МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Шмагун Микола Олексійович

УДК 631.331:631.333:633.1

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Підвищення ефективності посіву зернових культур з розробкою робочого органу для внесення мінеральних добрив

208 “Агроінженерія”

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

Керівник роботи
Грудовий Р.С.
кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Шмагун Микола Олексійович. Підвищення ефективності посіву зернових культур з розробкою робочого органу для внесення мінеральних добрив. *– Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення ефективності посіву зернових культур шляхом удосконалення робочого органу для локального внесення мінеральних добрив. Актуальність теми зумовлена необхідністю забезпечення рівномірного висіву насіння, стабільної глибини його загортання та раціонального використання мінерального живлення в умовах сучасного ресурсозберігаючого землеробства. У першому розділі проаналізовано агротехнічні вимоги до посіву зернових культур і встановлено основні чинники, що впливають на якість формування насіннєвого ложа та ефективність стартового живлення рослин. У другому розділі виконано огляд існуючих технологій і технічних засобів для висіву зернових культур, наведено порівняльну характеристику способів посіву, їх переваги та недоліки. Особливу увагу приділено технології висіву з одночасним локальним внесенням мінеральних добрив, яка забезпечує кращі умови для проростання насіння, розвитку кореневої системи та підвищення продуктивності посівів. У конструктивній частині обґрунтовано доцільність розробки робочого органу, здатного одночасно формувати борозну, розміщувати насіння та забезпечувати оптимальне внесення добрив у ґрунт. Запропоноване технічне рішення спрямоване на зменшення енерговитрат, підвищення рівномірності розподілу насіння і добрив та покращення умов початкового росту зернових культур. Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленого робочого органу в посівних агрегатах для підвищення якості посіву, урожайності та економічної ефективності вирощування зернових культур.

Ключові слова: зернові культури, посів, сошник, мінеральні добрива, локальне внесення, посівний агрегат.

ANNOTATION

Mykola Oleksiyovych Shmagun. Improving the efficiency of cereal sowing through the development of a working body for applying mineral fertilisers. – *Qualification work on the rights of the manuscript*.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

This qualification thesis examines ways of improving the efficiency of cereal sowing by refining the working body for the local application of mineral fertilisers. The relevance of the topic stems from the need to ensure uniform seed placement, a consistent sowing depth and the rational use of mineral nutrients in the context of modern resource-conserving agriculture. The first chapter analyses the agronomic requirements for sowing cereal crops and identifies the main factors influencing the quality of seedbed formation and the effectiveness of initial plant nutrition. The second chapter provides an overview of existing technologies and technical equipment for sowing cereal crops, and presents a comparative analysis of sowing methods, along with their advantages and disadvantages. Particular attention is paid to the technology of sowing with simultaneous local application of mineral fertilisers, which provides better conditions for seed germination, root system development and increased crop productivity. The design section justifies the feasibility of developing a working unit capable of simultaneously forming a furrow, placing seeds and ensuring optimal fertiliser application into the soil. The proposed technical solution is aimed at reducing energy consumption, improving the uniformity of seed and fertiliser distribution, and enhancing the conditions for the initial growth of cereal crops. The practical significance of this work lies in the possibility of using the developed working body in sowing units to improve sowing quality, yield and the economic efficiency of cereal crop cultivation.

Keywords: cereal crops, sowing, coulter, mineral fertilisers, localised application, sowing unit.

ЗМІСТ

ВСТУП……..……..……6

РОЗДІЛ 1. АГРОТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО ПОСІВУ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ТА ОДНОЧАСНОГО ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ…….9

1.1. Значення якісного посіву в технології вирощування зернових культур…..…9

1.2. Вимоги до насіння, строків посіву та норми висіву……..…..10

1.3. Вимоги до підготовки ґрунту і формування насіннєвого ложа……..11

1.4. Агротехнічні вимоги до одночасного внесення мінеральних добрив…..…12

1.5. Технологічні вимоги до посівного агрегату і робочого органу……..……14

1.6. Показники контролю якості посіву та внесення добрив…….……15

Висновки по розділу……..16

РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИСІВУ ЗЕРНОВИХ І ЛОКАЛЬНОГО ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ……...……18

2.1. Загальна характеристика технологій висіву зернових культур……..18

2.2. Існуючі способи посіву, їх переваги та недоліки……..…...19

2.3. Технічні засоби для різних способів висіву зернових……....22

2.4. Огляд сошників та робочих органів для формування борозни……..……24

2.5. Технології локального внесення мінеральних добрив під час висіву...……26

2.6. Порівняльний аналіз сучасних посівних комплексів із системами внесення добрив…….28

2.7. Обґрунтування доцільності висіву з одночасним локальним внесенням добрив……...……..30

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА……..……33

3.1 Аналіз робочих органів посівних агрегатів для висіву зернових культур і внесення добрив……...…….33

3.2 Будова та принцип дії запропонованого робочого органу……..……..35

3.3 Розрахунок рами посівного агрегату на міцність……..……..38

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ…….…..43

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..45

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Зернові культури займають провідне місце у структурі сільськогосподарського виробництва України, оскільки є основою продовольчої безпеки держави, важливою сировиною для переробної промисловості та одним із головних джерел експортного потенціалу аграрного сектору. Ефективність їх вирощування значною мірою залежить від якості виконання технологічних операцій, серед яких особливе місце посідає посів. Саме під час посіву формуються передумови для одержання рівномірних сходів, оптимальної густоти стояння рослин, раціонального використання вологи, поживних речовин і потенціалу сорту.

У сучасних умовах ведення землеробства особливої актуальності набуває впровадження ресурсозберігаючих технологій, які забезпечують зменшення витрат пального, насіння, мінеральних добрив та робочого часу без зниження продуктивності агроценозу. Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності вирощування зернових культур є поєднання операцій висіву насіння та локального внесення мінеральних добрив. Такий підхід дає змогу розміщувати поживні речовини безпосередньо в зоні розвитку кореневої системи, підвищувати коефіцієнт їх використання рослинами, зменшувати втрати добрив у ґрунті та створювати сприятливі умови для початкового росту культури.

Якість посіву зернових культур залежить від багатьох чинників: конструкції посівного агрегату, типу сошника, стабільності глибини загортання насіння, рівномірності розподілу насіннєвого матеріалу, дотримання міжрядь, швидкості руху агрегату, вологості та щільності ґрунту. Недосконалість робочих органів сівалок може призводити до нерівномірного розміщення насіння, погіршення контакту зерна з ґрунтом, підвищення тягового опору та нераціонального внесення добрив. Унаслідок цього знижується польова схожість, погіршується розвиток рослин на ранніх етапах вегетації та зменшується потенційна врожайність.

Особливого значення набуває розробка робочого органу, який забезпечує не лише якісне формування борозни та розміщення насіння на задану глибину, а й одночасне локальне внесення мінеральних добрив. Поєднання цих процесів дозволяє скоротити кількість проходів агрегату полем, зменшити ущільнення ґрунту, знизити експлуатаційні витрати та підвищити технологічну ефективність посівної операції. Крім того, локальне внесення добрив сприяє більш раціональному використанню поживних елементів, оскільки вони розміщуються у доступній для рослин зоні, а не розсіюються по всій площі поля.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає в необхідності підвищення ефективності посіву зернових культур шляхом удосконалення конструкції робочого органу для одночасного висіву насіння та внесення мінеральних добрив. Запропоноване технічне рішення має бути спрямоване на покращення якості посіву, забезпечення рівномірного розміщення насіння і добрив у ґрунті, зменшення енерговитрат та підвищення продуктивності посівного агрегату.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності посіву зернових культур шляхом обґрунтування та розробки робочого органу для локального внесення мінеральних добрив одночасно з висівом насіння.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання:** проаналізувати агротехнічні вимоги до посіву зернових культур і внесення мінеральних добрив; розглянути існуючі способи висіву зернових культур та визначити їх переваги і недоліки; виконати порівняльний аналіз технічних засобів для висіву насіння і локального внесення добрив; обґрунтувати доцільність застосування технології одночасного висіву та внесення мінеральних добрив; розробити конструкцію робочого органу для внесення добрив під час посіву; виконати необхідні конструктивні та міцнісні розрахунки; оцінити очікувану ефективність запропонованого технічного рішення.

Об’єктом дослідження є технологічний процес посіву зернових культур з одночасним внесенням мінеральних добрив.

Предметом дослідження є конструктивні та технологічні параметри робочого органу посівного агрегату, який забезпечує формування борозни, розміщення насіння та локальне внесення мінеральних добрив.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Грудовий Роман, **Шмагун Микола,** Давиденко Артем. Роботизовані системи для локального внесення добрив та пестицидів у точному землеробстві Інновації в агропромисловому комплексі, машинобудуванні та транспорті : зб. тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, 22–23 квітня 2026 року. [Електронне видання]. – Рівне : НУВГП, 2026. С. 61-63

2. Білецький В.Р., **Шмагун М.О.,** Островський О.Ю., Крижанівський М.С., Скок М.С. Перспективні способи внесення мінеральних добрив. VI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». Запоріжжя: ТДАТУ. URL: https://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/hrudovyj_26.pdf (дата звернення 07.06.2026).

Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованого робочого органу в посівних агрегатах для підвищення якості висіву зернових культур, зменшення витрат мінеральних добрив, покращення умов початкового розвитку рослин і підвищення економічної ефективності виробництва зерна. Результати роботи можуть бути використані під час модернізації сівалок, удосконалення технологічних процесів посіву та впровадження ресурсозберігаючих технологій у зерновому виробництві.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновку та списку використаних джерел з 30 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 47 сторінок комп’ютерного тексту, містить 17 рисунків, 12 таблиць та 2 додатки.

РОЗДІЛ 1
АГРОТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО ПОСІВУ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ТА ОДНОЧАСНОГО ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

1.1. Значення якісного посіву в технології вирощування зернових культур

Посів є однією з найвідповідальніших операцій у технології вирощування зернових культур, оскільки саме під час нього закладаються початкові умови для формування густоти стояння рослин, рівномірності сходів і майбутньої продуктивності посіву. Навіть за високої якості насіння та достатнього забезпечення вологою порушення глибини загортання, нерівномірність розміщення зерен у рядку або нестабільність норми висіву призводять до розтягнутого періоду появи сходів, різної сили розвитку рослин і зниження ефективності подальших агротехнічних заходів.

Для зернових культур особливо важливо забезпечити одночасність проростання, адже рослини, що з’явилися пізніше, слабше кущаться, гірше використовують вологу та поживні речовини, сильніше пригнічуються конкурентними рослинами і бур’янами. Тому конструкція посівного агрегату, стан робочих органів, стабільність ходу сошників та якість формування насіннєвого ложа повинні відповідати агротехнічним вимогам не лише за середніми показниками, а й за допустимими відхиленнями.

Одночасне внесення мінеральних добрив під час посіву підвищує ефективність стартового живлення зернових культур. Локальне розміщення гранульованих добрив у зоні доступності кореневої системи дозволяє зменшити втрати поживних речовин, прискорити початковий ріст і краще використати потенціал посіву. Однак такий спосіб потребує чіткого розмежування насіння та добрив у ґрунті, оскільки прямий контакт висококонцентрованих гранул із насінням може погіршити проростання. Саме тому розробка робочого органу для внесення мінеральних добрив має ґрунтуватися на комплексі агротехнічних, технологічних і конструктивних вимог.

Таблиця 1.1 – Основні агротехнічні вимоги до посіву зернових культур

Показник	Рекомендоване значення або вимога	Допустиме відхилення
Підготовка поля	Вирівняна поверхня, дрібногрудочкувата структура, ущільнене насіннєве ложе	Гребені й борозни не повинні ускладнювати роботу сошників
Глибина загортання	3–6 см залежно від культури, вологості та гранулометричного складу ґрунту	не більше ±1 см від заданої глибини
Міжряддя	переважно 12,5–15,0 см для рядкового способу сівби	не більше ±1 см
Рівномірність висіву	сталість подачі насіння усіма висівними апаратами	відхилення норми до 3–5 %
Розміщення добрив	локально, нижче або збоку від насіннєвого рядка	зміщення 2–4 см від насіння
Пошкодження насіння	мінімальне механічне травмування під час транспортування і висіву	не більше 0,5–1,0 %

1.2. Вимоги до насіння, строків посіву та норми висіву

Вихідною умовою якісного посіву є використання кондиційного насіння з високою енергією проростання, вирівняністю фракційного складу та мінімальним вмістом домішок. Насіння має бути очищеним, відкаліброваним і протруєним відповідно до біологічних особливостей культури та фітосанітарного стану поля. Нерівномірність розміру і маси зерна ускладнює дозування, погіршує сталість роботи висівних апаратів та спричиняє неоднакову швидкість проходження насіння через насіннєпроводи.

Строки посіву встановлюють із урахуванням культури, сорту, зони вирощування, попередника, запасів продуктивної вологи та прогнозованих температур. Для озимих зернових посів має забезпечити утворення добре розвинених рослин до припинення осінньої вегетації, а для ярих культур – максимально раннє використання весняної вологи. Запізнення із сівбою зазвичай потребує коригування норми висіву, проте збільшення норми не може повністю компенсувати втрату оптимальних умов проростання.

Норма висіву визначається біологічними особливостями культури, масою 1000 насінин, схожістю, бажаною густотою продуктивного стеблостою та очікуваними польовими втратами. Під час механізованого посіву норма повинна підтримуватися стабільно на всій ширині захвату сівалки. Особливе значення має рівномірність між окремими сошниками: якщо частина рядків

висівається густіше, а частина рідше, на полі формуються ділянки з надмірною конкуренцією або недостатньою кількістю рослин.

Таблиця 1.2 – Орієнтовні параметри посіву основних зернових культур

Культура	Спосіб сівби	Ширина міжряддя, см	Глибина, см	Орієнтовна норма висіву, млн схожих зерен/га
Озима пшениця	звичайний рядковий	12,5–15,0	3–5	4,0–5,5
Озиме жито	звичайний рядковий	12,5–15,0	3–5	3,5–5,0
Ярий ячмінь	звичайний рядковий	12,5–15,0	3–5	4,0–5,0
Овес	звичайний рядковий	12,5–15,0	4–6	4,5–6,0
Тритикале	звичайний рядковий	12,5–15,0	3–5	3,5–5,0

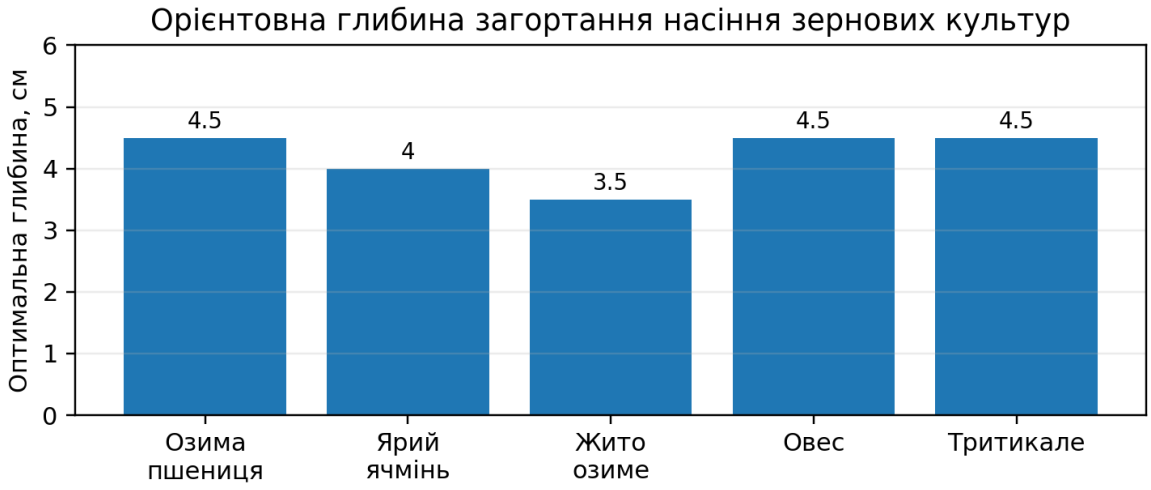


Рис. 1.1. Орієнтовна глибина загортання насіння зернових культур.

1.3. Вимоги до підготовки ґрунту і формування насіннєвого ложа

Якість роботи сошника та робочого органу для внесення добрив значною мірою залежить від стану посівного шару. Ґрунт повинен мати достатню вологість у зоні розміщення насіння, бути вирівняним по поверхні та не містити великих грудок, які заважають стабільному заглибленню робочих органів. Надто пухкий верхній шар погіршує контакт насіння з вологою, а надмірно ущільнений – збільшує тяговий опір і може призвести до утворення замазаної стінки борозни.

Оптимальне насіннєве ложе має поєднувати щільніший нижній шар, на який укладається насіння, та розпушений верхній шар, що забезпечує доступ повітря і не створює механічної перешкоди для проростків. Таке поєднання дозволяє зберегти капілярне надходження вологи до зерна та одночасно зменшити утворення ґрунтової кірки. Сошник повинен формувати борозну без надмірного виносу вологого ґрунту на поверхню, а загортачі чи прикочувальні елементи – забезпечувати якісне закриття рядка.

Важливим агротехнічним показником є сталість глибини ходу сошників. Вона визначається не лише налаштуванням сівалки, а й рельєфом поля, твердістю ґрунту, швидкістю руху агрегату, зношуванням робочих поверхонь і наявністю рослинних решток. Для зменшення відхилень робочий орган повинен мати здатність копіювати мікрорельєф, самоочищатися від вологого ґрунту і рослинних решток, а також зберігати задану траєкторію руху в ущільнених ділянках поля.

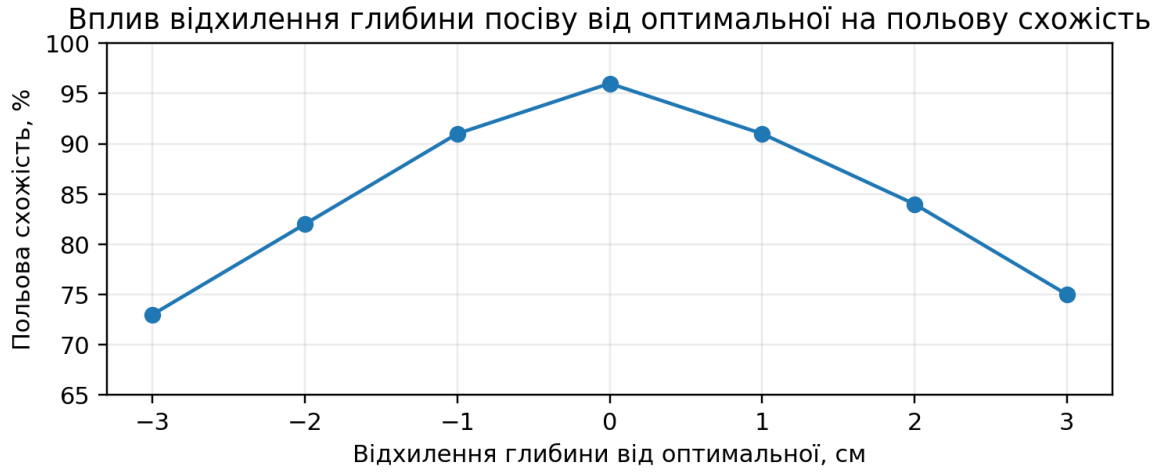


Рис. 1.2. Вплив відхилення глибини посіву від оптимальної на польову схожість.

1.4. Агротехнічні вимоги до одночасного внесення мінеральних добрив

Початковий розвиток зернових культур залежить від доступності елементів живлення в період проростання і формування первинної кореневої системи. За традиційного розкидного внесення частина добрив залишається у

верхньому шарі ґрунту або розподіляється нерівномірно, тому рослини не завжди можуть ефективно використати поживні речовини на ранніх фазах. Локальне внесення під час посіву дає змогу розмістити добрива в безпосередній близькості до майбутньої кореневої зони.

Головною вимогою до такого способу є безпечне просторове розділення насіння та мінеральних добрив. Для зернових культур доцільно розміщувати добрива нижче або дещо збоку від рядка насіння, щоб корені швидко досягали поживної зони, але насінина не контактувала з висококонцентрованим сольовим середовищем. Робочий орган повинен стабільно формувати канал для добрив, не перемішуючи їх хаотично з посівним матеріалом і не порушуючи задану глибину висіву.

Технологічна якість внесення залежить також від фізико-механічних властивостей добрив. Гранули повинні мати достатню міцність, сипкість і однорідність, не злежуватися в бункері та рівномірно подаватися дозувальним апаратом. Підвищена вологість добрив спричиняє налипання на стінки тукопроводів, утворення грудок і нестабільну норму внесення. Тому конструкція туковисівної системи має забезпечувати плавний рух гранул, мінімальне травмування і захист від потрапляння вологи.

Таблиця 1.3 – Вимоги до процесу локального внесення мінеральних добрив під час посіву

Параметр	Агротехнічна вимога	Призначення вимоги
Норма внесення	встановлюється за результатами агрохімічного аналізу та планованої врожайності	забезпечення економічно обґрунтованого живлення
Розташування відносно насіння	нижче або збоку на 2–4 см	запобігання пригніченню проростків
Рівномірність подачі	відхилення між рядками не більше 8–10 %	однаковий стартовий розвиток рослин
Стабільність каналу	добрива повинні потрапляти у сформовану зону без виносу на поверхню	зменшення втрат і підвищення доступності
Фізичний стан добрив	сипкі, без злежування, із мінімальною кількістю пилу	надійна робота тукопроводів і дозаторів

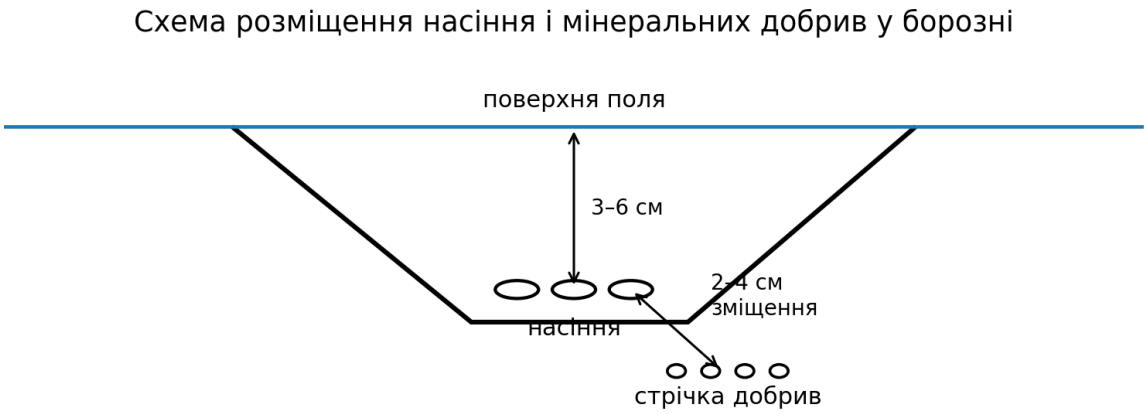


Рис. 1.3. Схема розміщення насіння і мінеральних добрив у борозні

1.5. Технологічні вимоги до посівного агрегату і робочого органу

Посівний агрегат для зернових культур повинен забезпечувати стабільність технологічного процесу за робочої швидкості, що не погіршує якість розміщення насіння і добрив. Зі збільшенням швидкості зростає динамічне навантаження на сошники, підвищується ризик викидання насіння з борозни, збільшуються коливання робочих органів і нерівномірність глибини. Тому рекомендована швидкість має узгоджуватися з типом сівалки, станом ґрунту, наявністю рослинних решток та конструкцією сошників.

Робочий орган для внесення мінеральних добрив повинен відповідати таким вимогам: створювати окремий канал або зону для добрив; не забиватися ґрунтом і рослинними рештками; мати невеликий тяговий опір; забезпечувати довговічність робочих поверхонь; легко регулюватися за глибиною та просторовим положенням відносно насіннєвого каналу. Важливо, щоб він не руйнував насіннєве ложе і не створював надмірного розпушення, яке погіршує контакт зерна з ґрунтом.

Конструктивно робочий орган доцільно розглядати як елемент, що працює у взаємодії із сошником, насіннєпроводом, тукопроводом і загортаючими пристроями. Якщо канали насіння та добрив не узгоджені між собою, то навіть точне дозування не гарантує якісного результату. Тому вимоги

до робочого органу включають не тільки міцність і зносостійкість, а й агротехнічну функціональність: забезпечення заданої геометрії борозни, керованого потоку матеріалу та рівномірного закриття рядка.

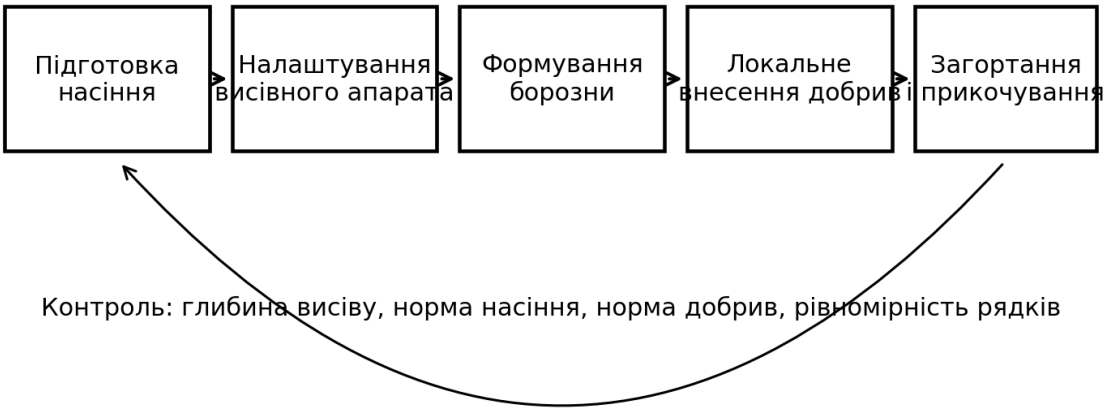


Рис. 1.4. Технологічна схема одночасного висіву насіння та локального внесення добрив.

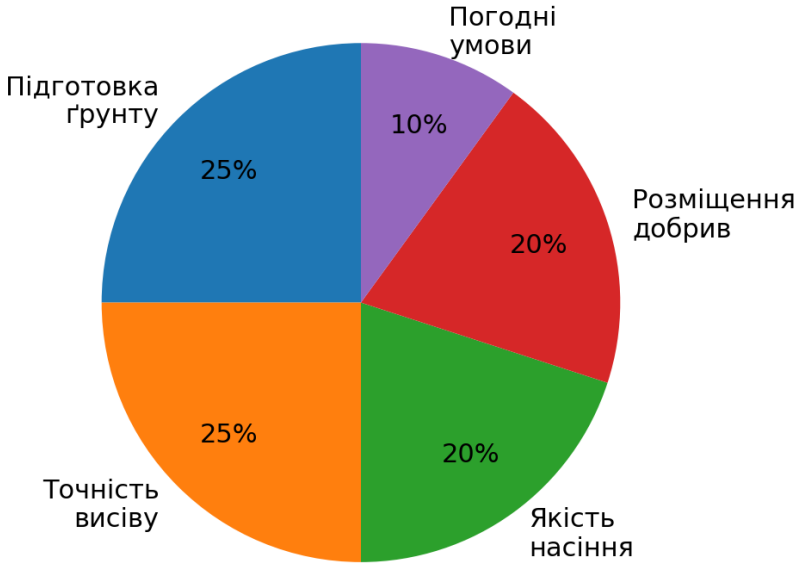


Рис. 1.5. Узагальнена частка чинників якості посіву та стартового живлення.

1.6. Показники контролю якості посіву та внесення добрив

Після налаштування сівалки необхідно провести контрольні перевірки норми висіву, рівномірності подачі насіння і добрив, глибини загортання та якості закриття борозен. Перевірку виконують на майданчику або

безпосередньо в полі, порівнюючи фактичні показники із заданими. Особливу увагу приділяють крайнім сошникам, ділянкам поворотних смуг і роботі агрегату на різній швидкості, оскільки саме там найчастіше виникають відхилення.

Для контролю норми висіву використовують пробне прокручування висівних апаратів або контрольний прохід із наступним підрахунком насіння на погонному метрі рядка. Глибину загортання визначають розкриттям рядків у кількох точках поля. Рівномірність внесення добрив оцінюють за масою гранул, що подаються окремими тукопроводами за однаковий проміжок часу, а також за фактичним розміщенням добрив у ґрунті. У сучасних умовах доцільно застосовувати датчики контролю потоку насіння і добрив, електронне калібрування та GPS-моніторинг проходів агрегату.

Таблиця 1.4 – Контрольні показники якості посіву зернових культур

Контрольний показник	Метод перевірки	Ознака якісного виконання
Норма висіву	пробне прокручування або контрольний прохід	фактична норма відповідає розрахунковій
Рівномірність рядків	підрахунок насіння на погонному метрі	немає пропусків і надмірного згущення
Глибина загортання	розкриття рядка в кількох точках поля	відхилення не перевищує допустимих меж
Розміщення добрив	контрольне розкриття борозни	добрива розміщені нижче або збоку від насіння
Закриття борозни	візуальна оцінка після проходу агрегату	насіння не залишається на поверхні, рядок ущільнений помірно

Висновки по розділу

Агротехнічні вимоги до посіву зернових культур охоплюють якість насіння, строки сівби, норму висіву, стан посівного шару, стабільність глибини загортання, рівномірність розміщення зерен у рядках і надійність загортання борозни. Дотримання цих вимог забезпечує дружні сходи, рівномірний розвиток рослин і формування оптимальної густоти продуктивного стеблостою.

Одночасне внесення мінеральних добрив під час посіву є ефективним способом покращення стартового живлення зернових культур, але воно вимагає точного локального розміщення гранул у зоні доступності коренів без прямого

контакту з насінням. Робочий орган для внесення добрив повинен забезпечувати стабільний канал, рівномірну подачу, низький тяговий опір, самоочищення та можливість регулювання. Отже, конструктивна розробка такого робочого органу має бути спрямована на поєднання агротехнічної якості посіву з підвищенням ефективності використання мінеральних добрив.

РОЗДІЛ 2
ОГЛЯД ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИСІВУ ЗЕРНОВИХ І ЛОКАЛЬНОГО ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ

2.1. Загальна характеристика технологій висіву зернових культур

Посів зернових культур є однією з найбільш відповідальних операцій у технологічному процесі вирощування, оскільки саме під час сівби закладаються умови для формування густоти рослин, рівномірності сходів, розвитку кореневої системи та майбутньої продуктивності агрофітоценозу. Технологія висіву повинна забезпечувати стабільну глибину загортання насіння, рівномірне розміщення зерна у рядку, достатній контакт насінини з вологим ґрунтом, мінімальне пошкодження посівного матеріалу та раціональне використання тягової потужності трактора.

У практиці вирощування пшениці, ячменю, жита, тритикале та інших зернових застосовують декілька способів висіву. Вибір конкретної технології залежить від ґрунтово-кліматичних умов, попередника, кількості рослинних решток, системи обробітку ґрунту, рівня технічного оснащення господарства та вимог до одночасного внесення мінеральних добрив. Традиційні сівалки зорієнтовані переважно на рядкове розміщення насіння після суцільного обробітку ґрунту. Сучасні посівні комплекси, навпаки, поєднують декілька операцій: передпосівне вирівнювання, локальне внесення добрив, формування борозни, висів, загортання і прикочування.

Найбільш перспективним напрямом для підвищення ефективності сівби зернових культур є перехід від роздільного виконання операцій до комбінованого процесу, коли насіння і добрива вносяться за один прохід агрегату. Такий підхід скорочує кількість проходів техніки полем, зменшує ущільнення ґрунту, дає змогу точніше розміщувати стартове живлення у зоні розвитку первинних коренів і підвищує використання поживних речовин у початкові фази росту рослин.



Рис. 2.1. Класифікація способів висіву зернових культур.

2.2. Існуючі способи посіву, їх переваги та недоліки

Способи висіву зернових культур можна порівнювати за кількома групами показників: агротехнічними, енергетичними, організаційними та екологічними. До агротехнічних критеріїв належать точність глибини, рівномірність розподілу насіння, якість контакту зерна з ґрунтом і здатність працювати за наявності рослинних решток. До енергетичних критеріїв відносять тяговий опір робочих органів, потребу в потужності та витрати пального. Організаційні показники охоплюють продуктивність, ширину захвату, простоту регулювання і технічного обслуговування. Екологічні показники пов’язані зі збереженням структури ґрунту, зменшенням ерозії та раціональним використанням добрив.

Таблиця 2.1 - Порівняльна характеристика основних способів висіву зернових культур

Спосіб висіву	Технологічна суть	Переваги	Недоліки
Звичайний рядковий	Насіння розміщується у паралельних рядках з міжряддям переважно 12,5-15 см після підготовки насіннєвого ложа.	Простота, доступність машин, невисокі вимоги до сівалки, добра придатність для більшості зернових.	Потребує якісного передпосівного обробітку; добрива часто вносять окремою операцією; можливе пересушування верхнього шару.
Вузькорядний	Міжряддя зменшується до 7,5-10 см, що забезпечує рівномірніше використання площі живлення.	Швидке змикання рядків, краща конкуренція з бур'янами, рівномірніша площа живлення.	Вища вимогливість до дозування; складніше працювати на полях із великою кількістю решток; не завжди зручно локально вносити добрива.
Стрічковий або широкосмуговий	Насіння розміщується не вузькою лінією, а смугою певної ширини або групою рядків.	Збільшується площа живлення окремої рослини, зменшується внутрішньорядкова конкуренція.	Потрібні спеціальні розподільники насіння; складніше забезпечити однакову глибину по ширині смуги.
Перехресний	Поле засівається двічі у взаємно перпендикулярних напрямах із половинною нормою висіву.	Висока рівномірність покриття площі, можливість використання простих сівалок.	Подвоєна кількість проходів, значні витрати пального і часу, ущільнення ґрунту; нині застосовується обмежено.
Мінімальний посів після поверхневого обробітку	Сівба виконується після дискування, культивації або комбінованої підготовки з частковим збереженням решток.	Менше проходів порівняно з традиційною системою, збереження частини вологи, висока продуктивність.	Вимагає сівалок із хорошим проходженням решток; можливе нерівномірне загортання на грудкуватому фоні.
Прямий висів (no-till)	Насіння висівають у необроблений ґрунт через рослинні рештки з мінімальним порушенням поверхні.	Збереження вологи, протиерозійний ефект, менше витрат на обробіток, менше проходів техніки.	Підвищені вимоги до сошників і притискного зусилля; ризик закупорювання; повільніше прогрівання ґрунту навесні.
Комбінований висів з локальним внесенням добрив	За один прохід формуються борозни для насіння та вносяться добрива у рядок, нижче рядка або збоку від насіння.	Найкраще поєднання якості висіву і стартового живлення; економія часу, пального та добрив; кращий ранній розвиток рослин.	Потрібна складніша сівалка або модернізований робочий орган; необхідне точне регулювання відстані між насінням і добривом.

Звичайний рядковий спосіб залишається найпоширенішим через простоту реалізації та придатність для широкого набору культур. Однак його ефективність значною мірою залежить від якості передпосівної підготовки. Якщо поле недостатньо вирівняне, сошники працюють з коливаннями по глибині, що призводить до розтягнутого періоду появи сходів. Крім того, за роздільного внесення добрив частина поживних речовин залишається поза зоною первинних коренів, а отже, використовується рослинами із запізненням.

Вузькорядний та стрічковий посів забезпечують кращий розподіл рослин за площею. Такі варіанти доцільні там, де головним завданням є швидке закриття міжрядь і пригнічення бур’янів. Проте зменшення міжряддя ускладнює розміщення окремого каналу для добрив, а також підвищує вимоги до пропускної здатності робочих органів за наявності соломи. Тому для сівалок, які мають одночасно вносити мінеральні добрива, вузькорядна схема повинна супроводжуватися ретельно спроєктованим сошником.

Прямий висів і мінімальна технологія є важливими для ресурсозбереження. За визначенням ФАО, direct seeding або no-till передбачає вирощування культури без механічної підготовки насіннєвого ложа і з мінімальним порушенням ґрунту після збирання попередника. Такий підхід зменшує ерозійні втрати і зберігає вологу, проте потребує достатнього притискного зусилля сошника, якісного прорізання рослинних решток і надійного закриття насіннєвої щілини.

Для теми кваліфікаційної роботи особливе значення має комбінований спосіб, за якого насіння та добрива вносять в один технологічний цикл. За правильної конструкції робочого органу мінеральні добрива можна розміщувати або в одній борозні з насінням у невеликій дозі, або окремою стрічкою нижче і збоку від насінини. Другий варіант безпечніший за підвищених норм добрив, оскільки зменшує ризик сольового пошкодження проростка і водночас формує поживний осередок у зоні росту коренів.



Рис. 2.2. Порівняння технологій висіву за інтегральною експертною оцінкою.

2.3. Технічні засоби для різних способів висіву зернових

Технічні засоби для висіву зернових культур поділяють на механічні зернові сівалки, пневматичні сівалки, посівні комплекси, стерньові сівалки прямого висіву та комбіновані агрегати для одночасного обробітку, висіву і внесення добрив. Механічні сівалки відрізняються простотою і дешевизною, але мають обмеження за робочою шириною, швидкістю та точністю дозування на складному рельєфі. Пневматичні системи забезпечують рівномірний розподіл насіння через розподільну головку, зручне централізоване дозування і вищу продуктивність.

Сучасні посівні комплекси розвиваються у напрямі універсальності. Наприклад, сівалки типу Väderstad Rapid поєднують підготовку насіннєвого ложа, вирівнювання, висів і прикочування за один прохід; виробник зазначає, що Rapid може працювати у традиційній, мінімальній та прямій технологіях. Для агрегатів HORSCH Pronto характерне поєднання дискової підготовки ґрунту, шинного прикочування і точного висіву TurboDisc, а окремі модифікації мають системи внесення добрив у кількох горизонтах.

Стерньові сівалки, такі як John Deere 750A, мають робочі органи з високим притискним зусиллям і здатні формувати насіннєву щілину без

попереднього суцільного обробітку. За даними виробника, моделі 750A мають робочу ширину 3, 4 або 6 м, міжряддя близько 166 мм, а сівалка оснащується однодисковими сошниками ProSeries для точного розміщення насіння навіть під час сівби безпосередньо по стерні. Такі машини ефективні в умовах збереження рослинних решток, але потребують чіткого контролю вологості й структури ґрунту.

Сівалки з анкерними або лаповими робочими органами, наприклад AMAZONE Cayena, краще пристосовані до сухих і кам’янистих ґрунтів. Вузькі лапові сошники типу TineTeC створюють менше переміщення ґрунтової маси, завдяки чому зберігають вологу і мають порівняно низький тяговий опір. При цьому вони можуть працювати як після попереднього обробітку, так і по стерні, але у вологих липких умовах ризик налипання ґрунту на лапи зростає.



а) John Deere 750A - сівалка прямого висіву з однодисковими сошниками



б) AMAZONE Cayena - сівалка з вузькими лаповими TineTeC-сошниками



в) Väderstad Rapid - комбінована сівалка з підготовкою ложа, висівом і прикочуванням



г) Väderstad Spirit C FIX - приклад локального внесення добрив перед рядком

Рис. 2.3. Приклади сучасних сівалок для різних технологій висіву

2.4. Огляд сошників та робочих органів для формування борозни

Сошник є основним робочим органом сівалки, який відкриває борозну, підтримує задану глибину, забезпечує надходження насіння і добрив та частково впливає на закриття рядка. Для зернових культур найчастіше застосовують анкерні, лапові, однодискові, дводискові та комбіновані сошники. Їхня ефективність визначається не тільки формою леза або диска, а й способом підвіски, притискним зусиллям, наявністю чистиків, копіювальних коліс, насіннєвих трубок і тукопроводів.

Анкерні сошники мають просту конструкцію і забезпечують достатньо чітке формування вузької борозни на підготовленому ґрунті. Вони доступні за вартістю та прості в ремонті, однак схильні до загортання рослинних решток і гірше працюють на необробленій стерні. Лапові сошники розпушують смугу ґрунту ширше, ніж анкерні, можуть розміщувати насіння по ширині підлапового простору і створювати сприятливе ложе, але за підвищеної вологості потребують якісного самоочищення.

Дискові сошники краще прорізають рослинні рештки, менше вивертають ґрунт і забезпечують стабільнішу глибину на підвищених швидкостях. Однодискові робочі органи мають відносно мале переміщення ґрунту і добре підходять для no-till, тоді як дводискові утворюють V-подібну борозну і застосовуються у широкому діапазоні умов. Недоліками дискових систем є вища вартість, потреба у надійних підшипниках і ризик неякісного закриття щілини за пересушеного або перезволоженого ґрунту.

Комбіновані сошники для висіву з добривами мають окремі канали для насіння та туків або спеціальний розподільник у підлаповому просторі. Їхня перевага полягає у можливості розміщувати добриво в заданому положенні відносно насіння. Для зернових найбільш доцільним є таке конструктивне рішення, яке гарантує стабільну глибину насіння і не допускає прямого контакту великої дози добрив з проростком.

Таблиця 2.2 – Порівняльна характеристика сошників зернових сівалок

Тип сошника	Раціональна сфера застосування	Переваги	Обмеження
Анкерний	Підготовлений ґрунт, традиційний рядковий посів.	Простота, мала маса, дешевий ремонт, достатня точність на вирівняному полі.	Погане проходження решток; підвищене забивання; слабша придатність для no-till.
Лаповий/стрілчастий	Мінімальний обробіток, сухі умови, можливість смугового розподілу насіння.	Формує розпушену смугу, може розміщувати насіння і добриво під лапою, має резерв для модернізації.	Більший тяговий опір; потреба у самоочищенні; ризик пересушування смуги за великої ширини лапи.
Однодисковий	Стерньовий і прямий висів, поля з рештками, мінімальне порушення ґрунту.	Добре прорізання решток, мала зона руйнування ґрунту, стабільність глибини при достатньому тиску.	Складніший вузол, вимоги до підшипників і копіювального колеса, потреба у якісному закритті щілини.
Дводисковий	Універсальні пневматичні сівалки, підготовлений або мульчований фон.	Рівномірна V-подібна борозна, добра робота на швидкості, менше забивання порівняно з анкерним.	Вартість вища; у липкому ґрунті потрібні чистики; добриво часто потребує окремого сошника.
Комбінований насіннєво-туковий	Одночасний висів зернових і локальне внесення добрив.	Скорочення проходів, кращий стартовий розвиток, контроль положення добрив, підвищення ефективності використання туків.	Підвищена конструктивна складність; необхідність точних регулювань і рівномірного дозування.



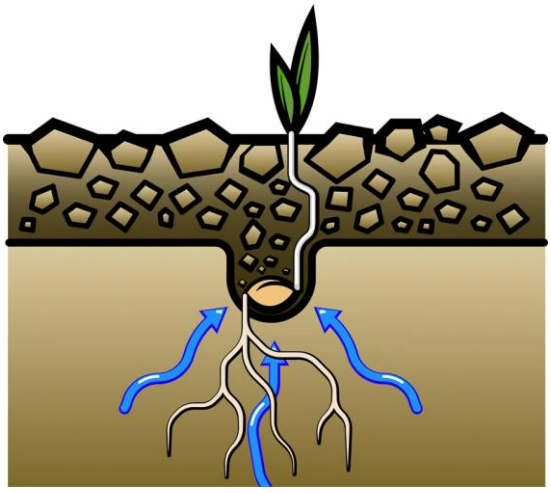
а) Однодисковий сошник ProSeries для прямого висіву



б) Окремий PPF-сошник для локального внесення добрив



в) Дисковий сошник для внесення добрив між рядками



г) Схема розміщення насіння у сформованій борозні

Рис. 2.4. Приклади робочих органів для висіву і внесення добрив

2.5. Технології локального внесення мінеральних добрив під час висіву

Локальне внесення мінеральних добрив під час висіву зернових культур базується на принципі наближення елементів живлення до зони первинного розвитку кореневої системи. На ранніх етапах росту зернові рослини мають обмежену здатність використовувати поживні речовини з великого об’єму ґрунту. Особливо важливим є доступний фосфор, який малорухомий у ґрунті та повинен знаходитися близько до проростка. Тому локалізація стартової дози добрив у борозні або поблизу неї дає кращий агрономічний результат, ніж суцільне розкидне внесення з наступним зароблянням.

Існує кілька схем розміщення добрив при сівбі. Перша схема - контактне внесення, коли насіння і добриво надходять в один потік та розміщуються в одній борозні. Такий спосіб технологічно простий і придатний для невеликих стартових доз. Наприклад, HORSCH описує систему Grain & Fertiliser, за якої обидва дозатори подають матеріал в одну розподільну башту, а насіння і добриво потрапляють в одну борозну. Перевагою є швидка доступність поживних речовин, а обмеженням - необхідність не перевищувати безпечну норму, щоб не пошкодити проросток.

Друга схема - внесення добрив окремою стрічкою нижче або збоку від насіння. Вона потребує окремого тукового сошника або двоканального робочого органу, проте дозволяє застосовувати більші норми добрив і розміщувати їх у вологішому шарі. HORSCH PPF розміщує добриво на кілька сантиметрів нижче насіннєвої борозни, а Väderstad Spirit у версіях FIX, Nordic та InLine використовує різні варіанти локалізації добрив перед насіннєвим рядом, між рядками або в окремому виході разом із насіннєвим сошником.

Третя схема - внесення між рядками на глибший горизонт. Вона ефективна в умовах сухої весни, коли верхній шар швидко втрачає вологу. Добриво, розміщене нижче, краще розчиняється, стимулює корені розвиватися вглиб і зменшує конкуренцію між рослинами за доступні елементи живлення у

верхньому шарі. Недоліком є складніша конструкція сівалки та збільшення тягового опору через додатковий робочий орган.

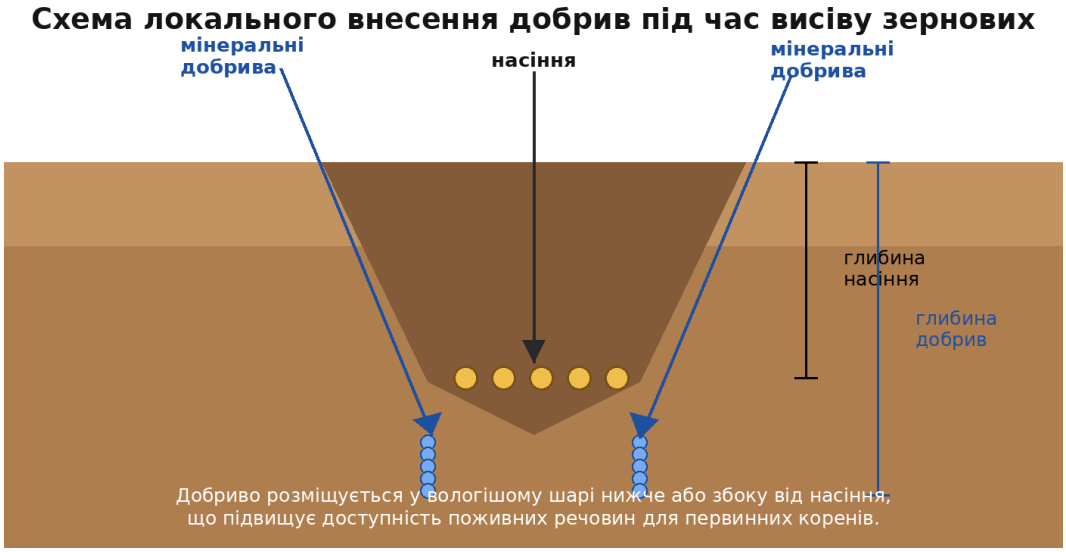


Рис. 2.5. Схема локального розміщення насіння і добрив у посівному шарі.

Таблиця 2.3 – Порівняння схем внесення добрив під час сівби зернових.

Схема внесення	Розміщення відносно насіння	Агрономічний ефект	Технічні вимоги
Контактна у рядку	Добриво і насіння в одній борозні або в одному потоці.	Швидкий стартовий ефект за малих норм; просте дозування.	Точне обмеження норми, рівномірність подачі, захист від зависання гранул.
Нижче насіння	Добриво на 2-5 см нижче насіннєвого ложа.	Краще використання вологи, стимулювання коренів, зниження ризику опіків.	Окремий туковий канал або комбінований сошник із розділенням потоків.
Збоку і нижче	Добриво розміщується збоку від рядка і нижче рівня насіння.	Безпечне застосування вищих доз, формування поживної стрічки.	Стабільне копіювання рельєфу та регулювання горизонтального зміщення.
Між рядками	Добриво вноситься в окрему стрічку між двома насіннєвими рядками.	Добре для сухих умов і весняного посіву, менша концентрація солей біля насіння.	Додаткові дискові або лапові тукові сошники, більша потреба у тязі.
Розкидне до сівби	Добриво розподіляється по поверхні і заробляється обробітком.	Просте виконання, придатне для основного удобрення.	Менша точність, більші втрати, поживні речовини не завжди доступні проростку.

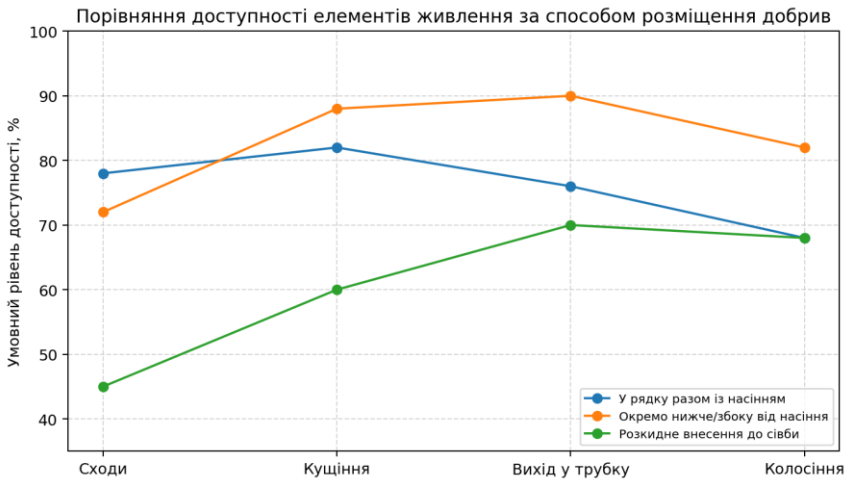


Рис. 2.6. Умовна динаміка доступності поживних речовин залежно від способу внесення добрив.

2.6. Порівняльний аналіз сучасних посівних комплексів із системами внесення добрив

Порівняльний аналіз сучасних машин показує, що найвищий технологічний рівень мають ті сівалки, які не лише дозують насіння, а й формують оптимальне насіннєве ложе та розміщують добриво у контрольованому положенні. Väderstad Spirit C має кілька схем внесення добрив: FIX із розміщенням у смугах перед кожним насіннєвим рядом, Nordic із внесенням між рядками та InLine із подачею невеликої норми через окремий вихід у насіннєвому сошнику. Така багатоваріантність є цінною, оскільки різні ґрунти і строки сівби потребують різної відстані між насінням і гранулами.

HORSCH Pronto демонструє інший підхід: після дискової підготовки ґрунту і шинного прикочування насіння укладається TurboDisc-сошниками в стабільне ложе, а добрива можуть подаватися або разом з насінням, або окремою PPF-системою. Виробник підкреслює, що PPF дозволяє розміщувати добриво на декілька сантиметрів нижче насіннєвої борозни у вологішому шарі ґрунту. Це дає змогу збільшувати норму внесення без прямого контакту з насінням і ефективніше використовувати поживні речовини.

John Deere 750A є характерним прикладом спеціалізованої сівалки прямого висіву. Її однодискові сошники ProSeries працюють із високим

притискним зусиллям і здатні прорізати стерню та рослинні рештки. Такий варіант ефективний для господарств, що впроваджують ґрунтозахисні системи, але його основний акцент спрямований саме на стабільне розміщення насіння. Для задачі кваліфікаційної роботи важливо доповнити подібну концепцію надійним вузлом локального внесення добрив.

AMAZONE Cayena з вузькими TineTeC-сошниками показує переваги лапового робочого органу на сухих і твердих ґрунтах. Вузький профіль лапи зменшує переміщення ґрунту і втрати вологи, а розташування сошників у кілька рядів покращує проходження рослинних решток. Водночас така конструкція особливо цікава для модернізації, оскільки підлаповий простір може бути використаний для контрольованого розподілу насіння і гранульованих добрив.

Таблиця 2.4 – Порівняння технічних рішень провідних посівних комплексів.

Машина/система	Тип робочого органу	Особливості внесення добрив	Оцінка для теми роботи
Väderstad Rapid	Однодискові насіннєві сошники, пакерні колеса, передні ґрунтообробні органи.	Можливе комбіноване внесення у системах Rapid Combi; добриво ущільнюється у вологішому шарі.	Показує перевагу поєднання операцій за один прохід і високої швидкості.
Väderstad Spirit C	Дводискові насіннєві сошники з індивідуальним притисканням.	FIX, Nordic та InLine: внесення перед рядком, між рядками або окремим потоком у сошник.	Найбільш гнучкий приклад локального розміщення добрив для різних умов.
HORSCH Pronto DC/SW	TurboDisc насіннєві сошники, дискова підготовка і шинне прикочування.	G&F - контактне внесення; PPF - окреме внесення нижче насіннєвої борозни.	Добре обґрунтовує доцільність розділення потоків насіння і добрив.
John Deere 750A	Однодискові ProSeries-сошники для прямого висіву.	Основний акцент на точному висіві; добривний вузол залежить від комплектації/системи господарства.	Перспективна база для ґрунтозахисного висіву, але потребує ефективного рішення для туків.
AMAZONE Cayena	Вузькі лапові TineTeC-сошники з високою прохідністю.	Може працювати у системах з окремим дозуванням; простір біля лапи придатний для локалізації добрив.	Цікава конструктивна ідея для розробки робочого органу з нижнім/боковим внесенням.



Рис. 2.7. Вагомість критеріїв під час вибору технології висіву і внесення добрив.

2.7. Обґрунтування доцільності висіву з одночасним локальним внесенням добрив

Порівняння існуючих технологій дає змогу зробити висновок, що висів зернових культур з одночасним внесенням мінеральних добрив є найбільш доцільним способом для підвищення ефективності посівного процесу. Його перевага полягає не лише в економії одного або кількох проходів агрегату. Головним агротехнічним результатом є формування просторово узгодженої системи «насіння - волога - добриво - ущільнений контактний шар», яка забезпечує дружні сходи та активний розвиток коренів у перші тижні вегетації.

За роздільної технології добрива можуть бути зароблені надто мілко, надто глибоко або нерівномірно по площі. Частина елементів живлення залишається недоступною у фазі проростання, особливо за дефіциту вологи. При одночасному локальному внесенні сівалка формує борозну і поживну зону у межах одного проходу, тому відносне положення насіння і добрив стає

стабільнішим. Це особливо важливо для фосфорних добрив і комплексних стартових сумішей, дія яких найбільш відчутна у ранні фази розвитку зернових.

З технічного погляду найперспективнішим є робочий орган, який має окремий канал для насіння і окремий канал для добрив, а також здатний підтримувати задану відстань між ними. Якщо добриво подається безпосередньо в насіннєвий потік, конструкція спрощується, проте допустима норма обмежується. Якщо добриво розміщується нижче або збоку, конструкція ускладнюється, але зростає агрономічна безпека і можливість застосування повноцінної стартової норми.

Таким чином, розробка робочого органу для внесення мінеральних добрив при посіві зернових повинна бути спрямована на поєднання трьох вимог: стабільне формування насіннєвого ложа, точне спрямування двох матеріальних потоків і мінімальний тяговий опір. Важливими також є самоочищення від рослинних решток, стійкість до зношування, простота регулювання та можливість встановлення на існуючу раму зернової сівалки. Саме такі умови визначають актуальність подальшої конструктивної розробки.

Висновки до розділу 2

Проведений огляд показав, що існуючі способи висіву зернових культур суттєво відрізняються за якістю розміщення насіння, енерговитратами, здатністю працювати по рослинних рештках і можливістю локального внесення добрив. Традиційний рядковий посів простий і доступний, але не повністю відповідає вимогам ресурсозбереження та ефективного стартового живлення. Мінімальні та прямі технології зменшують кількість проходів і зберігають вологу, проте висувають підвищені вимоги до сошників, притискного зусилля та закриття борозни.

Найбільш перспективним для підвищення ефективності посіву зернових культур є комбінований висів з одночасним локальним внесенням мінеральних добрив. Він забезпечує кращу просторову узгодженість насіння і поживних речовин, скорочує технологічні операції, підвищує ефективність використання добрив і створює передумови для рівномірного розвитку рослин. Аналіз

сучасних машин Väderstad, HORSCH, John Deere та AMAZONE підтверджує, що провідні виробники розвивають саме напрям точного розміщення насіння і добрив за один прохід.

Отже, подальша конструктивна розробка робочого органу має бути спрямована на створення такого сошника або насіннєво-тукового вузла, який забезпечить стабільну глибину висіву, контрольоване розміщення добрив нижче або збоку від насіння, надійне самоочищення і прийнятний тяговий опір. Це дозволить підвищити якість посіву зернових культур і адаптувати існуючі сівалки до сучасних вимог точного землеробства.

РОЗДІЛ 3
КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА

3.1 Аналіз робочих органів посівних агрегатів для висіву зернових культур і внесення добрив

Якість сівби зернових культур значною мірою визначається роботою сошника, оскільки саме цей елемент першим взаємодіє з ґрунтом у зоні укладання насіння. Від стабільності його ходу залежить фактична глибина загортання, рівномірність розподілу зерна по рядку, стан насіннєвого ложа та умови початкового живлення рослин. Для технологій, у яких одночасно із сівбою передбачається локальне внесення мінеральних добрив, вимоги до робочого органу зростають, адже він повинен не лише сформувати борозну, а й забезпечити правильне розміщення насіння та туків у підґрунтовому просторі.

Сошник посівної машини виконує комплекс взаємопов’язаних операцій: розрізає верхній шар ґрунту, утворює борозну потрібної форми, подає посівний матеріал у зону укладання, частково ущільнює або вирівнює ложе та створює умови для природного загортання борозни. Якщо конструкція робочого органу не відповідає властивостям ґрунту, виникають відхилення від заданої глибини, насіння розміщується нерівномірно, а добрива можуть потрапляти надто близько до зерна або, навпаки, виноситися із зони активного коренеутворення.

У практиці експлуатації зернових сівалок застосовують лапчасті, дискові та комбіновані сошники. Лапчасті робочі органи мають просту будову, добре формують широку борозну та дають змогу розміщувати насіння стрічкою. Вони ефективні на попередньо підготовлених і середніх за механічним складом ґрунтах, однак за високої вологості або на важких ґрунтах можуть збільшувати тяговий опір агрегату. Дискові сошники краще прорізають рослинні рештки та менше порушують структуру ґрунтового шару, проте потребують якісного технічного стану дисків і надійного регулювання притискного зусилля.

Комбіновані сошники поєднують переваги різних схем: вони здатні відкривати борозну, стабілізувати глибину ходу та спрямовувати насіння разом

із добривами у визначену зону. Саме такі конструкції є найбільш перспективними для ресурсозберігаючих технологій, оскільки дозволяють за один прохід виконувати кілька операцій, зменшувати кількість ущільнень поля та точніше використовувати мінеральні добрива.

Під час вибору робочого органу необхідно враховувати вологість і щільність ґрунту, наявність рослинних решток, агротехнічну швидкість руху, норму висіву, гранулометричний склад добрив і допустиме тягове навантаження на агрегат. Особливе значення має сталість глибини, адже навіть незначні коливання робочого органу призводять до нерівномірної появи сходів. Для озимих та ярих зернових культур це негативно впливає на кущення, вирівняність посіву й подальше формування продуктивного стеблостою.

Порівняльну характеристику основних типів сошників подано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльна оцінка сошників посівних агрегатів

Тип сошника	Переваги	Обмеження	Доцільність застосування
Лапчастий	Проста конструкція, невисока вартість, формування широкої борозни	Підвищений опір на щільних і вологих ґрунтах, можливе налипання ґрунту	Традиційна сівба зернових на підготовленому полі
Дисковий	Добре прорізає поверхневий шар, стабільно працює за наявності решток	Вища складність конструкції, інтенсивне зношування дисків	Мінімальний обробіток, важкі або вологі ґрунти
Комбінований	Поєднує формування борозни, укладання насіння і локальне внесення добрив	Потребує точного налаштування та контролю технічного стану	Інтенсивні та ресурсозберігаючі технології вирощування зернових

Ефективність роботи сошника визначається не тільки його геометрією, а й режимами експлуатації. Збільшення швидкості понад оптимальні межі може

спричиняти розкидання насіння в борозні, нерівномірне присипання та зростання тягового опору. Недостатнє притискне зусилля, своєю чергою, призводить до виходу робочого органу із заданої глибини, а надмірне — до зайвого ущільнення зони рядка та прискореного зношування деталей.

Для робочого органу, призначеного для одночасного внесення мінеральних добрив, важливо забезпечити кероване переміщення потоків насіння і туків. Добрива повинні надходити в таку зону, де вони швидко стають доступними для кореневої системи, але не створюють ризику пошкодження проростків. Тому конструкція розподільних елементів має забезпечувати рівномірність подачі, запобігати закупорюванню каналів і зберігати стабільність роботи за зміни швидкості агрегату.

Отже, аналіз існуючих конструкцій показує, що для підвищення ефективності посіву зернових культур найбільш раціональним є застосування сошника комбінованої дії. Такий робочий орган повинен поєднувати малий питомий опір, здатність до самоочищення, надійне формування насіннєвого ложа та можливість рівномірного розміщення мінеральних добрив у зоні рядка.

3.2 Будова та принцип дії запропонованого робочого органу

З метою підвищення якості сівби та раціонального використання мінеральних добрив у роботі запропоновано сошник комбінованого типу. Його конструкція орієнтована на одночасне виконання трьох операцій: відкривання борозни, укладання насіння на підготовлене ложе та подачу добрив у підлаповий простір. Удосконалення спрямоване на зменшення питомого тягового опору, підвищення рівномірності розподілу матеріалу та покращення самоочищення робочої поверхні.

Основою конструкції є стійка 1, у нижній частині якої розміщено приймальний лоток 2 для під’єднання насіннєпроводу і каналу подачі добрив. До нижньої частини стійки болтовим з’єднанням кріпиться лапа 3. Використання болтів із напівкруглими головками 4 спрощує заміну зношеного елемента та зменшує ймовірність зачіпання рослинних решток під час роботи.

Стійка з робочою лапою встановлюється у кронштейні 5 шарнірно, що дає змогу компенсувати короткочасні перевантаження та краще копіювати мікрорельєф поля.

Кронштейн закріплюється на рамі сівалки хомутом 6 і скобою 7. Така схема монтажу забезпечує достатню жорсткість вузла й одночасно дає змогу виконувати регулювання положення сошника без складного демонтажу. Пружина 8 створює необхідне притискне зусилля та забезпечує пружні коливання стійки. Саме коливальний режим сприяє очищенню робочого органу від налиплого ґрунту й рослинних решток, що особливо важливо під час сівби після попередників із значною кількістю пожнивних залишків.

Положення стійки регулюється гайкою-направлячем 9, установленою на тязі 10 і зафіксованою гайкою 11. Завдяки такому вузлу можна змінювати робочий режим сошника, налаштовуючи його відповідно до агротехнічних вимог культури, вологості ґрунту та швидкості руху агрегату. Загальний вигляд запропонованого робочого органу подано на рисунку 3.1.

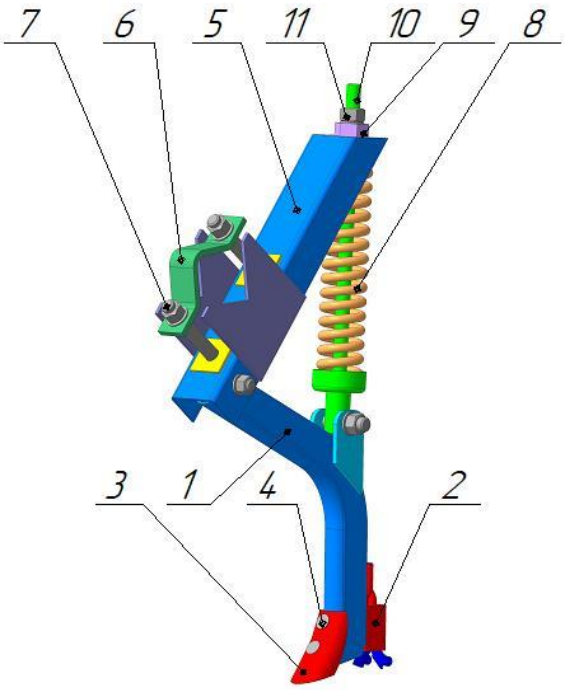


Рис. 3.1. Загальний вигляд запропонованого сошника: 1 – стійка; 2 – приймальний лоток; 3 – лапа; 4 – болт М10; 5 – кронштейн; 6 – хомут; 7 – скоба; 8 – пружина; 9 – гайка-направляч; 10 – тяга; 11 – гайка.

Під час руху агрегату лапа сошника входить у ґрунт на задану глибину, розрізає його та відводить частину ґрунтової маси в сторони. Утворена борозна має достатню ширину для рівномірного розміщення посівного матеріалу. Потік зерна і гранульованих добрив із висівних апаратів надходить через гнучкі проводи до приймального лотка, після чого спрямовується у зону, сформовану лапою.

Конструктивна особливість сошника полягає у використанні розподільного елемента, який розміщується в зоні найбільшої концентрації потоку. Його бокові грані спрямовують насіння і добрива в підлаповому просторі, завдяки чому матеріал не накопичується в одній точці, а розподіляється по ширині борозни. Це підвищує рівномірність живлення рослин у початковий період розвитку та зменшує втрати добрив через їх нерівномірне залягання.

Після проходу робочого органу борозна закривається ґрунтом, що осипається з боків лапи під дією власної маси. При цьому насіння розміщується на вирівняному ложі, а добрива залишаються в зоні, доступній для кореневої системи. Пружний підвіс стійки знижує ударні навантаження на раму сівалки та запобігає різким змінам глибини ходу робочого органу.

Запропонована форма носової частини лапи зменшує опір переміщенню в ґрунті. Це дає можливість знизити витрати енергії на процес сівби, підтримувати стабільну швидкість руху агрегату та забезпечувати якісне виконання технологічної операції. До конструктивних переваг розробки належать простота будови, ремонтопридатність, можливість регулювання, рівномірне розміщення насіння і добрив, а також підвищена стійкість до забивання.

Узагальнені функції основних елементів запропонованої конструкції наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Призначення елементів запропонованого сошника

Елемент конструкції	Функціональне призначення	Очікуваний технологічний ефект
Стійка з шарнірним кріпленням	Передає зусилля від рами до лапи та компенсує короткочасні перевантаження	Стабілізація глибини ходу, захист вузла від ударних навантажень
Стрілчаста лапа	Розрізає ґрунт і формує борозну для насіння та добрив	Якісне насіннєве ложе і зменшення тягового опору
Пружина	Забезпечує притискне зусилля і пружні автоколивання	Самоочищення робочого органу, менше забивання ґрунтом
Приймальний лоток і розподільник	Спрямовують потік насіння та мінеральних добрив у підлаповий простір	Рівномірне укладання матеріалу по ширині борозни

3.3 Розрахунок рами посівного агрегату на міцність

Для перевірки працездатності запропонованого робочого органу необхідно оцінити навантаження, які передаються від сошника на раму сівалки. Під час роботи лапа взаємодіє з ґрунтом і створює горизонтальну складову опору, яка через стійку, кронштейн та хомут передається на несучі елементи рами. Розрахунок виконуємо за прийнятою схемою статичного навантаження.

Горизонтальну силу опору, що діє на один робочий орган, визначаємо за залежністю:

$$R_x = \eta \cdot k \cdot S, \tag{3.1}$$

де R_x – сила опору, що діє на сошник, Н; η – коефіцієнт корисної дії робочого органу; k – питомий опір ґрунту, Н/м²; S – площа робочої поверхні, яка перебуває у ґрунті, м².

Для розрахунку приймаємо: η = 0,7; k = 50 кН/м² = 50000 Н/м²; S = 0,01024 м². Тоді:

$$R_x = 0,7 \cdot 50000 \cdot 0,01024 = 358,4 \text{ Н}.$$

Отримана сила прикладається до рами через вузол кріплення робочого органу. Для визначення згинального моменту враховуємо відстань від точки прикладання сили до точки фіксації сошника на рамі. Схему дії моменту показано на рисунку 3.2.

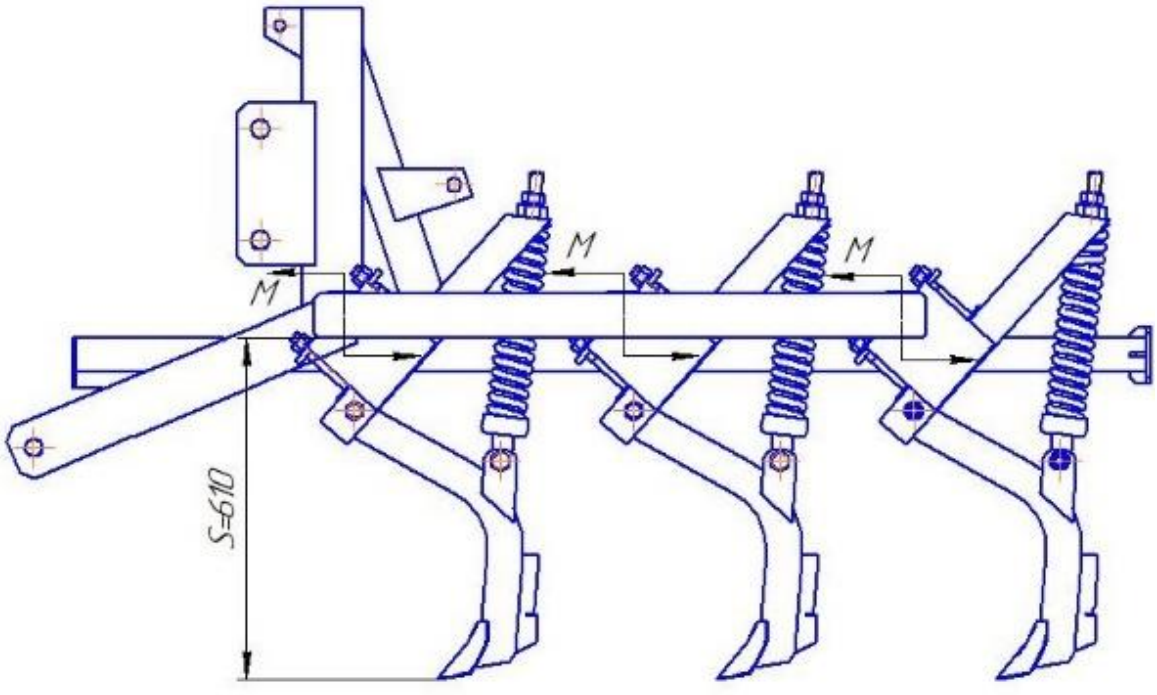


Рис. 3.2. Схема передавання моменту від робочого органу на раму

Згинальний момент розраховуємо за формулою:

$$M = R_x \cdot s, \quad (3.2)$$

де М – момент, що діє на раму, Н·м; s – плече сили, м. За умовами розрахункової схеми s = 0,61 м.

$$M = 358,4 \cdot 0,61 = 218,6 \text{ Н·м}.$$

Надалі навантаження від окремих сошників переносяться на просторову модель рами. Для цього на елементи кріплення задаються відповідні сили R та моменти М. Розрахункова схема навантаження наведена на рисунку 3.3.

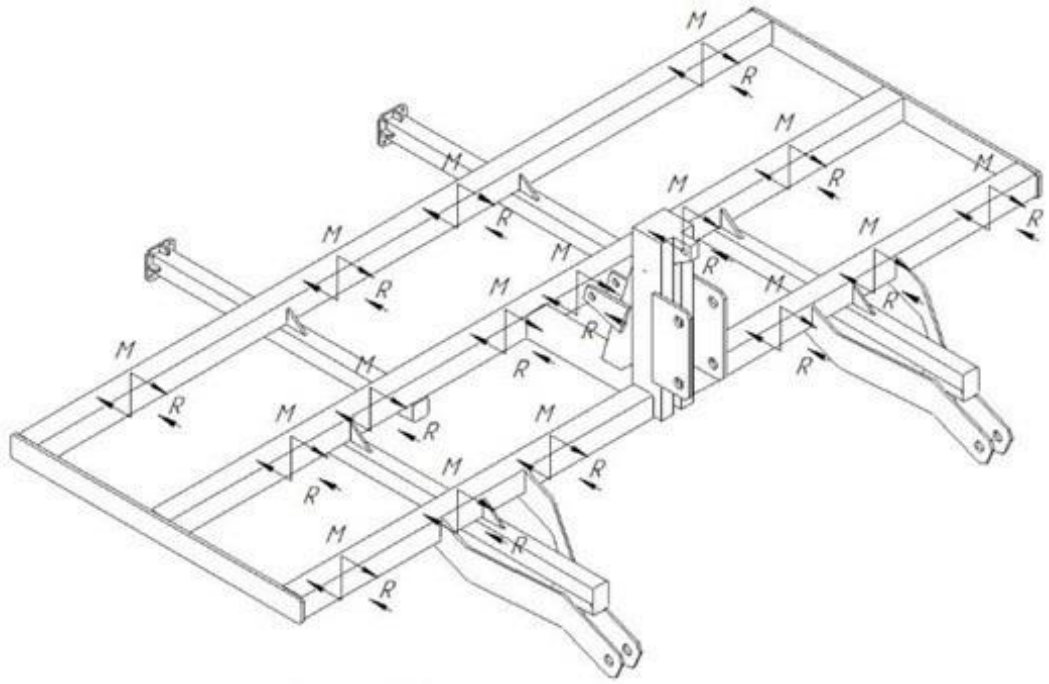


Рис. 3.3. Схема розміщення сил і моментів на рамі

Статичний аналіз дає змогу визначити найбільш навантажені ділянки конструкції та перевірити, чи не перевищують напруження допустимих значень. За результатами моделювання максимальні еквівалентні напруження за Мізесом зосереджуються переважно у зонах кріпильних вушок і в крайніх ділянках рами, де виникає концентрація напружень. Графічне відображення розподілу напружень наведено на рисунку 3.4.

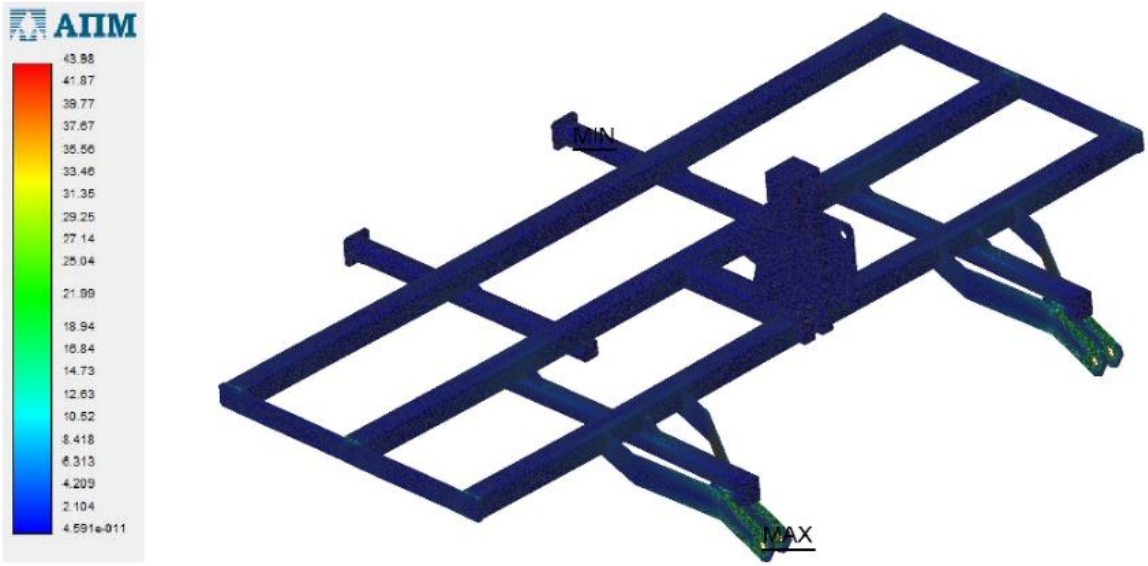


Рис. 3.4. Розподіл еквівалентних напружень у рамі

Основні результати статичного розрахунку подано в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати статичного розрахунку рами за напруженнями

Показник	Позначення	Мінімальне значення	Максимальне значення
Еквівалентне напруження за Мізесом	SVM, МПа	0	43,88

Максимальне значення напруження становить 43,88 МПа, що свідчить про достатній запас міцності для прийнятої конструкції. Навантаження не призводить до появи критичних зон, які могли б спричинити втрату несучої здатності під час нормальної експлуатації посівного агрегату.

Крім напруженого стану, важливо оцінити переміщення елементів рами. Надмірні прогини можуть змінювати положення сошників відносно поверхні поля, що погіршує рівномірність глибини загортання насіння та добрив. Розподіл сумарних лінійних переміщень представлено на рисунку 3.5.

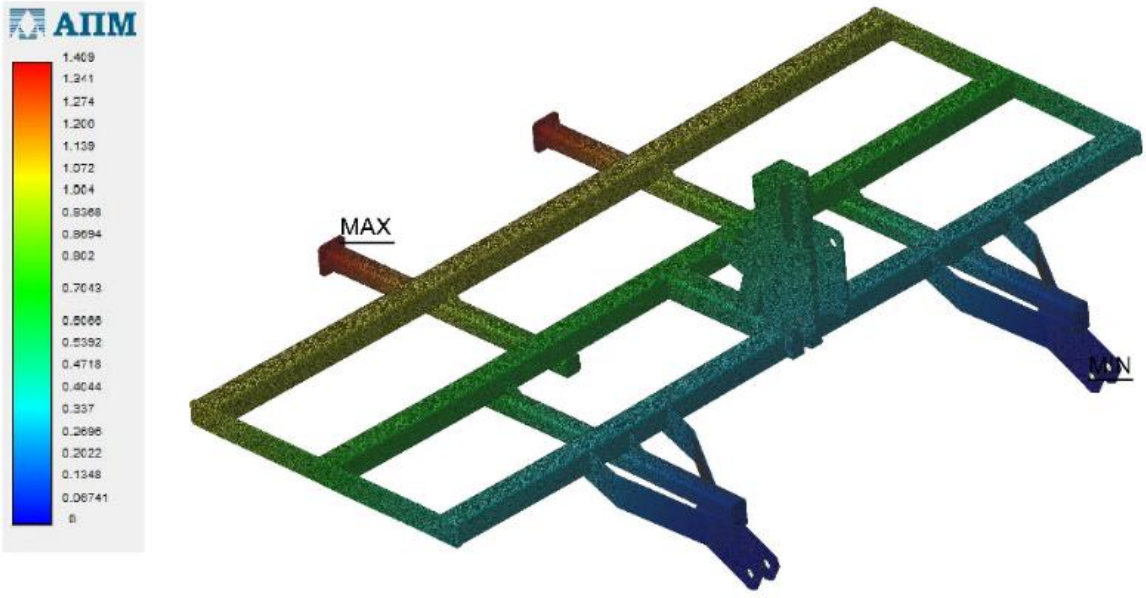


Рис. 3.5. Сумарні лінійні переміщення елементів рами.

Числові результати розрахунку переміщень наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку сумарних лінійних переміщень

Показник	Позначення	Мінімальне значення	Максимальне значення
Сумарне лінійне переміщення	USUM, мм	0	1,409

Максимальне сумарне переміщення становить 1,409 мм. Така величина не є критичною для конструкції рами і не повинна спричиняти порушення глибини ходу робочих органів. Найбільші переміщення спостерігаються у віддалених елементах рами, що є характерним для подібних просторових конструкцій під дією розподілених навантажень.

Таким чином, результати розрахунку підтверджують працездатність запропонованого робочого органу та можливість його встановлення на посівний агрегат без перевищення допустимих навантажень на раму. Удосконалена конструкція сошника забезпечує формування якісного насіннєвого ложа, покращує розподіл мінеральних добрив у зоні рядка, зменшує схильність до забивання і сприяє підвищенню ефективності посіву зернових культур.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто актуальне питання удосконалення технологічного процесу висіву зернових культур шляхом поєднання операцій сівби та локального внесення мінеральних добрив. Встановлено, що якість посіву є одним із вирішальних чинників формування майбутньої врожайності, оскільки саме на цьому етапі закладаються умови для рівномірного проростання насіння, розвитку кореневої системи, використання ґрунтової вологи та поживних речовин. Нерівномірне розміщення насіння, нестабільна глибина загортання, поганий контакт зерна з ґрунтом і нераціональне внесення добрив призводять до зниження польової схожості, ослаблення початкового розвитку рослин і втрати частини потенційної продуктивності культури.

У першому розділі роботи проаналізовано агротехнічні вимоги до посіву зернових культур та одночасного внесення мінеральних добрив. Визначено, що основними показниками якісного посіву є дотримання заданої глибини загортання насіння, рівномірність розподілу насіннєвого матеріалу по площі поля, стабільність міжрядь, формування якісного насіннєвого ложа, мінімальне пошкодження насіння та забезпечення сприятливого водно-повітряного режиму ґрунту. Окрему увагу приділено значенню стартового живлення рослин, адже локальне розміщення мінеральних добрив у зоні розвитку кореневої системи підвищує доступність поживних елементів і сприяє інтенсивнішому росту зернових культур на початкових фазах вегетації.

У другому розділі виконано огляд і порівняльний аналіз існуючих технологій та технічних засобів для висіву зернових культур і локального внесення добрив. Розглянуто основні способи посіву, зокрема рядковий, вузькорядний, широкорядний, розкидний, прямий та посів із одночасним внесенням добрив. Встановлено, що кожен із цих способів має певні переваги та недоліки, однак найбільш ефективним з погляду ресурсозбереження, агротехнічної якості та продуктивності є висів із одночасним локальним внесенням мінеральних добрив. Така технологія дає змогу скоротити кількість

проходів агрегату полем, зменшити ущільнення ґрунту, раціональніше використовувати добрива та забезпечити кращі умови для росту рослин.

У конструктивній частині роботи обґрунтовано необхідність розробки робочого органу, який забезпечує формування борозни, укладання насіння на задану глибину та внесення мінеральних добрив у найбільш доцільну зону ґрунту. Запропонована конструкція сошника спрямована на покращення рівномірності розподілу насіння і добрив, зменшення тягового опору, підвищення стабільності ходу робочого органу та забезпечення якісного загортання посівного матеріалу. Важливою перевагою такого технічного рішення є можливість поєднання кількох технологічних операцій в одному робочому проході, що позитивно впливає на продуктивність посівного агрегату та зменшує експлуатаційні витрати.

Проведені розрахунки підтвердили працездатність і достатню міцність елементів запропонованої конструкції. Отримані значення напружень і переміщень не перевищують допустимих меж, що свідчить про надійність рами та робочого органу під час експлуатації. Це дає підстави вважати запропоноване технічне рішення придатним для використання у складі посівного агрегату для висіву зернових культур із одночасним внесенням мінеральних добрив.

Таким чином, у роботі доведено доцільність удосконалення посівного робочого органу з метою підвищення ефективності вирощування зернових культур. Запропонована конструкція дає змогу покращити якість посіву, забезпечити раціональне розміщення добрив, зменшити витрати пального, часу та мінеральних ресурсів. Практичне значення роботи полягає в можливості застосування розробленого робочого органу для модернізації зернових сівалок, підвищення продуктивності посівних агрегатів і впровадження ресурсозберігаючих технологій у сучасному зерновому виробництві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Іванишин В. В. Сільськогосподарські машини: теорія і розрахунок. Київ : Аграрна наука, 2015. 512 с.

2. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини : підручник. Київ : Каравела, 2018. 552 с.

3. Барановський В. М., Паньків М. Р. Машини та обладнання для рослинництва : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2017. 304 с.

4. Гевко Р. Б., Бурлака О. А., Павх І. І. Машини сільськогосподарського виробництва : навч. посіб. Тернопіль : Крок, 2016. 384 с.

5. Гречкосій М. Д., Мельник І. І., Марченко В. В. Машиновикористання в землеробстві : підручник. Київ : Урожай, 2010. 456 с.

6. ДСТУ 2240-93. Насіння сільськогосподарських культур. Сортові та посівні якості. Технічні умови. Київ : Держстандарт України, 1994. 73 с.

7. Заєць М. Л., Куликівський В. Л. Вплив параметрів дискових сошників на здатність прорізання рослинних решток у системі NO-TILL. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2025. № 3 (130). С. 107–112.

8. ДСТУ 3768:2019. Пшениця. Технічні умови. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 19 с.

9. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.

10. Кравчук В. І., Погорілий Л. В. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки. Київ : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2017. 240 с.

11. Лихочвор В. В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. Львів : НВФ «Українські технології», 2018. 808 с.

12. Мазур В. А., Паламарчук В. Д., Поліщук І. С. Землеробство з основами ґрунтознавства та агрохімії : навч. посіб. Вінниця : ВНАУ, 2020. 352 с.

13. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Лісостепу України / за ред. М. В. Зубця. Київ : Аграрна наука, 2010. 980 с.

14. Основи проектування сільськогосподарських машин / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2009. 544 с.

15. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. … д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.

16. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології». 2020. № 2. С 34–41.

17. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Проблеми трибології. 2020. № 2. С 34–41.

18. Rogovskii, I. L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. Journal of Physics : Conference Series. 1679 (4), art. №. 042084.

19. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.

20. Технології вирощування зернових культур : методичні рекомендації. Київ : ННЦ «Інститут землеробства НААН», 2021. 84 с.

21. Brady N. C., Weil R. R. The Nature and Properties of Soils. 15th ed. Boston : Pearson, 2017. 1104 p.

22. Havlin J. L., Tisdale S. L., Nelson W. L., Beaton J. D. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 8th ed. Boston : Pearson, 2014. 528 p.

23. Hillel D. Introduction to Environmental Soil Physics. Amsterdam : Elsevier Academic Press, 2004. 494 p.

24. Kepner R. A., Bainer R., Barger E. L. Principles of Farm Machinery. 3rd ed. Westport : AVI Publishing Company, 1982. 527 p.

25. Kutzbach H. D. Trends in power and machinery. Journal of Agricultural Engineering Research. 2000. Vol. 76, № 3. P. 237–247.

26. Roy R. N., Finck A., Blair G. J., Tandon H. L. S. Plant Nutrition for Food Security: A Guide for Integrated Nutrient Management. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006. 348 p.

27. Srivastava A. K., Goering C. E., Rohrbach R. P., Buckmaster D. R. Engineering Principles of Agricultural Machines. 2nd ed. St. Joseph : ASABE, 2006. 588 p.

28. Väderstad AB. Efficient combined drilling with fertiliser metering. Väderstad : official website, 2024.

29. John Deere. SeedStar 4HP Planter Quick Reference Guide. Moline : Deere & Company, 2023.

30. FAO. Fertilizer Use by Crop. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006. 100 p.