт зчеплення ведучого апарата з ґрунтом;

Для колісних тракторів формули 4К4:

$$G_{\text{зч}} = m \cdot g, \text{кН}, \quad (2.6)$$

$$G_{\text{зч}} = G_{\text{т}} = 4880 \cdot 9,8 = 47824 \text{ Н};$$

$$F_{\text{max}} = 0,53 \cdot 47824 = 25,34 \text{ кН}.$$

Опір коченню трактора визначимо за формулою:

$$P_f = f \cdot G_{\text{т}}, \text{кН}, \quad (2.7)$$

$$P_f = 0,1 \cdot 47824 = 4,78 \text{ кН}.$$

Сила опору трактора на підйом:

$$P_i = G_{\text{т}} \cdot \frac{i}{100}, \text{кН} \quad (2.8)$$

де i – кут нахилу місцевості

$$P_i = 47,82 \cdot \frac{1}{100} = 0,478 \text{ кН.}$$

Рушійна сила визначається з умови:

$$\begin{cases} P_{\text{руш}} = P_{\text{дот}}, \text{ якщо } P_{\text{дот}} < F_{\text{max}} \\ P_{\text{руш}} = F_{\text{max}}, \text{ якщо } P_{\text{дот}} > F_{\text{max}} \end{cases} \quad (2.9)$$

Виходячи з умови:

$$P_{\text{руш}} = 25,34 \text{ кН.}$$

Сила тяги на гаку трактора:

$$P_{\text{гак}} = P_{\text{руш}} - P_f - P_i, \text{ кН,} \quad (2.10)$$

$$P_{\text{гак}} = 25,34 - 4,78 - 0,478 = 20,08 \text{ кН.}$$

Для опису балансу потужності трактора використовують наступне рівняння:

$$N_e = N_{\text{гак}} + N_{\text{тр}} + N_{\delta} + N_f + N_i + N_{\text{ВВП}}, \quad (2.11)$$

де N_e – потужність двигуна трактора, кВт;

$N_{\text{гак}}$ – тягова потужність трактора, кВт;

$N_{\text{тр}}$ – втрати потужності в трансмісії, кВт;

N_{δ} – втрати потужності на буксування, кВт;

N_f – втрати потужності на переміщення, кВт;

N_i – втрати потужності на підйом, кВт;

$N_{\text{ВВП}}$ – потужність, що реалізується через ВВП, кВт.

Робоча швидкість трактора:

$$v_p = v_T \cdot h_{\text{б}}, \quad (2.12)$$

$$h_{\delta} = 1 - \frac{\delta}{100}, \quad (2.13)$$

де δ – коефіцієнт пробуксовки, для трактора з колісною формулою 4К4, $\delta = 14\%$;

$$h_{\delta} = 1 - \frac{14}{100} = 0,86;$$

$$v_p = 8,0 \cdot 0,86 = 6,88 \text{ км/год.}$$

Потужність яка витрачається на підйом трактора:

$$N_i = \frac{P_i \cdot v_p}{3,6}, \text{ кВт}, \quad (2.14)$$

$$N_i = \frac{0,478 \cdot 6,88}{3,6} = 0,91 \text{ кВт.}$$

Потужність яка витрачається на переміщення трактора:

$$N_f = \frac{P_f \cdot v_p}{3,6}, \text{ кВт}, \quad (2.15)$$

$$N_f = \frac{4,78 \cdot 6,88}{3,6} = 9,13 \text{ кВт.}$$

Потужність яка витрачається на пробуксовку трактора:

$$N_{\delta} = N_{ен} \cdot \eta_{тр} \cdot \frac{\delta}{100}, \text{ кВт}, \quad (2.16)$$

$$N_{\delta} = 82 \cdot 0,79 \cdot \frac{14}{100} = 9,06 \text{ кВт.}$$

Витрати потужності на тертя в трансмісії:

$$N_{тр} = (1 - \eta_{тр}) \cdot N_e, \text{ кВт}, \quad (2.17)$$

$$N_{\text{тр}} = (1 - 0,79) \cdot 82 = 16,8 \text{ кВт.}$$

Оскільки витрати потужності на ВВП відсутні то $N_{\text{ВВП}} = 0 \text{ кВт.}$

Визначимо тягову потужність трактора:

$$N_{\text{гак}} = N_e - (N_{\text{тр}} + N_{\delta} + N_f + N_i + N_{\text{ВВП}}), \quad (2.18)$$

$$N_{\text{гак}} = 82 - (16,8 + 9,06 + 9,13 + 0,91 + 0) = 46,1 \text{ кВт}$$

Розрахуємо повний ККД:

$$\mu_{\text{п}} = \frac{N_{\text{гак}} + N_{\text{ВВП}}}{N_e}, \quad (2.19)$$

$$\mu_{\text{п}} = \frac{46,1 + 0}{82} = 0,56.$$

Розрахуємо питомий опір агрегату для заданої швидкості:

$$k_{\text{м1,2}} = k_0 \cdot \left[1 + \frac{\Pi}{100} \cdot (v_p - v_0) \right], \quad (2.20)$$

де $\Pi = 4\%$ – збільшення тягового опору сільськогосподарської машини при збільшенні швидкості руху на 1 км/год;

$k_{01} = 2,0 \text{ кН/м}$ – питомий опір при швидкості руху 5 км/год на глибину 5 сантиметрів;

$k_{02} = 7,3 \text{ кН/м}$ – питомий опір при швидкості руху 5 км/год на глибину 20 сантиметрів;

$v_0 = 5 \text{ км/год};$

$$k_{\text{м1}} = k_0 \cdot \left[1 + \frac{\Pi}{100} \cdot (v_p - v_0) \right], \text{ кН/м,} \quad (2.21)$$

$$k_{M2} = k_{02} \cdot \left[1 + \frac{\Pi}{100} \cdot (v_p - v_0) \right], \text{кН/м}, \quad (2.22)$$

$$k_{M1} = 2,0 \cdot \left[1 + \frac{4}{100} \cdot (6,88 - 5) \right] = 2,15 \text{ кН/м},$$

$$k_{M2} = 7,3 \cdot \left[1 + \frac{4}{100} \cdot (6,88 - 5) \right] = 7,84 \text{ кН/м}.$$

Максимально ширину захвату культиватора для суцільного обробітку ґрунту:

$$B_{max1,2} = \frac{P_{гак}}{k_{M1,2} + g_M + g_{зч} \left(f_{тр} + \frac{i}{100} \right)}, \text{м}. \quad (2.23)$$

де $g_M = 2,3$ кН/м – питома вага сільськогосподарської машини;

$g_{зч} = 0,92$ кН/м – вага зчіпки, що припадає на 1 метр ширини захвату;

$f_{тр} = 0,2$ – коефіцієнт опору коченню

$$B_{max1} = \frac{20,08}{2,15 + 2,3 + 0,92 \left(0,2 + \frac{1}{100} \right)} = 4,32 \text{ м},$$

$$B_{max2} = \frac{40,08}{7,84 + 2,3 + 0,92 \left(0,2 + \frac{1}{100} \right)} = 3,87 \text{ м}$$

На основі проведених розрахунків встановлено, що фактична робоча ширина захвату культиватора при суцільному обробітку є меншою за його номінальну, навіть без урахування переходу на смугову технологію. Це свідчить про можливість ефективного агрегування вдосконаленого культиватора виробництва ЕЛЬВОРТИ «POLARIS 4» із трактором Case IH Маххум 110, який забезпечує необхідний запас потужності для виконання технологічного процесу. Наявний резерв потужності також дозволяє стабільно жити гідропривід насоса системи подачі рідких добрив.

У подальших розрахунках і при розробці операційної карти будемо виходити з того, що площа оброблюваного поля становить 40 гектарів. Поле має

прямокутну форму, довжина гонів дорівнює 1100 метрів. Рух агрегату здійснюватиметься човниковим способом вздовж заїмки із грушоподібними поворотами, що забезпечує раціональне використання робочого часу й мінімальні втрати пального під час холостих проходів.

Кінематична довжина МТА:

$$L_K = L_T + L_{ag}, \text{ м}, \quad (2.24)$$

де L_T – кінематична довжина трактора, м;

L_{ag} – кінематична довжина культиватора, м;

$$L_K = 4,28 + 3,8 = 8,08 \text{ м}.$$

Довжина виїзду для начіпних агрегатів:

$$e = (0,50 \dots 0,70) \cdot L_K, \text{ м}, \quad (2.25)$$

$$e = 0,65 \cdot 8,08 = 5,24 \text{ м}.$$

Основний параметр – ширина поворотної смуги (E_p), м.

Розрахункова ширина поворотної смуги при петльовому повороті:

$$E_p = 3\rho + e, \text{ м}, \quad (2.26)$$

де e – довжина виїзду агрегату, м;

ρ – радіус повороту агрегату, м;

$$E_p = 3,0 \cdot 7,55 + 5,24 = 27,89 \text{ м}$$

Фактичне значення ширини поворотної смуги визначається із умови:

$$E_\phi = n \cdot B_p > E_p, \quad (2.27)$$

де n – коефіцієнт кратності ($n = 1,2,3 \dots$).

$$E_{\phi} = 7 \cdot 3,79 = 26,53 \text{ м} > 27,89 \text{ м.}$$

Середня питома довжина холостого ходу яка припадає на один робочий хід:

$$L_x = 6\rho + 2e, \quad (2.28)$$

$$L_x = 6 \cdot 7,55 + 2 \cdot 5,24 = 55,78 \text{ м.}$$

Розрахунок суцільної культивуації для подальшого висівання озимої пшениці з одночасним внесенням аміачної води на полі 40 гектарів.

Фізичний обсяг робіт Q_{ϕ} :

$$Q_{\phi\Gamma} = k \cdot S, \text{ га}, \quad (2.29)$$

$$Q_{\phi\Gamma} = q \cdot S, \text{ т}, \quad (2.30)$$

де S – площа, га;

k – кратність обробітку ($k = 1,2,3,$)

q – норма висіву (внесення добрив), т/га;

$$Q_{\phi\Gamma} = 1 \cdot 40 = 40 \text{ га};$$

$$Q_{\phi\Gamma} = 0,181 \cdot 40 = 7,24 \text{ т.}$$

Робоча ширина захвату агрегату:

$$B_p = B_k \cdot \beta, \text{ м}, \quad (2.31)$$

де $\beta = 1,0$ – коефіцієнт використання ширини захвату агрегату для суцільної культивуації з врахуванням встановлення системи навігації

$$B_p = 3,78 \cdot 1,0 = 3,78 \text{ м.}$$

Коефіцієнт використання часу зміни:

$$\tau = \frac{T_p}{T_{зм}}, \quad (2.32)$$

де T_p – час основної (чистої) роботи, год:

$$T_p = \tau_{рух} \cdot (T_{зм} - T_{пз} - T_{техн} - T_{ф}), \text{ год}, \quad (2.33)$$

де $\tau_{рух}$ – коефіцієнт використання часу руху агрегату, який враховує затрати часу

на холості повороти і заїзди при роботі в загінках;

$T_{пз}$ – підготовчо-заключний час, год;

$T_{техн}$ – час на технічне і технологічне обслуговування агрегату в загінці, год;

$T_{ф}$ – час на фізіологічні (особисті) потреби і відпочинок механізатора протягом зміни, год.

Під час виконання робіт із застосуванням отрутохімікатів тривалість робочої зміни становить 6 годин, тоді як для інших видів польових операцій — 7 годин. Додаткові часові показники зміни встановлюються з урахуванням специфіки виконуваних робіт та складу машинно-тракторного агрегату. Узагальнені норми цих параметрів визначаються відповідно до типових нормативів, затверджених у кожному окремому господарстві.

$$T_{p1} = 0,93 \cdot (7 - 0,25 - 0,35 - 0,45) = 5,53 \text{ год};$$

$$\tau_1 = \frac{5,53}{7} = 0,79.$$

$$T_{p2} = 0,93 \cdot (7 - 0,25 - 0,75 - 0,45) = 5,16 \text{ год};$$

$$\tau_2 = \frac{5,16}{7} = 0,73.$$

Продуктивність за годину змінного часу визначається рівнянням:

$$W_{год} = 0,1 \cdot B_p \cdot v_p \cdot \tau, \text{ га/год}, \quad (2.34)$$

де τ – коефіцієнт змінності;

$$W_{\text{год1}} = 0,1 \cdot 3,895 \cdot 6,88 \cdot 0,79 = 2,11 \text{ га/год}$$

$$W_{\text{год2}} = 0,1 \cdot 3,79 \cdot 6,88 \cdot 0,73 = 1,9 \text{ га/год}$$

Зміна продуктивність МТА визначається за формулою:

$$W_{\text{зм}} = W_{\text{год}} \cdot T_{\text{зм}}, \text{ га}, \quad (2.35)$$

$$W_{\text{зм1}} = 2,11 \cdot 7 = 14,77 \text{ га};$$

$$W_{\text{зм2}} = 1,9 \cdot 7 = 13,3 \text{ га}.$$

Витрата палива на одиницю роботи приймається з типових норм витрати палива або розраховується за формулою:

$$G = \frac{g_e \cdot N_{eH} \cdot K_3}{W_{\text{год}}}, \text{ кг/га} \quad (2.36)$$

де g_e – питома витрата палива, кг/кВт год;

N_{eH} – номінальна потужність двигуна, кВт;

K_3 – коефіцієнт завантаження двигуна.

Для культивації на глибину 5 сантиметрів $K_{31} = 0,53$. Для культивації з використанням удосконаленого агрегату $K_{32} = 0,45$.

$$G_1 = \frac{0,215 \cdot 82,0 \cdot 0,53}{2,11} = 4,42 \text{ кг/га},$$

$$G_2 = \frac{0,215 \cdot 82,0 \cdot 0,45}{1,9} = 4,17 \text{ кг/га}.$$

З отриманих розрахунків видно, що агрегування обраного культиватора з трактором є технічно обґрунтованим і забезпечує необхідний запас потужності. Цей запас є важливим, оскільки на раму модернізованого культиватора планується встановити систему для внесення рідких добрив разом із ємністю об'ємом 2000 літрів, що збільшує загальну масу агрегату та навантаження на трактор.

2.5 Розрахунок гідросистеми

Крутний момент та кутова швидкість гідромотора визначаються технічним завданням на основі силових і швидкісних характеристик виконавчого органа, який приводиться в рух гідромотором. Вихідними даними для цього розрахунку є принципова схема гідропривода (рис. 2.2), крутний момент на валу гідромотора та його кутова швидкість.

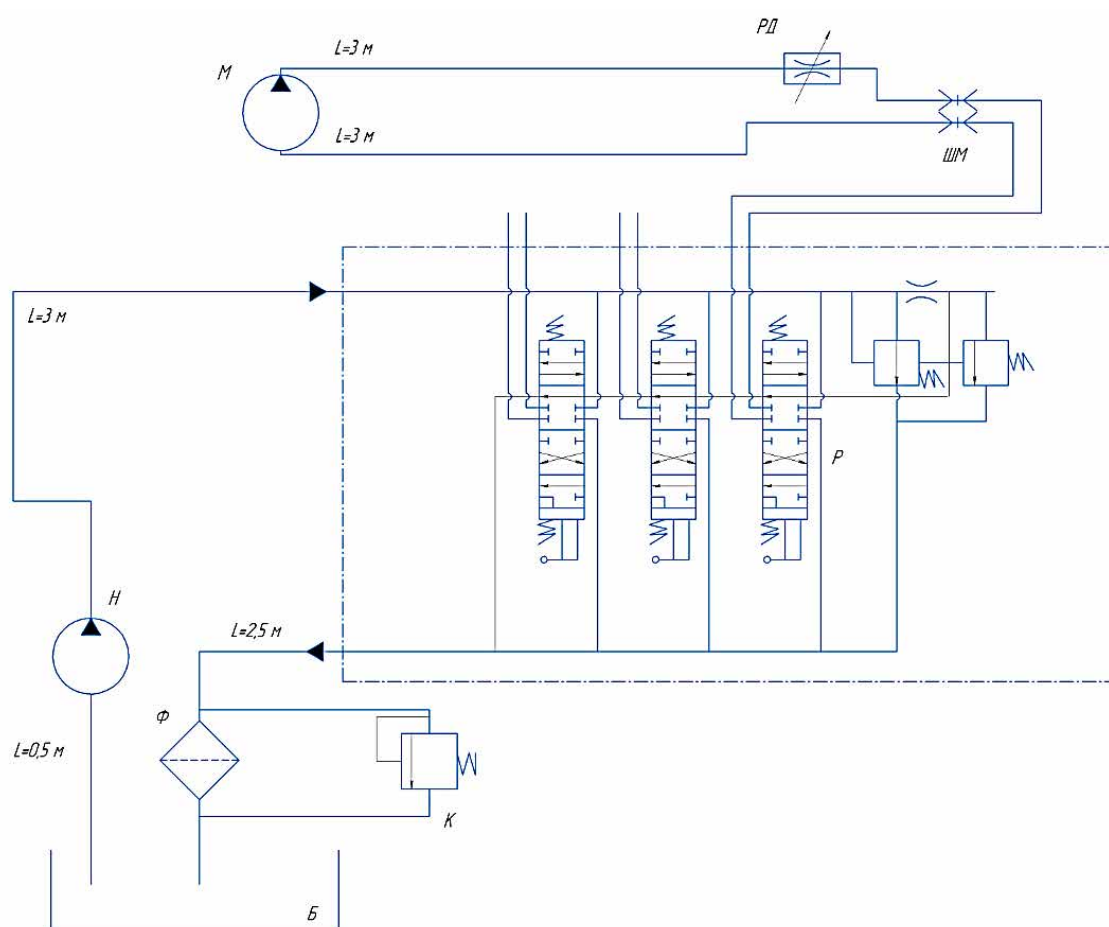


Рис. 2.2. Принципова схема гідропривода

Визначення потужності гідропривода:

$$N_r = M \cdot \omega, \text{ кВт}, \quad (2.37)$$

де M – крутний момент на валу гідромотора, кНм

ω - кутова швидкість вала гідромотора, рад/с;

$$N_r = 41 \cdot 31,5 = 1291,5 \text{ Вт.}$$

При сумісній роботі декількох гідромоторів потужність підраховують по сумі потужностей найбільшої кількості гідромоторів, працюючих одночасно:

$$N_r = N_{ш1} \cdot v_{п1} + F_{ш2} \cdot v_{п2} + \dots + F_{ши} \cdot v_{пи}, \text{ Вт,} \quad (2.37)$$

Потужність гідропривода розрахункова:

$$N_{rp} = K_3 \cdot K_{ш} \cdot N_r, \text{ Вт,} \quad (2.38)$$

де K_3 – коефіцієнт запасу на зусилля;

$K_{ш}$ – коефіцієнт запасу за швидкістю.

Рекомендовані значення: $K_3 = 1,15 \dots 1,25$; $K_{ш} = 1,2 \dots 1,4$.

$$N_{rp} = 1,20 \cdot 1,3 \cdot 1291,5 = 2014,7 \text{ Вт}$$

Відповідно до розрахункової потужності (N_{rp}) вибирають тиск робочої рідини.

Вибір тиску обумовлюється багатьма факторами, такими як призначення гідропривода та технологічні можливості виготовлення гідропрстроїв, і є відповідальним завданням. Наприклад, завищений тиск без спеціальних конструкторсько-технологічних рішень може призвести до виникнення вібрації, виходу з ладу ущільнень і зниження довговічності гідропрстроїв. Занижений тиск, навпаки, спричиняє збільшення габаритних розмірів і маси гідропривода, що впливає на збільшення розмірів і ваги всієї машини.

Максимальний тиск враховує можливість короткочасної зміни навантаження на вихідних ланках гідропривода. У реальних умовах експлуатації він відповідає тиску спрацювання запобіжного клапана, тобто:

$$P_{max} = (1,1 - 1,5) \cdot P_{ном}, \text{ Па,} \quad (2.39)$$

$$P_{max} = 1,23 \cdot 16000000 = 19,68 \text{ МПа.}$$

Необхідна подача насоса для забезпечення заданих вимог:

$$Q' = \frac{N_{rp}}{P_{ном}}, \quad (2.40)$$

$$Q' = \frac{2014,7}{16000000} = 0,000126 \text{ м}^3/\text{с} = 0,126 \text{ л/с} = 7,56 \text{ л/хв.}$$

Гідравлічна система обраного трактора повністю відповідає нашим вимогам. У її складі встановлено аксіально-поршневий насос із подачею 63 л/хв, згідно з технічними даними виробника.

Визначимо внутрішній діаметр трубопроводу :

$$d_{нар} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v_p}}, \quad (2.41)$$

де Q - номінальна подача $\text{м}^3/\text{с}$;

$v_p = 6,0 \text{ м/с}$ - швидкість потоку робочої, оскільки це напірний рукав та тиск більше 15 МПа;

$$d_{нар} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00147}{3,14 \cdot 6,0}} = 0,0176 \text{ м.}$$

Найближчим стандартним розміром є 20 мм. Обираємо стандартний високонапірний рукав типу ВРТ з внутрішнім діаметром 20 мм і зовнішнім 34 мм, який має два шари металевої оплітки. Така конструкція забезпечує стійкість до високого тиску та надійність роботи в умовах механічних впливів, тому вибір саме цього рукава є обґрунтованим.

Перевірочний розрахунок.

Середня швидкість руху рідини:

$$v_p = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_{\text{нар}}^2}, \quad (2.42)$$

$$v_p = \frac{4 \cdot 0,00147}{3,14 \cdot 0,02^2} = 4,68 \text{ м/с, приймаємо } 5 \text{ м/с.}$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{v_p \cdot d_{\text{вн}}}{\nu}, \quad (2.43)$$

де $\nu = 82 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, характеристика робочої рідини М-10В₂;

$$Re = \frac{5 \cdot 0,02}{82 \cdot 10^{-6}} = 1219,5$$

$Re = 1219,5 < Re_{\text{кр}} = 2100$, з цього виходить, що режим руху рідини ламінарний.

Коефіцієнт гідравлічного тертя:

$$\lambda = \frac{75}{Re}, \quad (2.45)$$

$$\lambda = \frac{75}{1219,5} = 0,061.$$

Шляхові втрати тиску на прямолінійних ділянках напірного трубопроводу:

$$\Delta P_{\text{шн}} = \frac{\lambda \cdot L \cdot v_p^2 \cdot \rho}{2d_{\text{вн}}}, \text{ МПа,} \quad (2.46)$$

де L - довжина трубопроводу = 3 м;

$$\Delta P_{\text{шн}} = \frac{0,061 \cdot 3 \cdot 5^2 \cdot 885}{2 \cdot 0,02} = 102051 \text{ Па} = 0,102 \text{ МПа.}$$

Місцеві втрати тиску рідини у напірному трубопроводі:

$$\Delta P_{\text{мн}} = \frac{v_p^2 \cdot \rho \cdot \sum_{\varepsilon}}{2}, \quad (2.47)$$

де \sum_{ε} – сума коефіцієнтів місцевого опору:

$$\sum_{\varepsilon} = 1,4 + 2 \cdot 0,1 = 1,6$$

де А – пряме коліно $E = 1,4 - 1$ шт;

В – штуцер = 0,1 – 2 шт.

$$\Delta P_{\text{мн}} = \frac{5^2 \cdot 885 \cdot 1,6}{2} = 17700 \text{ Па} = 0,0177 \text{ МПа},$$

Втрати тиску рідини у гідроагрегатах напірного трубопроводу:

$$\Delta P_{\text{гн}} = \frac{v_p^2 \cdot \rho \cdot \sum_{\varepsilon\text{г}}}{2}, \quad (2.48)$$

де $\sum_{\varepsilon\text{г}} = 4$ – коефіцієнт опору гідророзподільника

$$\Delta P_{\text{гн}} = \frac{5^2 \cdot 885 \cdot 4}{2} = 44250 \text{ Па} = 0,0442 \text{ МПа}$$

Зливний трубопровід.

Середня швидкість руху рідини:

$$v_p = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_{\text{злив}}^2}, \text{ м/с}, \quad (2.49)$$

$$v_p = \frac{4 \cdot 0,00147}{3,14 \cdot 0,02^2} = 4,68 \text{ м/с, приймаємо } 5 \text{ м/с.}$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{v_p \cdot d_{\text{вн}}}{\nu}, \quad (2.50)$$

$$Re = \frac{5 \cdot 0,02}{82 \cdot 10^{-6}} = 1219,5.$$

$Re = 1219,5 < Re_{кр} = 2100$, отже режим руху рідини ламінарний.

Коефіцієнт гідравлічного тертя:

$$\lambda = \frac{75}{Re}, \quad (2.51)$$

$$\lambda = \frac{75}{1219,5} = 0,061.$$

Шляхові втрати тиску на прямолінійних ділянках зливного трубопроводу:

$$\Delta P_{шз} = \frac{\lambda \cdot L \cdot v_p^2 \cdot \rho}{2d_{вн}}, \text{ МПа}, \quad (2.52)$$

де L - довжина трубопроводу = 3 м;

$$\Delta P_{шз} = \frac{0,061 \cdot 3 \cdot 5^2 \cdot 885}{2 \cdot 0,02} = 102051 \text{ Па} = 0,102 \text{ МПа}.$$

Місцеві втрати тиску рідини в зливному трубопроводі:

$$\Delta P_{мн} = \frac{v_p^2 \cdot \rho \cdot \sum \varepsilon}{2}, \quad (2.53)$$

де $\sum \varepsilon$ – сума коефіцієнтів місцевого опору:

$$\sum \varepsilon = 1,4 + 2 \cdot 0,1 = 1,6$$

де A – пряме коліно $E = 1,4$ – 1 шт;

B – штуцер = 0,1 – 2 шт.

$$\Delta P_{мз} = \frac{5^2 \cdot 885 \cdot 1,6}{2} = 17700 \text{ Па} = 0,0177 \text{ МПа},$$

де $\sum \varepsilon_{г} = 4$ – коефіцієнт опору гідророзподільника;

$$\Delta P_{гз} = \frac{5^2 \cdot 885 \cdot 4}{2} = 44250 \text{ Па} = 0,0442 \text{ МПа}.$$

Сумарні шляхові втрати тиску:

$$\sum \Delta P_y = \Delta P_{шн} + \Delta P_{шз}, \quad (2.54)$$

$$\sum \Delta P_{ш} = 0,102 + 0,102 = 0,204 \text{ МПа.}$$

Сумарні місцеві втрати тиску:

$$\sum \Delta P_M = \Delta P_{MH} + \Delta P_{MЗ}, \quad (2.55)$$

$$\sum \Delta P_M = 0,0177 + 0,0177 = 0,0354 \text{ МПа}$$

Сумарні втрати тиску в гідроагрегатах:

$$\sum \Delta P_r = \Delta P_{rH} + \Delta P_{rЗ}, \quad (2.56)$$

$$\sum \Delta P_r = 0,0442 + 0,0442 = 0,0884 \text{ МПа}$$

Загальна величина втрат тиску в гідроприводі:

$$\Delta P = \sum \Delta P_{ш} + \sum \Delta P_M + \sum \Delta P_r, \quad (2.57)$$

$$\Delta P = 0,204 + 0,0354 + 0,0884 = 0,3278 \text{ МПа}$$

З розрахунків видно, що ΔP значно менше розрахункової величини втрат, і не перевищує 10%.

Розрахунок ККД гідропривода.

Об'ємний ККД:

$$\eta_v = \eta_{vH} \cdot \eta_{vP} \cdot \eta_{vЦ}, \quad (2.58)$$

де $\eta_{vH}, \eta_{vP}, \eta_{vЦ}$ - відповідно об'ємний ККД: насоса, розподільника, гідромотора.

$$\eta_v = 0,84 \cdot 0,98 \cdot 0,99 = 0,815.$$

Гідравлічний ККД:

$$\eta_r = \frac{P_{\text{НОМ}} - \Delta P}{P_{\text{НОМ}}}, \quad (2.59)$$

$$\eta_r = \frac{16 - 0,3278}{16} = 0,979.$$

Механічний ККД:

$$\eta_m = \eta_{\text{МН}} \cdot \eta_{\text{МР}} \cdot \eta_{\text{МЦ}}, \quad (2.60)$$

де $\eta_{\text{МН}}$, $\eta_{\text{МР}}$, $\eta_{\text{МЦ}}$ – відповідно механічні ККД: насоса, розподільника, гідроциліндра (вибирають із технічних характеристик; приймають $\eta_{\text{МЦ}}=1$)

$$\eta_m = 0,95 \cdot 0,95 \cdot 1 = 0,902.$$

Повний ККД:

$$\eta_{\Pi} = \eta_v \cdot \eta_r \cdot \eta_m, \quad (2.61)$$

$$\eta_{\Pi} = 0,815 \cdot 0,989 \cdot 0,902 = 0,727$$

Гідропривід спроектований оптимально ($\eta_{\text{ПОВ}} = 0,6 - 0,8$).

Уточнений розрахунок гідроциліндра:

$$q_m = \frac{M}{0,159 \cdot 10^{-3} (P_{\text{НОМ}} - \sum P) \cdot n_m}, \text{ см}^3, \quad (2.62)$$

$$q_m = \frac{0,041}{0,159 \cdot 10^{-3} (16000 - 3278) \cdot 0,902} = 18,3 \text{ см}^3,$$

$$Q_H < Q; 18,3 \text{ см}^3 < 50 \text{ см}^3$$

Умова виконується.

Перевірка потужності гідроприводу:

$$N_k = 10^3 \cdot Q_H \cdot P, \text{ кВт}, \quad (2.63)$$

$$N_k = 10^3 \cdot 0,092 \cdot 10^{-3} \cdot 16 = 1,48 \text{ кВт},$$

$$N_n = \frac{N_k}{\eta_r}, \text{ кВт}, \quad (2.64)$$

$$N_n = \frac{1,48}{0,979} = 1,51 \text{ кВт}.$$

$$N_k < N_{rp}; 1,51 \text{ кВт} < 2,014 \text{ кВт}.$$

Умова виконується.

2.6 Технологічний розрахунок.

Згідно з розрахунками гідропривода, можна застосувати готовий серійний варіант гідромотора та відцентрового насоса, доступний на ринку, який здатний забезпечити виконання заданих параметрів. Так, корпорація Асе розробила модель FMC-HYD-206 (рис. 2.2), яку використовують у своїй техніці й інші виробники, зокрема вітчизняне ПрАТ «Богуславська сільгосптехніка».

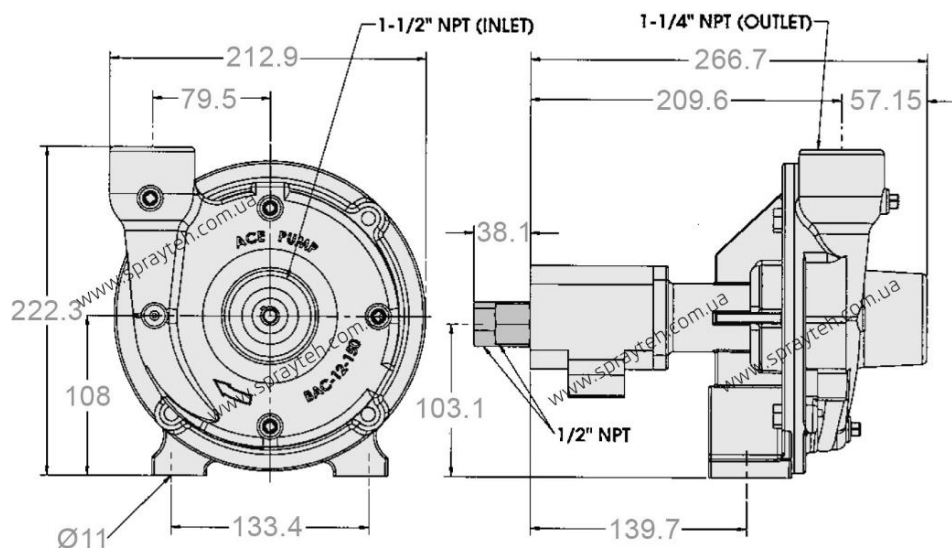


Рис. 2.2. Гідромотор і відцентровий насос FMC-HYD-206.

Конструкція відцентрових насосів забезпечує високу стійкість до абразивних розчинів і дозволяє уникнути додаткових витрат на перемішування. Для досягнення високої корозійної стійкості вал і компенсатор зносу у всіх насосах з гідроприводом виготовлені з нержавіючої сталі.

Насоси з приводом від гідравлічного двигуна мають ряд переваг. Вони можуть монтуватися у різних точках, оскільки не залежать від валу відбору потужності або приводу двигуна. Продуктивність насоса визначається подачею гідравлічної рідини в двигун і не залежить від частоти обертання двигуна трактора. Такі насоси здатні створювати більш високий тиск порівняно з насосами, що приводяться у рух від ВВП або ремінних приводів, та підтримують стабільний тиск навіть при зміні частоти обертання двигуна у гідравлічних системах із закритим центром (рис. 2.3).

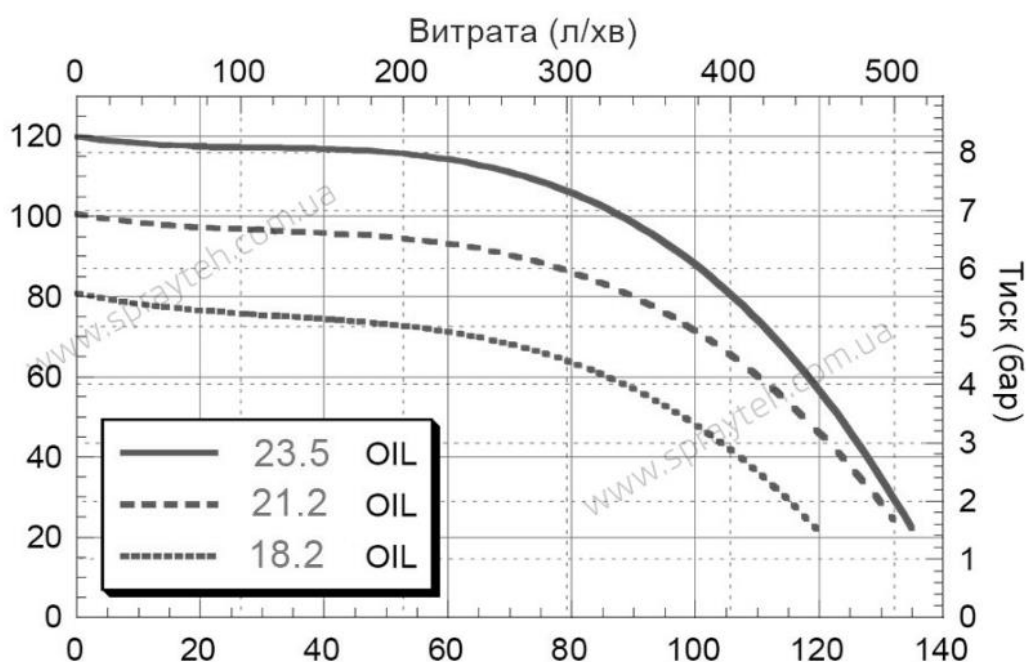


Рис. 2.3. Витрата робочої рідини залежно від тиску

Обслуговування насосів спрощене завдяки відсутності ременів, які потребують регулювання або можуть порватися. Роздільне розташування валів насоса та гідравлічного двигуна полегшує ремонт і заміну, при цьому

навантаження вала сприймають корінні підшипники насоса. Усі насоси оснащені легко замінними механічними ущільненнями Viton.

Шестеренний гідравлічний двигун Асе відрізняється вищою ефективністю порівняно з роторним і менш чутливий до забруднень. Вбудований голчастий клапан забезпечує перепуск надлишкової робочої рідини в системах з відкритим центром. У стандартній комплектації двигун оснащений реверсивним зворотним клапаном, що запобігає зворотній роботі, та гальмівним клапаном, який захищає ущільнення від ефекту махового колеса.

На рамі культиватора розміщена ємність для рідких добрив об'ємом 2000 літрів, що забезпечує роботу агрегату на площі до 10 гектарів без дозаправки. Норму внесення робочої рідини можна регулювати дроселем на напірній лінії гідромотора, змінюючи потік оливи відповідно до потреб. Робочий тиск у системі виливу згідно з показниками

Площа обробітку враховуючи витрату робочої рідини:

$$S = \frac{V}{q}, \text{ га}, \quad (2.65)$$

де V – об'єм ємності для рідких добрив;

q – витрата робочої рідини, л/га.

$$S = \frac{2000}{185} = 10,81 \text{ га}$$

З урахуванням довжини гонів ($L = 1100$ метрів), ширини поворотної смуги ($E_{\phi} = 26,53$ метрів) та робочої ширини захвату агрегату ($B_p = 3,79$ метрів), розрахуємо площу, яку зробить агрегат за один прохід:

$$S_{\Pi} = (L - 2 \cdot E_{\phi}) \cdot B_p, \text{ га}, \quad (2.66)$$

$$S_{\Pi} = (1100 - 2 \cdot 26,53) \cdot 3,79 = 0,3967 \text{ га}.$$

Залишок робочої рідини з технічних міркувань не повинен бути менше 100 літрів, оскільки робота відцентрового насоса без робочої рідини може привезти до виходу його з ладу. Знайдемо площу, що може виконати агрегат на одній заправці:

$$S = \frac{V - V_3}{q}, \text{ га}, \quad (2.67)$$

$$S = \frac{2000 - 100}{185} = 10,27 \text{ га.}$$

Кількість проходів, повинне бути парне число, оскільки заправка буде відбуватися з однієї сторони поля, але площа не має перевищувати 10 га:

$$n = \frac{S}{(L - 2 \cdot E_{\phi}) \cdot B_p}, \quad (2.68)$$

$$n = \frac{10,27}{(1100 - 2 \cdot 26,53) \cdot 3,79} = 25,8$$

Кількість проходів повинна бути рівна 24, щоб місця заправки відбувалися з однієї сторони поля, а робоча рідина не закінчувалася.

Отже, у цьому розділі було здійснено вдосконалення вітчизняного культиватора для суцільного обробітку ґрунту ЕЛЬВОПТИ «POLARIS 4». Попри модернізацію, додаткових витрат на паливно-мастильні матеріали не передбачається, оскільки обробіток буде виконуватися смугами, а попередні розрахунки навіть показали економію палива.

Для модернізації культиватора застосовано гідромотор і відцентровий насос у складі (ФМС-НУД-206), а також ємність ТОВ «Хімбудпластмас» G-2002 об'ємом 2000 літрів. Рама для кріплення ємності на культиваторі буде виготовлена самостійно з урахуванням вимог міцності. Тяговий розрахунок показує, що трактор Case IH Маххит 110 добре агрегується з обраним для модернізації культиватором.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Теоретичні передумови та наукове обґрунтування напрямку досліджень

Сучасні тенденції розвитку агротехнологій свідчать про необхідність підвищення ефективності використання ресурсів, зменшення енергозатрат і втрат вологи під час обробітку ґрунту. У зв'язку з цим усе більшої уваги набувають системи, які поєднують декілька технологічних операцій в одному агрегаті, що дозволяє одночасно виконувати розпушення, вирівнювання та внесення добрив.

Наукові дослідження доводять, що саме локалізоване внесення добрив сприяє більш повному засвоєнню поживних речовин, оскільки вони розміщуються безпосередньо в зоні розвитку кореневої системи. Ефективність такої технології підвищується при застосуванні рідких комплексних добрив, які забезпечують точність дозування, рівномірність розподілу та можливість розділення подачі по глибині.

Застосування рідких добрив особливо доцільне в умовах посушливих регіонів, де важливо мінімізувати втрати вологи та забезпечити рослину живленням у критичні фази росту. Поєднання технології смугового обробітку з внесенням добрив у два горизонти створює передумови для оптимального живлення культури протягом усього періоду вегетації.

Наукові основи такого підходу базуються на принципах раціонального розподілу поживних елементів у профілі ґрунту, збереження енергетичного потенціалу ґрунтової вологи та мінімізації механічного впливу на структуру орного шару.

Проведений теоретичний аналіз і огляд технологічних рішень дозволяють сформулювати напрямок дослідження, спрямований на вдосконалення конструкції агрегата, який забезпечує смуговий обробіток ґрунту з одночасним

двошаровим внесенням рідких добрив. Це створює підґрунтя для подальшої експериментальної частини, де буде досліджено вплив параметрів системи внесення на якість обробітку, рівномірність подачі добрив та розвиток рослин.

3.2. Обґрунтування технологічної схеми агрегату для внесення рідких добрив

Для реалізації технології смугового внесення рідких добрив розроблено конструкцію ґрунтообробного агрегату, який поєднує операції розпушення ґрунту, формування посівного ложа та одночасного внесення добрив у два шари. Такий підхід забезпечує оптимальні умови для розвитку кореневої системи рослин та ефективного використання поживних речовин.

Основним робочим органом агрегату (рис. 3.1) є стрілчаста лапа шириною 19 см, що розпушує верхній шар ґрунту на глибину 5 см і створює оброблену смугу, у межах якої надалі відбувається сівба.

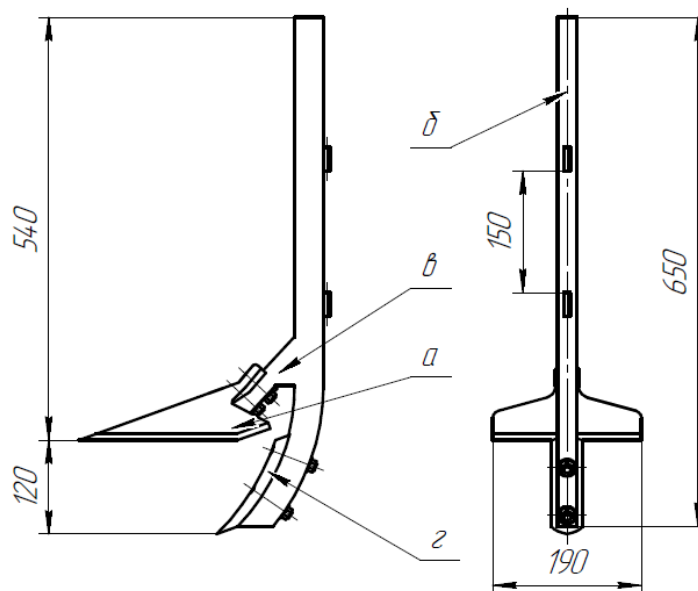


Рис. 3.1. Робочий орган удосконаленого агрегату: а – стрілчаста лапа; б – подовжена стійка; в – кріплення стрілчастої лапи; г – зносостійка накладка.

Стійка S-подібної форми буде замінена на долото, яке буде кріпитися до рами

культиватора за допомогою кріплення. На долото буде прикріплена змінна накладка, яка буде різати ґрунт невеликою смужкою, шириною 4 см, вище цієї накладки на долоті буде наварене посадкове місце для кріплення стрілкової лапи. Позаду до вдосконаленого долота буде кріпитися трубка з нержавіючої сталі, яка має 2 отвори різного діаметру.

Добрива подаються через систему шлангів і трубопроводів, що з'єднані з розподільним колектором і дозаторами. Розділення подачі по глибині дозволяє розміщувати поживні речовини у двох зонах:

- верхня зона (5 см) – для початкового живлення сходів;
- нижня зона (15 см) – для подальшого розвитку кореневої системи.

Робоча швидкість агрегату становить 8 км/год, що забезпечує стабільність подачі рідини та необхідну якість обробітку.

Агрегат працює у складі з трактором CASE Маххум 110, потужністю 82 кВт, який забезпечує необхідну тягу для роботи з навісною системою.

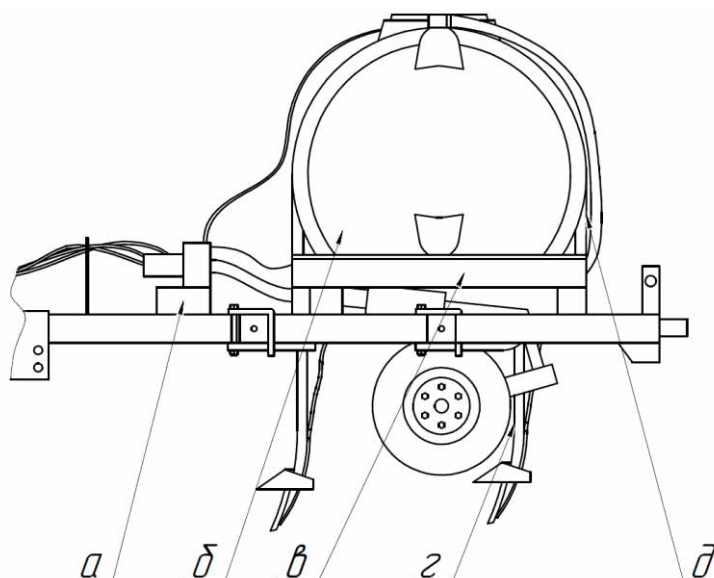


Рис. 3.3. Технологічна схема агрегата для смугового внесення рідких добрив: а – рама встановлення відцентрового насоса; б – ємність; в – кріплення ємності; г – вдосконалена долотоподібна стійка; д – кріплення ємності.

Розміщення робочих органів вибрано з урахуванням ширини обробленої

смуги та міжряддя культури, що висівається. Ширина обробленої смуги становить 19 см, що забезпечує формування рівного посівного ложа для двох рядків озимої пшениці. Відстань між лапами – 45 см, таким чином утворюються чергуючі оброблені та необроблені смуги ґрунту.

Після проходу агрегата виконується сівба сівалкою, у якої сошники розміщені через 15 см. Кількість робочих органів - 26. Посів проводиться за схемою:

- два сошники висівають у межах однієї обробленої смуги;
- один сошник пропускається (необроблена смуга);
- знову два сошники у наступній смузі.

Таким чином забезпечується точне потрапляння рядків пшениці в розпушену частину ґрунту, а необроблена смуга шириною 26 см зберігає вологу та структуру орного шару, зменшуючи ерозійні процеси.

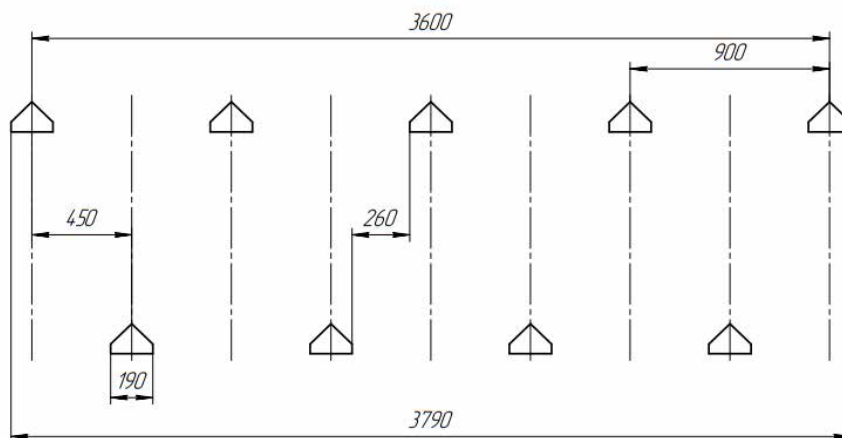


Рис. 3.2. Схема розміщення робочих органів ґрунтообробного агрегата

Такий розподіл дозволяє оптимально поєднати енергетичну ефективність агрегата та якість підготовки посівного ложа. Крім того, диференційоване внесення добрив за глибиною сприяє рівномірному живленню рослин протягом усього періоду вегетації та підвищенню ефективності використання поживних речовин.

3.3. Об'єкт, предмет, мета і завдання досліджень

Об'єкт дослідження – процес смугового обробітку ґрунту з одночасним внесенням рідких комплексних добрив при вирощуванні озимої пшениці. Об'єкт визначає загальну систему, у межах якої відбувається дослідження, і охоплює технологічні, технічні та агротехнічні аспекти взаємодії робочих органів ґрунтообробного агрегата із ґрунтовим середовищем.

Предмет дослідження – вплив конструктивних і технологічних параметрів системи внесення рідких добрив у складі ґрунтообробного агрегата на рівномірність розподілу добрив у ґрунті, якість обробітку та подальший розвиток рослин озимої пшениці.

Предмет конкретизує, що саме в межах загального процесу є об'єктом спостереження, вимірювання і аналізу.

Метою досліджень є підвищення ефективності використання рідких добрив та покращення умов росту озимої пшениці шляхом обґрунтування параметрів і технологічної схеми агрегата для смугового обробітку ґрунту з двошаровим внесенням рідких добрив.

Досягнення поставленої мети можливе завдяки вдосконаленню конструкції агрегата та оптимізації параметрів його роботи — швидкості руху, тиску подачі, глибини внесення та відстані між робочими органами.

Запропонований напрям досліджень базується на поєднанні двох підходів:

- агротехнічного – забезпечення цілеспрямованого живлення рослин на різних глибинах профілю ґрунту;
- інженерного – створення технологічної схеми, що дозволяє рівномірно подавати рідке добриво одночасно у два горизонти під час смугового розпушення.

Особливістю є використання стрілчастих лап шириною 19 см із долотоподібним подовженням, яке забезпечує диференційоване внесення добрив на глибини 5 см та 15 см. Це дозволяє поєднати початкове живлення рослини і глибинне живлення в період формування продуктивних стебел.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні завдання:

1. Провести аналіз сучасних технологій обробки ґрунту та способів внесення рідких добрив із метою вибору найбільш ефективної системи для умов вирощування озимої пшениці.

2. Розробити технологічну схему агрегата, який поєднує операції розпушення та внесення добрив у два шари ґрунту, забезпечуючи точність і стабільність подачі.

3. Визначити вплив конструктивних параметрів системи подачі (тип дозатора, діаметр шлангів, тиск у системі) на рівномірність подачі добрив і стабільність потоку.

4. Встановити залежність рівномірності розподілу добрив від швидкості руху агрегата та визначити оптимальні режими його роботи.

5. Оцінити агротехнічну ефективність запропонованої системи, визначивши вплив двошарового внесення добрив на розвиток кореневої системи, густоту стояння та врожайність озимої пшениці.

6. Розробити рекомендації щодо практичного використання агрегата у фермерських господарствах з урахуванням економічної доцільності та доступності комплектуючих елементів.

Отримані результати можуть бути використані при створенні або модернізації ґрунтообробних агрегатів, призначених для локалізованого внесення рідких добрив. Використання запропонованої технологічної схеми дозволить не лише підвищити ефективність живлення рослин, а й знизити витрати пального, скоротити кількість проходів техніки по полю, а отже — зменшити ущільнення ґрунту.

Особливої актуальності така технологія набуває в умовах малих і середніх господарств, де немає можливості придбати дорогі імпортні агрегати типу Mzuri Pro-Til. Розроблений агрегат може бути реалізований на базі доступних вузлів і навісних систем, що робить його перспективним рішенням для впровадження у вітчизняне виробництво.

3.4. Методика проведення досліджень

Методика проведення досліджень передбачає комплексне вивчення впливу конструктивних і технологічних параметрів агрегата на якість смугового обробітку ґрунту та рівномірність внесення рідких добрив.

Дослідження виконувались у два етапи: лабораторний та польовий.

На лабораторному етапі перевірялась робота системи подачі рідких добрив, її стабільність та рівномірність розподілу.

Основними показниками були:

- стабільність тиску в магістралі;
- рівномірність подачі по робочих органах;
- вплив в'язкості рідини на витрату;
- норма подачі на кожен робочий орган.

Якщо ж встановити норму 185 л/га, то подача системи має бути скоригована до $Q \approx 8,59$ л/хв.

У розробленому агрегаті кожен із 9 робочих органів оснащено двома соплами:

- верхнє подає добриво на глибину 5 см,
- нижнє – на 15 см.

Загальна норма внесення становить 190 л/га.

Подача на один робочий орган:

$$Q_1 = \frac{N}{n}, \quad (3.6)$$

$$Q_1 = \frac{185}{9} = 20,55 \text{ л/га.}$$

Потік розподіляється між двома соплами:

- верхнє сопло (5 см) — 40 % подачі, тобто 8,22 л/га;
- нижнє сопло (20 см) — 60 %, тобто 12,33 л/га.

Після визначення діаметрів сопел необхідний тиск у системі можна

обчислити за рівнянням витрати через отвір:

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2gh}, \quad (3.7)$$

де C_d – коефіцієнт витрати (0,95–0,98),

A – площа отвору сопла, м²,

g – прискорення вільного падіння, 9,81 м/с²,

h – еквівалентна висота стовпа рідини, м.

$$Q = 0,95 \cdot (7,07 \cdot 10^{-6} - 1,256 \cdot 10^{-5}) \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,3} = 1,02 \text{ бар}$$

Для визначення рівномірності подачі використовувався коефіцієнт варіації (V):

$$V = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\text{avg}}} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

де Q_{\max} – максимальна подача добрива, л/хв;

Q_{\min} – мінімальна подача, л/хв;

Q_{avg} – середня подача, л/хв.

Допустимим вважається $V \leq 10\%$, що гарантує достатню рівномірність подачі по лапах.

Вимірювання подачі здійснювалось за допомогою мірних ємностей і секундоміра, а тиск у системі контролювався манометром з точністю 0,05 МПа.

Згідно розрахункам проведеними відповідно до ширини захвату та швидкості руху, було встановлено, що один робочий орган за гектар має виливати близько 20,55 літрів. У верхній шар 8,22 л/га, а нижній 12,33 л/га. Якщо поррахувати літраж відповідно часу, то це 0,382 л/хв та 0,573 л/хв відповідно. З трьох замірів виливу робочої рідини з нижнього отвору максимальною була подача 0,581 л/хв, а мінімальна 0,532 л/хв. Для верхнього отвору максимальною була подача 0,395 л/хв, а мінімальна – 0,366 л/хв.

$$V_1 = \frac{0,581 - 0,532}{0,5565} \cdot 100\% = 8,8\%$$

Обчислення проведемо і для розуміння точності виливу робочої рідини і у верхній шар:

$$V_1 = \frac{0,581 - 0,532}{0,5565} \cdot 100\% = 8,8\%$$

$$V_2 = \frac{0,395 - 0,366}{0,5565} \cdot 100\% = 7,6\%$$

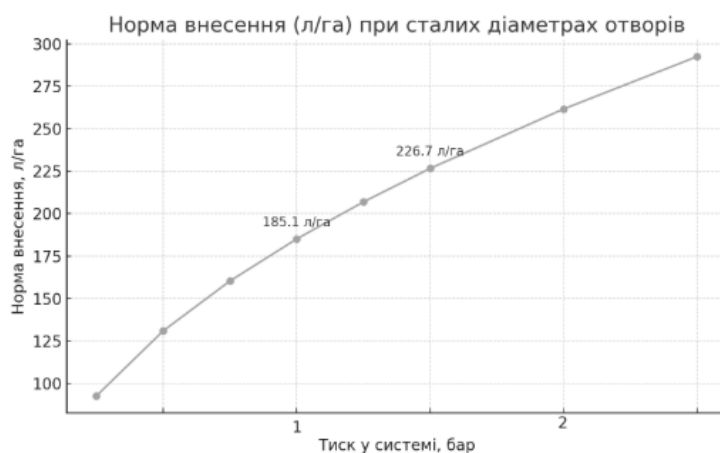


Рис. 3.4. Залежність норми внесення від тиску в системі

Фактична витрата рідини визначалася за формулою:

$$Q = \frac{V_t}{t}, \quad (3.2)$$

де Q – подача добрива, л/с;

V_t – об'єм рідини, л;

t – час, с.

$$Q = \frac{20,55}{60} = 0,34 \text{ л/с}$$

Польові дослідження проводились на чорноземах середньосуглинкових у степовій зоні Кіровоградської області. Перед початком дослідів визначали

вологість, твердість і щільність ґрунту. Робоча швидкість агрегату становила 8 км/год, глибина обробітку верхнього шару – 5 см, нижнього – 20 см.

Ефективність використання рідких добрив у даному дослідженні оцінювалася аналітично, на основі порівняння умов живлення рослин при різних схемах внесення. Для узагальненої оцінки прийнято коефіцієнт використання поживних речовин, який характеризує частку добрив, реально доступну для засвоєння.

Згідно з науковими даними, при двошаровому внесенні рідких комплексних добрив коефіцієнт використання азоту та фосфору підвищується на 15–20 % у порівнянні з однорівневим способом.

Це зумовлено оптимальним розташуванням добрив у зоні кореневої системи, зменшенням втрат через випаровування та вимивання, а також поступовим надходженням поживних речовин протягом вегетації.

Таким чином, підвищення коефіцієнта використання добрив розглядається як теоретичний показник ефективності розробленої системи подачі, що обґрунтовує доцільність двошарового внесення без необхідності проведення прямих лабораторних вимірювань.

Отримані результати узагальнювались побудовою графіків залежності подачі від тиску, стабільності від швидкості руху та ефективності живлення від глибини внесення.

Таким чином, методика забезпечує комплексне оцінювання роботи системи подачі рідких добрив, дозволяє визначити оптимальні параметри тиску, швидкості та глибини внесення, а також обґрунтувати ефективність двошарової подачі через два сопла, що забезпечує раціональне живлення озимої пшениці.

3.5. Умови проведення досліджень

Дослідження проводились у виробничих умовах типового господарства степової зони Кіровоградської області, що характеризується посушливим кліматом із нестійким зволоженням та переважанням чорноземів

середньосуглинкових.

Середня кількість опадів за вегетаційний період становить 240–280 мм, а середньодобова температура повітря в період активного росту озимої пшениці — 18–22 °С.

Ґрунти дослідної ділянки мали такі агрофізичні показники:

- вологість орного шару перед обробітком — 13–15 %;
- щільність ґрунту на глибині 0–20 см — 1,25–1,35 г/см³;
- твердість ґрунту — 2,5–3,2 МПа.

Попередником озимої пшениці був соняшник, що є типовим для регіону і створює складні умови для формування посівного ложа через ущільнення верхнього шару. Тому саме вибір смугової технології обробітку ґрунту обґрунтований необхідністю зменшення енерговитрат і збереження вологи, що має ключове значення в умовах недостатнього зволоження.

Енергетичним засобом у дослідіх використовувався трактор CASE IH Маххит 110, який агрегувався з розробленим ґрунтообробним агрегатом для смугового внесення рідких добрив.

Подача добрив здійснювалась із використанням насосної системи відцентрового типу з регулятором тиску, який забезпечував стабільність виливу робочої рідини 185 л/га

Кожен робочий орган агрегату обладнано двома соплами, що забезпечують подачу рідких добрив на двох рівнях:

- верхнє сопло (глибина 5 см) — для створення стартового поживного середовища,
- нижнє сопло (глибина 15 см) — для тривалої дії та стимулювання розвитку кореневої системи.

Внесення добрив і обробіток ґрунту здійснювались за допомогою навігаційної системи з RTK-сигналом, що забезпечувала точність руху ± 2 см і відповідність між смугами обробітку та подальшою сівбою озимої пшениці.

Для оцінки рівномірності внесення добрив проводились контрольні заміри витрати робочої рідини кожним робочим органом та візуальне спостереження за

глибиною прокладання смуг.

Також виконувалась оцінка стану посівного ложа після проходу агрегата та характеристика мікрорельєфу поверхні.

3.6. Результати досліджень та практична цінність

Впровадження технології смугового обробітку ґрунту з одночасним двошаровим внесенням рідких добрив забезпечить низку суттєвих переваг у порівнянні з традиційними системами основного обробітку.

Основні результати:

1. Підвищення рівномірності розподілу рідких добрив у ґрунтового середовищі завдяки точній роботі системи подачі та двошаровому розміщенню поживних речовин.

2. Зменшення втрат поживних речовин унаслідок випаровування та вимивання, що підвищить коефіцієнт використання рідких добрив рослинами на 15–20 %.

3. Покращення структури ґрунту за рахунок смугового розпушування, що сприятиме збереженню вологи та зменшенню ерозійних процесів.

4. Глибоке розпушування ґрунту при двошаровому внесенні рідких добрив забезпечує накопичення вологи в нижніх шарах ґрунту, що сприяє кращому розвитку рослин у засушливих умовах засухи.

5. Оптимізація енергетичних витрат — зниження витрат палива на 25–30 % порівняно з традиційними методами оранки.

6. Забезпечення точного поєднання смуг обробітку і сівби, що позитивно вплине на рівномірність розміщення насіння та сходів озимої пшениці.

Практична цінність розробленої технологічної схеми полягає в тому, що вона може бути реалізована на існуючих агрегатах господарств малого та середнього типу без потреби у придбанні дорогого імпортного обладнання типу MZURI Pro-Til.

Використання базових вітчизняних культиваторів і навісного обладнання дозволяє адаптувати систему до умов будь-якого господарства, що значно знижує вартість технології.

Крім того, очікується:

- зростання врожайності озимої пшениці на 10–15 % за рахунок оптимізації живлення в критичні фази розвитку рослин та накопиченню і збереженню вологи в нижніх шарах ґрунту;
- підвищення ефективності використання добрив, що зменшує їх норму при збереженні або навіть збільшенні врожайності;
- зменшення техногенного навантаження на ґрунт і довкілля через відмову від суцільного обробітку та глибокої оранки.

Таким чином, очікувані результати дослідження мають не лише теоретичне, а й прикладне значення — вони спрямовані на створення енергоощадної, екологічно безпечної та економічно доступної технології вирощування озимої пшениці для фермерських господарств.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ВНЕСЕННЯ РІДКИХ ДОБРИВ

4.1 Розрахунок показників для оцінки економічної ефективності

Зростання врожайності сільськогосподарських культур за умов мінімальних витрат ресурсів і праці під час виконання технологічних процесів є основним критерієм економічної ефективності виробництва.

Суміщення операції смугового обробітку ґрунту, зокрема передпосівної культивуації, з одночасним внесенням рідких комплексних добрив сприяє підвищенню врожайності культур на 6-17%, залежно від норми внесення. Така технологія забезпечує локальне внесення поживних речовин у глибші шари ґрунту, безпосередньо в зону розміщення кореневої системи, що покращує їх засвоєння рослинами. При цьому обробляється лише частина поверхні поля, що знижує енергетичні та трудові витрати порівняно із суцільним обробітком. Азот рівномірно розподіляється в зоні дії робочих органів і менше втрачається у процесі випаровування або фіксації, що забезпечує більш ефективне живлення рослин і підвищення продуктивності посівів.

За базову машину при розрахунках економічної ефективності приймаємо культиватор для суцільного обробітку ЕЛЬВОПТИ «POLARIS 4».

Зводимо розрахунки в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1

Вихідні дані для економічного розрахунку

Показники	Одиниці вимінювання	POLARIS 4	Удосконалений POLARIS 4
Маса	кг	1490	2120
Ширина захвату	м	3,895	3,79

Робоча швидкість	км/год	до 12	до 9
Трактор з яким агрегатується	-	Case IH Маххум 110	Case IH Маххум 110

Зменшений коефіцієнт змінності пояснюється необхідністю заправки вдосконаленого агрегату робочою рідиною, однак тривалість цієї операції зведена до мінімуму. Підвищення продуктивності могло б бути досягнуте за рахунок збільшення робочої швидкості, проте цього не здійснювали з огляду на технологічні обмеження.

Енергоємність операції знайдемо за формулою:

$$F = \frac{N}{W}, \text{ кВт} \cdot \text{год/га}, \quad (4.2)$$

де N – потужність двигуна трактора, кВт.

$$F_1 = \frac{82,0}{2,11} = 38,86 \text{ кВт} \cdot \text{год/га};$$

$$F_2 = \frac{82,0}{1,9} = 43,15 \text{ кВт} \cdot \text{год/га}.$$

За наступною формулою визначаємо матеріалоємність операції:

$$M = \frac{M_M}{W}, \text{ кг} \cdot \text{год/га}, \quad (4.3)$$

де M – маса машини, кг;

$$M_1 = \frac{1490}{2,11} = 706,16 \text{ кг} \cdot \text{год/га};$$

$$M_2 = \frac{2120}{1,9} = 1115,78 \text{ кг} \cdot \text{год/га}.$$

Затрати праці на суцільній культивуації:

$$H = \frac{K}{W}, \text{ люд. год/га,} \quad (4.4)$$

де K – кількість обслуговуючого персоналу;

$$H_1 = \frac{1}{2,11} = 0,474 \text{ люд. год/га;}$$

$$H_2 = \frac{1}{1,9} = 0,526 \text{ люд. год/га.}$$

Затрати праці при роботі культиватора

$$H_3 = H_2 - H_1, \text{ люд. год/га,} \quad (4.5)$$

$$H_3 = 0,526 - 0,474 = 0,052 \text{ люд. год/га,}$$

Спостерігаємо невелике зростання затрат праці.

При проведенні обробітку ґрунту прямі експлуатаційні затрати:

$$C = C_0 + C_a + C_p + C_{\text{ПММ}}, \text{ грн./га,} \quad (4.6)$$

де C_0 – оплата праці з усіма нарахуваннями, грн./га;

C_a – відрахування на амортизацію, грн./га;

C_p – затрати на ТО і ремонт, грн./га;

$C_{\text{ПММ}}$ – витрати на паливно-мастильні матеріали, грн./га.

Механізатору, що працює на агрегаті оплата праці нараховується по тарифній сітці за один гектар:

$$C_{01} = \frac{C_T}{W_{\text{ЗМ}}}, \text{ грн./га,} \quad (4.7)$$

де C_T – оплата за тарифною сіткою;

$W_{\text{ЗМ}}$ – продуктивність агрегату за зміну.

Оплата праці механізатора, який працює як на базовому, так і на вдосконаленому агрегаті, з урахуванням підвищення мінімальної заробітної плати до 10000 грн, становить 434,7 грн за зміну. У розрахунку на 1 га обробленої площі ця сума пропорційно зменшується залежно від продуктивності агрегату.

$$C_{o1} = \frac{434,7}{14,77} = 29,43 \text{ грн./га};$$

$$C_{o2} = \frac{434,7}{13,3} = 32,68 \text{ грн./га}.$$

Також можуть проводитися додаткові доплати за інтенсивність роботи та роботу зі шкідливими речовинами у розмірі 20% та 40% відповідно. Оплата праці з нарахуваннями:

$$C_{o1}^H = 29,43 + 5,88 = 35,31 \text{ грн./га};$$

$$C_{o2}^H = 32,68 + 6,53 + 13,07 = 52,28 \text{ грн./га}.$$

До зазначеної суми може нараховуватися 20% надбавки механізатору за класність та 50% відрахувань на соціальне страхування, у результаті чого загальна вартість оплати праці становитиме:

$$C_{o1}^H = 35,31 + 7,06 + 17,65 = 60,02 \text{ грн./га};$$

$$C_{o2}^H = 52,28 + 10,45 + 26,14 = 88,87 \text{ грн./га}.$$

Річні амортизаційні відрахування на знаряддя:

$$C_a = \frac{S \cdot \alpha}{100 \cdot D \cdot K \cdot W_{зм}}, \text{ грн./га}, \quad (4.8)$$

де S – ціна машини, грн.;

D – кількість днів за рік;

K – коефіцієнт змінності.

У таблиці 4.2 будуть наведені актуальні ціни на складові, які були встановлені на вдосконалений агрегат.

Вартість переобладнання

Встановлені складові	Ціна, грн.
Гідромотор (FMC-HYD-206)	38800
Ємність від «Хімбудпластмас» G-2002 (2000 л)	15400
Рукава гідравлічні	3200
Металопрокат та зварення рамки для ємності	9100
Стяжні троси для закріплення ємності	1200
Елементи кріплення (болти, шайби та ін.)	2100
Контролер програмований BRAVO-180 (G+P)	56400
Кабель з'єднувальний Arag Bravo-180s	11800
Витратомір лопатевий WOLF	10200
Трубки та їх встановлення на робочі органи	1900
Розподільний колектор, рукава, крани	5000
Роботи з переобладнання (допомога майстра)	11500
Система автоматичного водіння (автопілот) HEXAGON на трактори CASE	400000
Всього	566600

Такі додаткові елементи, як програмований контролер BRAVO-180 (G+P), з'єднувальний кабель Arag Bravo-180s та лопатевий витратомір WOLF, не є обов'язковими, проте в сучасних умовах агровиробництва, коли важлива точність внесення кожної одиниці добрива, їх використання вважається доцільним. Ці компоненти можна встановити на обприскувач для більш точного регулювання норми внесення. Крім того, буде інтегровано автопілот для автоматичного керування, що значно підвищує вартість системи, проте дозволяє застосовувати її у всіх технологічних операціях господарства. Вартість культиватора POLARIS 4 становить 295 000 грн.

Річна норма витрат за нормативами для всіх культиваторів спеціального і загального призначення складає 11%.

$$C_{a1} = \frac{295000 \cdot 11}{100 \cdot 25 \cdot 1,8 \cdot 14,77} = 48,82 \text{ грн./га}$$

$$C_{a2} = \frac{(295000 + 566600) \cdot 11}{100 \cdot 25 \cdot 1,8 \cdot 13,3} = 158,35 \text{ грн./га}$$

Норму відрахувань на ТО і ремонт візьмемо таку ж як і для амортизаційних витрат.

Затрати на паливно-мастильні матеріали:

$$C_{\text{ПММ}} = C_{\text{п}} \cdot G, \text{ грн. га}, \quad (4.9)$$

де $C_{\text{п}}$ – ціна палива за 1 кг 67,45 грн/кг;

G – витрата палива на 1 гектар.

Витрата палива на одиницю роботи розраховується за формулою:

$$G = \frac{g_e \cdot N_{eH} \cdot K_3}{W_{\text{год}}}, \text{ кг/га} \quad (4.10)$$

$$G_1 = \frac{0,215 \cdot 82,0 \cdot 0,53}{2,11} = 4,42 \text{ кг/га},$$

$$G_2 = \frac{0,215 \cdot 82,0 \cdot 0,45}{1,9} = 4,17 \text{ кг/га}.$$

$$C_{\text{ПММ}} = 67,45 \cdot 4,42 = 298,13 \text{ грн. га};$$

$$C_{\text{ПММ}} = 67,45 \cdot 4,17 = 281,26 \text{ грн. га}.$$

Загальні прямі затрати на обробку площі:

$$C_1 = 60,02 + 48,82 + 48,82 + 298,13 = 455,79 \text{ грн./га};$$

$$C_2 = 88,87 + 158,35 + 158,35 + 281,26 = 686,83 \text{ грн./га}.$$

У процесі удосконалення прямі затрати незначно збільшаться:

$$E = C_1 - C_2, \text{ грн./га}, \quad (4.11)$$

$$E = 455,79 - 686,83 = -231,04 \text{ грн./га}$$

Впровадження даної розробки у виробництво дозволить нам збільшити врожайність озимої пшениці на 15%, що при врожайності зерна 4 т/га становить 0,6 т/га додатково. Ринкова вартість пшениці становить 9400 грн/т. Економічний ефект від додаткової продукції:

$$E_d = 0,6 \cdot 9400 = 5640 \text{ грн./га.}$$

Питомий сумарний економічний ефект:

$$E_c = E + E_d - C_d, \text{ грн./га,} \quad (4.12)$$

де C_d – ціна добрив на гектар;

$$E_c = -231,04 + 5640 - 2880 = 2528,96 \text{ грн./га.}$$

Порівняльну характеристику зведемо в таблицю 4.3.

Економічний ефект у відсотках:

$$E_{\pi} = \frac{2528,96 \cdot 100}{445,2} = 568\%$$

На впровадженні удосконалення на площі в 100 га річний ефект складатиме:

$$E_p = 2528,96 \cdot 100 = 252826 \text{ грн.}$$

Строк окупності затрат:

$$\varepsilon = \frac{S_b}{E_c}, \text{ га,} \quad (4.13)$$

де S_b – ціна вдосконалення, грн;

E_c - сумарний економічний ефект, грн./га;

$$\varepsilon = \frac{566600}{2528,96} = 224,04 \text{ га.}$$

Техніко-економічні показники удосконалення

Показник	POLARIS 4	Удосконалений POLARIS 4
Продуктивність агрегату, га/год	2,11	1,9
Енергоємність, кВт*год/га	38,86	43,15
Питомі витрати палива, кг/га	4,42	4,17
Матеріалоємність, кг*год/га	706,16	1115,78
Затрати праці, люд.год/га	0,474	0,526
Прямі експлуатаційні затрати, грн./га в тому числі:		
оплата праці з нарахуванням	60,02	88,87
амортизаційні відрахування	48,82	158,35
затрати на ремонт і ТО	48,82	158,35
затрати на ПММ	298,13	281,26
Зниження прямих затрат, грн./га	-	-231,04
Економічний ефект від доданої продукції, грн./га	-	5640
Питомий сумарний економічний ефект, грн./га	-	2528,96
Річний економічний ефект, грн.	-	82942
Рідкі добрива, грн/м ³	-	15500
Рідкі добрива, грн./га	-	2880
Строк окупності витрат, га	-	683,12

Доцільність удосконалення культиватора для суцільного обробітку з одночасним внесенням рідкого добрива підтверджується виконаними розрахунками. Удосконалення передбачає внесення рідких добрив смуговим способом із двошаровим розподілом робочого розчину: частина добрива вноситься у верхній шар смуги на глибину 5 см, а інша — у глибший шар на 15

см. Такий підхід забезпечує рівномірне розташування поживних речовин у ґрунті та сприяє кращому живленню рослин протягом усього періоду вегетації. При цьому зростають трудові витрати, спостерігається незначне зниження продуктивності агрегату та зниження витрат на паливно-мастильні матеріали, отримане підвищення врожайності є економічно виправданим. За розрахунком питомий сумарний економічний ефект від впровадження таких удосконалень становить 2528,96 грн/га.

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі проведено дослідження, спрямовані на обґрунтування параметрів системи внесення рідких добрив ґрунтообробного агрегата при вирощуванні озимої пшениці. Результати теоретичних, аналітичних і розрахункових досліджень дали змогу сформулювати такі основні висновки:

1. Проаналізовано сучасний стан технологій обробітку ґрунту та систем внесення мінеральних добрив. Встановлено, що інтегровані технології, які поєднують обробіток ґрунту з одночасним внесенням добрив, забезпечують зменшення енергетичних витрат, підвищення рівномірності розподілу поживних речовин і поліпшення умов живлення культурних рослин.

2. Визначено технологічні та агробіологічні передумови для ефективного вирощування озимої пшениці. Показано, що забезпечення оптимального водно-повітряного режиму, своєчасне внесення поживних речовин і зниження ущільнення ґрунту мають вирішальне значення для підвищення врожайності та якості зерна.

3. Проведено аналіз фізико-механічних властивостей ґрунтів, що впливають на процеси розпушення та внесення рідких добрив. Установлено залежності між вологістю, щільністю, гранулометричним складом і параметрами системи подачі робочої рідини, що дозволило визначити оптимальні режими роботи агрегату.

4. Розроблено конструктивно-технологічну схему вдосконаленого ґрунтообробного агрегату з інтегрованою системою внесення рідких добрив. Удосконалена система забезпечує рівномірну подачу рідини через робочі органи та дозволяє регулювати норму внесення залежно від тиску в магістралі та швидкості руху агрегату.

5. Теоретично обґрунтовано параметри системи подачі та розподілу рідких добрив. На основі рівнянь витрати та гідравлічних характеристик елементів системи визначено оптимальні значення діаметрів отворів, довжини шлангових ліній і робочого тиску, що забезпечують задану норму внесення при різних режимах роботи.

6. Проведено перевірочні розрахунки системи внесення добрив, які підтвердили ефективність прийнятих параметрів. Показано, що за тиску 0,9–1,0 бар витрата робочої рідини становить 185 л/хв, що відповідає встановленій нормі внесення для даної культури.

7. Встановлено техніко-економічну ефективність удосконаленого агрегату.

8. Використання системи внесення рідких добрив у складі ґрунтообробного агрегату забезпечує скорочення обсягу оброблюваної площі завдяки смуговому способу обробітку ґрунту. Це сприяє зменшенню витрат паливно-мастильних матеріалів, підвищенню енергоефективності технологічного процесу та більш раціональному використанню добрив.

9. Запропоновані технічні рішення можуть бути використані під час розробки нових або модернізації наявних ґрунтообробних агрегатів для забезпечення одночасного обробітку ґрунту та внесення рідких добрив у виробничих умовах підприємств аграрного сектору України.

10. Результати досліджень мають практичну цінність, оскільки сприяють підвищенню ефективності технологічних процесів, забезпечують економію матеріально-технічних ресурсів і створюють передумови для подальшої автоматизації систем внесення добрив у сільськогосподарських агрегатах. Питомий сумарний економічний ефект від використання удосконалення становить 2528,96 грн/га та окупність за 224,04 га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини: підручник. — Київ: Вища освіта, 2004. 540 с.
2. Вплив попередників та строків сівби на формування врожайності озимої пшениці. URL: <http://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/21403.pdf> (дата звернення: 07.07.2025).
3. Гідропривід сільськогосподарської техніки: підручник / О.М. Погорілець, М.С. Волянський, В.Д. Войтюк, С.І. Пастушенко. — Київ: Вища освіта, 2004. 368 с.
4. Деметра. Дисковий луцильник ЛДД-3000: технічна характеристика. URL: <https://demetra-site.com.ua/ru/products/diskovij-luschilnik-ldd-3000> (дата звернення: 16.08.2025).
5. Дніпровський державний аграрно-економічний університет. Обґрунтування економічної ефективності використання сільськогосподарської техніки. URL: <https://dSPACE.dsau.dp.ua/bitstream/123456789/8032/1/1.pdf> (дата звернення: 14.08.2025).
6. Культиватор КПС-4,1 «Весна». ТОВ «Агротехсвіт». URL: <https://agrotechsvit.com.ua/p1549268044-kultivator-kps-vesna.html> (дата звернення: 18.07.2024).
7. Механіко-технологічні передумови удосконалення комбінованих ґрунтообробних агрегатів. URL: https://vuzlit.com/410103/mehaniko_tehnologichni_peredumovi_udoskonalennya_kombinovanogo_gruntoobrobnogo_agregatu (дата звернення: 29.03.2024).
8. Озима пшениця — біологічна характеристика культури. Бібліотека BukLib.net. URL: <https://buklib.net/books/30110/> (дата звернення: 08.07.2025).
9. Озима пшениця — провідна зернова культура України. Матеріали конференції ДДАЕУ. URL: https://dSPACE.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/9076/1/zbirnyk_tez_18_23-25.pdf (дата звернення: 10.07.2025).

10. Озима пшениця: значення та агрономічна характеристика культури. AgroScience. URL: <https://agrosience.com.ua/plant/znachennya-ozymoi-pshenytsi> (дата звернення: 09.07.2025).

11. Оранка: основні види та агротехнічне значення. SuperAgronom.com. URL: <https://superagronom.com/slovník-agronoma/oranka-id20083> (дата звернення: 16.02.2024).

12. Плуги оборотні навісні з полосовими або суцільними відвалами. Велес Агро — ґрунтообробна техніка. URL: <https://veles.agro-st.com.ua/PONm/> (дата звернення: 17.07.2025).

13. Погорілець О.М., Волянський М.С., Войтюк Д.Г., Пастушенко С.І. Гідропривід сільськогосподарської техніки: підручник. — Київ: Вища освіта, 2004. — 368 с.

14. Пшениця озима – агробіологічні особливості та технологія вирощування. Монітор Агронома. URL: <https://agronomok.com.ua/template/information/culture.php?culture=23> (дата звернення: 08.07.2025).

15. Рідкі добрива у системі живлення зернових культур: переваги та технології внесення. Агропрактика. URL: <https://agropraktika.in.ua/articles/liquid-fertilizers> (дата звернення: 02.08.2025).

16. Сівалка No-Till KASI-4.0: технічна характеристика. АгроКалина. URL: <https://agrokalina.store/ua/p1407039271-sivalka-till-kasi.html> (дата звернення: 03.08.2025).

17. Сучасні технології обробітку ґрунту: види, застосування, переваги та недоліки. SAS Agro. URL: <https://sasagro.com/ua/novitni-tehnologii/tehnologiyi-obrobitku-gruntu-vydy-zastosuvannya-perevagy-j-nedoliky/> (дата звернення: 10.02.2025).

18. Технологія STRIP-TILL від MZURI PRO-TIL. URL: <https://mzuri.in.ua/ua/tehnologija/> (дата звернення: 26.07.2025).

19. Федорчук М.І., Войтюк Д.Г., Погорілець О.М. Технологічні процеси та обладнання для внесення рідких мінеральних добрив: навчальний посібник. Київ: КНАУ, 2018. 212 с.

20. Шкуратов І.В., Гончарук М.С. Агроінженерні системи точного землеробства: монографія. — Харків: НТУ «ХПІ», 2020. 256 с.

ДОДАТКИ