

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ _____ ” 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:**

«Модернізація зернової сівалки з дослідженням конструкції висівного
апарата»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи ГМ-24М-1

ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____ Сарданов Віталій Русланович

« _____ » 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Ірина СИСОЛІНА

« _____ » 2026 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____ Станіслав КАТЕРИНИЧ

« _____ » 2026 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-наукова програма «Галузеве машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« ____ » _____ 2026 року

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

_____ Сарданова Віталія Руслановича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Модернізація зернової сівалки з дослідженням конструкції висівного апарата
2. Керівник роботи (проекту) Сисоліна Ірина Петрівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання роботи до захисту 05.05.2026 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Наукове обґрунтування параметрів катушкового висівного апарата, що дозволить покращити якість висіву зерна в рядку, яка обумовлена сучасними вимогами до ресурсозбереження.
5. Перелік ілюстративного матеріалу 1. Стан досліджуваного питання; 2. Вибір напрямку досліджень; 3. Теоретичний аналіз об'єкта дослідження; 4. Практична реалізація результатів досліджень.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Виконання розділу «Вступ»	02.02.2026 р.	
2	Виконання розділу «Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень»	27.02.2026 р.	
3	Виконання розділу «Наукова частина»	27.03.2026 р.	
4	Виконання розділу «Практична реалізація результатів досліджень»	15.04.2026 р.	
5	Виконання розділу «Охорона праці».	22.04.2026 р.	
6	Формулювання загальних висновків. Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини. Підготовка до захисту.	05.05.2026 р.	

Дата видачі завдання
«19» січня 2026 р.

Підпис керівника

_____ (прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
«19» січня 2026 р.

Підпис здобувача _____ (прізвище та ініціали)

Анотація

У роботі проведено комплексне дослідження технологічного процесу функціонування зернових сівалок та обґрунтовано шляхи підвищення їхньої ефективності. Основну увагу приділено вирішенню проблеми низької поздовжньої рівномірності висіву, що притаманна традиційним катушковим апаратам через порційний характер подачі насіння.

Ключові слова: *зернова сівалка, висівний апарат, катушка, рівномірність висіву, врожайність.*

Abstract

The study provides a comprehensive investigation into the technological process of grain seeder operation and substantiates methods for enhancing their efficiency. Particular attention is focused on addressing the issue of low longitudinal sowing uniformity inherent in traditional fluted roller metering units due to the portioned nature of seed delivery.

Keywords: grain seeder, sowing unit, fluted roller, sowing uniformity, crop yield.

ЗМІСТ

Номер розділу	Структурна одиниця і розділ	Сторінка
1	Вступ	6
2	СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ	8
3	НАУКОВА ЧАСТИНА	18
4	ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	40
5	ОХОРОНА ПРАЦІ	47
6	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	50
-	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	52

1. ВСТУП

Сучасний стан економіки України нерозривно пов'язаний із динамічним розвитком агропромислового комплексу. Завдяки володінню колосальними ресурсами родючих земель, наша держава впевнено утримує статус одного з ключових гарантів глобальної продовольчої безпеки. Високий експортний потенціал та стабільне забезпечення внутрішнього ринку продуктами харчування напряду залежать від ефективності використання кожної одиниці орної площі.

Одним із вирішальних етапів у вирощуванні зернових культур є процес сівби. Саме на цій стадії формується майбутня архітектоніка посіву та закладається потенціал врожайності.

Пошук оптимальних конструктивних рішень для висівних механізмів залишається одним із пріоритетних завдань сучасної агроінженерної науки.

Цими питаннями займалися і займаються науковці, такі як: Войтюк Д. Г. [19], Заїка П.М. [5], Сисолін П.В. [14-18, 20], [3, 4, 9] та ін.

Проте дослідження цих питань не призвело до їх повного вирішення.

Удосконалення висівних систем сьогодні розглядається не просто як технічне завдання, а як необхідна умова для переходу до точного землеробства, що може забезпечити економічний ефект завдяки зростанню врожайності зернових культур.

Ключові аспекти дослідження включають: вивчення динаміки насінневого потоку залежно від частоти обертання та геометрії робочих органів; аналіз взаємодії насіння з елементами насіннєпроводів та сошникових груп; обґрунтування параметрів експериментального апарата з модернізацією катушки та системою регулювання внутрішнього шару зерна.

Головною перешкодою для досягнення ідеальної точності є пульсуючий характер роботи стандартних катушкових апаратів зернових сівалок. Дискретне подавання насіння жолобками спричиняє нерівномірність його розподілу в борозні, що призводить до виникнення зон із надмірною густотою рослин

(конкуренція за поживні речовини), появи значних пропусків (неефективне використання площі живлення), зниження загальної стійкості посівів до несприятливих факторів.

Таким чином, оптимізація параметрів катушкового апарата для висіву зерновою сівалкою є надзвичайно актуальною, оскільки обумовлена сучасними вимогами до ресурсозбереження та наряду пов'язана з продовольчою безпекою та підвищенням конкурентоспроможності сільгосппідприємств [12].

2. СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Огляд та аналіз конструкції

Представлена на рисунку 2.1 зернотукова сівалка СЗ-3,6А - універсальна машина для висіву зернових, технічних та інших культур рядковим методом. Її конструктивні особливості дозволяють однаково ефективно працювати з широким спектром злаків: пшеницею, ячменем, житом та вівсом. Окрім традиційного зерна, агрегат повністю адаптований під потреби зернобобового сегмента. Це дозволяє здійснювати висів сої, гороху, сочевиці, квасолі, нуту, а також менш поширених культур, таких як боби, чина чи люпин.

Однією з ключових характеристик даної техніки є можливість реалізації комбінованого циклу. Одночасно з розподілом насіння механізм забезпечує локальне внесення сухих мінеральних добрив у гранулах. Потрапляючи безпосередньо в рядки, поживні речовини створюють сприятливе середовище для розвитку молодих пагонів на початкових етапах вегетації, що значно підвищує врожайність.

Додаткова універсальність обладнання проявляється у здатності працювати з іншими культурами, наприклад: гречка та просо, сорго та інші технічні рослини.

Головною умовою для їх успішного висіву є схожість морфологічних ознак насіння (розмір, сипкість) та ідентичні з зерновими норми витрат посівного матеріалу на одиницю площі.

Для досягнення еталонної якості загортання та рівномірності сходів, експлуатація сівалки має відбуватися на полях, що пройшли відповідну передпосівну підготовку. Ґрунт повинен бути вирівняним та мати структуру, яка відповідає чинним агротехнічним нормам.

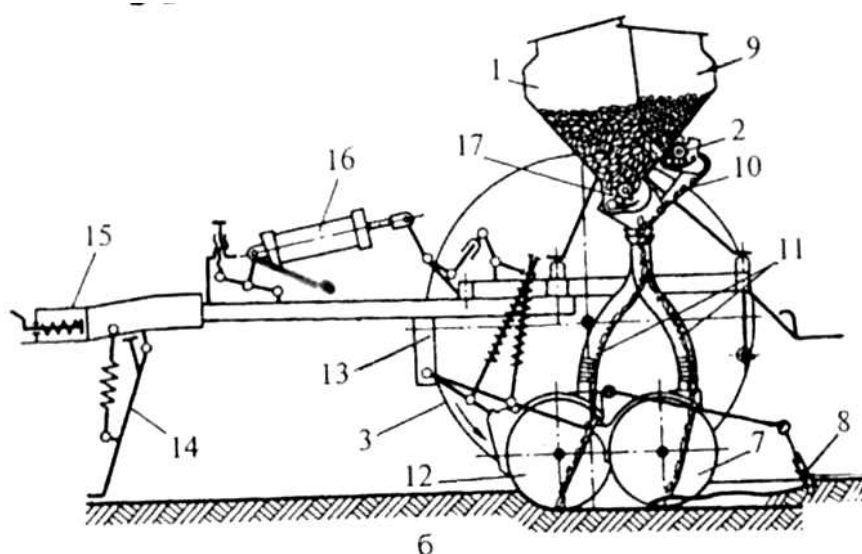
Сучасна конструкція апарата дозволяє суттєво підвищити темпи польових робіт. Завдяки високій динамічній стабільності, машина здатна функціонувати

на швидкостях до 15 км/год, не втрачаючи при цьому точності дозування та глибини посіву.

Це дозволяє аграріям ефективніше використовувати сприятливі погодні "вікна" та завершувати посівну кампанію у стислі терміни.



a



б

Рис. 2.1. Зернотукова сівалка СЗ-3,6А: *а* – загальний вигляд; *б* – функціональна схема; 1 – зернотуковий ящик; 2 – висівний апарат для туків; 3 – опорно-приводне колесо; 4 – коробка передач; 5 – підніжна дошка; 6, 14 – підставки; 7 – сошник задній; 8 – загортач; 9 – відділення бункера для добрив; 10 – лоток; 11 – насіннєпроводи; 12 – сошник передній; 13 – рама; 15 – причіпний пристрій; 16 – гідроциліндр; 17 – насіннєвисівний апарат

СЗ-3,6А є причіпною зернотуковою сівалкою, гідрофікованою, і агрегатується з тракторами тягового класу 9 кН (0,9 тс) (Т-40/40А, Т-50/50А),

класу 14 кН (1,4 тс) (МТЗ-50/52Л, МТЗ-80/80Л, МТЗ 82/82Л. ЮМЗ-6Л/6М, Т-80А, Т-100АВ) в односівалкових агрегатах і з тракторами класу 30-50кН (3-5тс) (ДТ-75, Т-74, Т-125, Т-150, Т-150К, Т-4/4А, К-700) в широкозахватних багатосівалкових агрегатах з гідрофікованими зчіпками.

Принцип роботи сівалки СЗ-3.6А

Конструкція зернотукового бункера для моделі СЗ-3.6А (рис. 2.1) базується на принципі функціонального поділу. В середині основного контейнера встановлена спеціальна перегородка, яка створює два ізольовані сектори: фронтальний (для завантаження зерна) та тиловий (для мінеральних гранул).

Ця перегородка не є глухою - вона має технологічні вікна, що за потреби відкриваються. Це дає аграрію можливість трансформувати весь об'єм бункера виключно під посівний матеріал, якщо внесення добрив не передбачено техпроцесом. Герметичність та захист вмісту від вологи забезпечують дві надійні відкидні кришки.

Робота посівного агрегата починається з моменту руху трактора. Опорно-приводні колеса (3) передають крутний момент через систему ланцюгів та зірочок (4) на робочі вали. Обертання валів активує насіннєві (17) та туковисівні (2) механізми. Котушки захоплюють потрібну кількість матеріалу. Зерно та добрива потрапляють у гофровані гумові трубопроводи (11), які завдяки своїй гнучкості забезпечують безперебійне подавання навіть під час вібрацій. Суміш спрямовується безпосередньо до дводискових сошників (7, 12).

Внутрішня конструкція сошника включає спеціальні напрямні пластини. Вони гарантують, що насіння та поживні гранули ляжуть саме на щільне дно борозни, яке прорізають диски. Процес засипання відбувається у два етапи.

Стінки борозни природним чином обсіпаються під власною вагою одразу після проходження диска. Спеціальні загортувачі (8) вирівнюють поверхню та створюють пухкий верхній шар ґрунту, що важливо для збереження вологи.

Технічні та експлуатаційні параметри: ширина захвату - 3,6 метра, глибина загортання від 40 до 80 мм, місткість відсіку зернового - 453 дм³, а тукового - 212 дм³, максимальна швидкість - 12 км/год, продуктивність - до 3,6 га/год.

Для досягнення необхідних результатів посіву передбачено кілька рівнів регулювання.

Можна змінювати як швидкість обертання вала, так і «робочу довжину» котушки (чим більша частина котушки задіяна, тим вища норма).

Дозування добрив коригується заслінками та частотою обертів висівних вузлів.

Глибина ходу сошників виставляється центральним гвинтовим регулятором. При цьому стабільність «тримання горизонту» в ґрунті забезпечується пружинними амортизаторами на кожній штанзі, які притискають сошник до землі з необхідним зусиллям.

Правильне налаштування натискних пружин особливо важливе на нерівних полях або ґрунтах з різною щільністю, щоб уникнути «стрибків» сошників.

Сьогодні господарства змушені працювати з широким спектром культур - від дрібнонасінних (ріпак) до зернобобових. Оптимізація параметрів котушки дозволяє створити універсальний апарат, який легко переналаштовується, що зменшує витрати на переоснащення парку техніки.

2.2. Специфіка конструкцій котушкових висівних апаратів

У сучасному сільськогосподарському машинобудуванні - як вітчизняному, так і закордонному - найбільш затребуваними залишаються котушкові висівні пристрої. Найпоширенішими поширення є моделі, де передбачено механічне зміщення або переставляння. Ключові переваги: конструктивна простота (мінімум складних деталей полегшує обслуговування), надійність (стабільна робота навіть у складних польових умовах), універсальність (здатність ефективно працювати з різними типами насіннєвого матеріалу), точність дозування (підтримка стабільного обсягу висіву протягом усього циклу).

Попри ці плюси, існують і певні технологічні недосконалості (наприклад, ймовірність механічного пошкодження зерна або пульсація потоку), над усуненням яких постійно працюють інженерні групи та науковці.

Різноманіття культур - від зернових і бобових до дрібнонасінних трав та овочів - вимагає від техніки особливої гнучкості. Оскільки кожна культура має свої фізико-механічні параметри (плинність, розмір, крихкість), конструктори впроваджують точкові модифікації в апарати. Це дозволяє оптимізувати процес висіву для насіння, що має схожі габарити чи сипкість.

Головним завданням будь-якого такого механізму є точне регулювання норми висіву. Цей показник має змінюватися у досить широких межах, підлаштовуючись під специфіку культури, особливості ґрунту та конкретні кліматичні зони.

За способом коригування кількості насіння, що подається в сошник, висівні апарати поділяють на два основні типи:

1. Апарати зі незсувною катушкою. У таких системах кількість висіяного зерна змінюється виключно шляхом коригування частоти обертання робочого вала. Це вимагає встановлення на сівалку багатоступеневої та доволі складної коробки передач (редуктора), що здорожує конструкцію.

2. Апарати з зсувною катушкою. Тут обсяг висіву регулюється переважно через зміну активної довжини катушки (її робочої частини, що контактує з зерном). Додатково може змінюватися і передавальне відношення від приводних коліс. Саме завдяки поєднанню простоти налаштування та ефективності, моделі зі зсувними катушками стали стандартом для більшості сучасних сівалок.

Вибір конкретної моделі апарата безпосередньо впливає на рівномірність розподілу рослин по площі поля, що є фундаментом майбутньої врожайності.

Для того, щоб підвищити універсальність сівалки моделі СЗ-3,6А та забезпечити високу якість посіву, конструкцію її висівного апарата було вдосконалено. Зокрема, у систему впровадили регульований клапан. Його позицію відносно робочого органа налаштовують індивідуально, орієнтуючись на геометричні параметри насіння, яке використовується в конкретний момент.

Головним функціональним вузлом такого механізму є катушка. Світова та вітчизняна практика агроінженерії підтверджує, що найбільш ефективними є

жолобчасті моделі. Стандартна конфігурація для роботи зі злаковими, бобовими або травами зазвичай передбачає наявність дванадцяти заглиблень. Ці жолобки мають циліндричний профіль із радіусом кривизни від 5 до 5,8 мм. Оптимальний зовнішній діаметр деталі, що дозволяє витримувати необхідні норми висіву, становить 50 мм.

Попри популярність, класична жолобчаста конструкція має суттєвий технологічний недолік - переривчастість (порційність) подачі. Щоб досягти максимальної рівномірності потоку зерна, конструктори розробили низку альтернативних модифікацій:

Котушки зі зміщеними жолобками (12-канальні моделі, де заглиблення зсунуті на половину або третину кроку) дозволяють зробити висів більш рівномірним, проте це значно здорожує процес виробництва деталей.

Використання спіралеподібних жолобків дозволяє сформувати майже безперервний зерновий струмінь. Це один із найкращих варіантів за якістю роботи, хоча він є найскладнішим у технічному виконанні.

Поєднання стандартної катушки з рифленими кільцями (розташованими з боку муфти). Комбіноване рішення покращує точність дозування дрібного насіння, але помітно ускладнює архітектуру всього апарата.

Спеціалізовані малі катушки мають зменшений зовнішній діаметр (34,7 мм) та невеликий радіус каналу (3,7 мм). Вони розроблені спеціально для роботи з дрібнонасінними культурами.

Штифтові (зубчасті) катушки мають робочі елементи розташовані в шаховому порядку, а робоча довжина зазвичай залишається незмінною. Такі апарати є надзвичайно популярними в країнах Європи для висіву зернових. За потреби їх можна замінити на спеціальні змінні модулі для великих або дуже дрібних фракцій. Якщо ж зубці розташовані рядами, такі механізми часто застосовуються у вітчизняних комбінованих агрегатах для внесення мінеральних добрив.

Жолобки трикутної форми забезпечують краще захоплення та подачу дуже дрібного сипучого матеріалу.

Варіант з одинарним спіральним елементом, який найкраще підходить для точного розподілу насіння овочів або кормових коренеплодів.

Кожна з цих модифікацій дозволяє адаптувати стандартну сівалку під конкретні агротехнічні умови, мінімізуючи пропуски та забезпечуючи стабільну площу живлення для майбутніх рослин.

Однією з головних перешкод на шляху до ідеального висіву є відсутність багатофункціональності катушкових систем. На практиці кожен окремий тип катушки демонструє високу точність лише для обмеженого переліку культур. Це змушує аграріїв підбирати обладнання під конкретний посівний матеріал, що робить розробку єдиної, універсальної катушки стратегічно важливим завданням для сучасних інженерів-конструкторів.

У висівних механізмах із можливістю налаштування важливу роль відіграють муфти. Їхнє основне призначення - герметизація внутрішнього простору корпусу та відсікання потоку зерна в тих зонах, де робоча довжина катушки була зменшена.

Поверхня муфти зазвичай має плавні, криволінійні обриси для мінімізації тертя. Для запобігання небажаному обертанню разом із валом, на корпусі муфти розташовують від одного до трьох напрямних виступів-стопорів. Зовнішній вигляд і внутрішня структура муфти визначаються виключно типом і призначенням конкретного висівного пристрою.

Конструкція муфти адаптується під напрямок руху насіння всередині апарата:

1. Комбіновані системи (верхній та нижній висів) використовують муфти подовженої форми, оснащені одним ребром, що розташоване на вихідному отворі.

2. Системи виключно нижнього висіву - найбільш ефективною вважається модель із двома функціональними виступами. Перший елемент знаходиться на вході, утримуючи насіння від «спливання» у верхню частину корпусу. Другий розташований на виході, що дозволяє уникнути самовільного витікання зерна під дією гравітації.

Наявність конструктивних виступів у зоні активного переміщення зерна, де працюють жолобки котушки, створює ризик механічного травмування насіння. Дроблення посівного матеріалу знижує його якість та загальну врожайність.

Аналіз існуючих технічних рішень свідчить про надмірну різноманітність форм і типорозмірів робочих органів. Велика кількість унікальних модифікацій котушок та муфт створює певні труднощі: у виробництві (важче налагодити масовий випуск однотипних деталей), у логістиці та ремонті (пошук специфічних комплектуючих для конкретної моделі сівалки часто забирає багато часу), в експлуатації (технічне обслуговування парку машин стає дорожчим через відсутність взаємозамінності елементів).

Таким чином, уніфікація деталей висівних апаратів залишається одним із найголовніших завдань для підвищення рентабельності агротехніки.

2.3. Методи дослідження висівних апаратів

В історичному розрізі становлення наукових методів аналізу першочергову увагу слід приділити методиці плоского висіву. Цей інноваційний на той час підхід був вперше запропонований видатним вченим В.П. Горячкіним як основний інструмент для детального вивчення функціонування висівних систем.

Розвиваючи ці ідеї, дослідник М.Х. Пигулевський вніс суттєві корективи в експериментальну базу: він замінив липке покриття спеціальними ваннами, заповненими рідиною високої щільності. Таке середовище дозволяло миттєво «гасити» швидкість насінини, що падає, фіксуючи її точне положення без відскоку.

Вагомий крок у розумінні динаміки посіву зробили М.Х. Пигулевський та І.С. Блашко. Вони запровадили метод фіксації переміщень ґрунту для визначення того, як саме розподіляється насіння всередині борозни. Цей підхід дозволяє відстежити не лише момент падіння зерна, а й оцінити вплив конструкції

сошників на кінцевий результат. Методика дає змогу вивчити ефект «розкочування» насіннєвого матеріалу вздовж рядка, що є критичним для забезпечення рівномірної площі живлення рослин.

Окрім польових експериментів, в агроінженерії активно застосовуються лабораторні установки та спеціалізовані ґрунтові канали. Зокрема, О.М. Карпенко впровадив практику тестування техніки на стендах, де насіння з апарата спрямовувалося на різні типи контрольних поверхонь:

1. Липкі стрічки, що миттєво зупиняють зерно.
2. Контрастні порошки, які полегшують візуалізацію та вимірювання.
3. Комірчасті структури, що імітують певні властивості ґрунту.

Такі прийоми стали стандартом для науково-дослідних інститутів та державних машиновипробувальних станцій.

Створення лабораторної моделі, яка з високою точністю відтворює реальну конструкцію, відкриває широкі можливості для глибокого вивчення складних процесів. У моделях зазвичай відсутні другорядні елементи, які не впливають безпосередньо на об'єкт дослідження. Стендові випробування висівних механізмів фактично є експериментами над моделлю.

Завдяки обґрунтованим спрощенням конструкції, вчені можуть оперативно перевіряти нові теоретичні гіпотези та знаходити оптимальні геометричні параметри для майбутніх машин.

2.4. Напрями оптимізації конструкції

Напрями оптимізації параметрів катушкового апарата для висіву зерновою сівалкою наведені в таблиці 2.1 [12].

Таблиця 2.1 - Напрями оптимізації параметрів катушкового апарата для висіву зерновою сівалкою

№	Напрями	Результати	Сутність
1	2	3	4
1	Вплив робочої довжини катушки	Регулювання норми висіву	Зміна активної робочої довжини катушки є основним способом налаштування витрат насіння

1	2	3	4
		Мінімальна довжина	Необхідно враховувати, що за надто малої робочої довжини збільшується нерівномірність висіву («пульсація»), оскільки насіння подається окремими порціями між жолобками
2	Швидкість обертання та кінематичний режим	Уникнення пошкоджень	Збільшення частоти обертання котушки дозволяє зменшити її робочу довжину для тієї ж норми, але це підвищує ризик механічного травмування зерна
		Лінійна швидкість	Оптимальною вважається швидкість, при якій відцентрові сили не перешкоджають заповненню жолобків насінням
		Передаточне відношення	Вибір правильного передаточного числа редуктора дозволяє котушці працювати в діапазоні середніх обертів, що мінімізує пульсацію потоку
3	Геометрія жолобків котушки	Об'єм жолобка	Параметри жолобка мають відповідати фракційному складу насіння (довжина, ширина, глибина), щоб уникнути защемлення зернин
4	Налаштування зазору клапана (скидача)	Запобігання дробленню	Зазор між нижнім краєм котушки та клапаном має бути встановлений відповідно до розміру насіння
5	Фізико-механічні властивості насіння	Сипучість та вологість	Оптимізація параметрів повинна враховувати кут природного укусу та коефіцієнт тертя насіння об матеріал котушки (полімер або чавун)
		Заповнюваність	Ефективність висіву залежить від того, наскільки повно насіння заповнює міжжолобковий простір під дією гравітації

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1. Постановка питання та завдання дослідження

Аналіз існуючих технологій посіву вказує на критичну проблему, яка потребує глибокого вивчення пульсації насіннєвого потоку. Це явище безпосередньо зумовлене геометрією жолобків стандартної катушки, що призводить до циклічних коливань інтенсивності висіву. Така нерівномірність суттєво погіршує якість функціонування апарата, створюючи зони з надмірною густотою або, навпаки, пропуски в рядку.

Тому метою роботи є вивчення, ґрунтуючись на даних експериментальних досліджень, фундаментальних закономірностей процесу дозування.

Експериментальний підхід дозволить визначити оптимальні конструктивні параметри та швидкісні режими, які забезпечать еталонну рівномірність розподілу зерна за площею живлення при рядовому методі сівби.

Для реалізації наміченої мети було сформульовано конкретні науково-практичні завдання:

Проведення комплексних випробувань технологічного циклу роботи катушкового висівного апарата.

Мінімізація ефекту пульсації зернового струменя (зокрема, при роботі з пшеницею).

Оптимізація структури рядка для підвищення однорідності розташування кожної окремої насінини.

3.2. Обґрунтування швидкостей насіння в активному шарі

Швидкості пошарового руху насіння в активному шарі пропорційні до окружної швидкості катушки. Початкова швидкість активного шару це швидкість робочої поверхні катушки V_k , а залежність між швидкістю елементарного одиничного активного шару v і відстанню C від катушки можна

виразити похідною $\frac{dv}{dC}$, а з урахуванням загасання швидкості

$$\frac{d\nu}{dC} = -b_0\nu \quad (3.1)$$

де b_0 – коефіцієнт пропорційності, що враховує фізико-механічні властивості насінин.

Знак мінус показує, що зі збільшенням відстані від котушки швидкість одиничного активного шару зменшується.

Розділивши змінні у рівнянні

$$\frac{d\nu}{\nu} = -b_0 dC \quad (3.2)$$

і проінтегрувавши отримане вираз, отримаємо

$$\ln \nu = -b_0 C + B \quad (3.3)$$

з початкових умов при $C=0$ знаходимо, що $B = \ln \nu_\kappa$

Тоді

$$\ln \frac{\nu}{\nu_\kappa} = -b_0 C$$

або

$$\nu = \nu_\kappa e^{-b_0 C} \quad (3.4)$$

Тобто зміна швидкості за товщиною активного шару носить експоненціальний характер. Для розрахунку швидкостей активного шара по виразу (3.4) необхідно експериментально визначити значення коефіцієнта пропорційності b_0 .

3.3. Установка та методика експериментальних досліджень

Ефективне вирішення поставлених питань вимагало створення надійної методичної та інструментальної бази. Для цього було розроблено спеціалізовану програму досліджень та підготовлено відповідний вимірювальний прилад.

Варто зауважити, що через відсутність серійного випробувального обладнання з необхідним функціоналом, нами була спроектована та виготовлена оригінальна експериментальна установка. Цей стенд дозволяє:

1. Фіксувати динамічні зміни в потоці насіння з високою дискретністю.
2. Гарантувати прецизійну точність отриманих метрик.
3. Моделювати різні експлуатаційні умови, що важко відтворити в польових реаліях.

Використання нестандартного обладнання у подібних дослідженнях дозволяє виключити похибки, характерні для зношеної техніки, та зосередитися виключно на фізиці процесу взаємодії котушки з насінневою масою.

3.3.1. Програма та методологія експериментального пошуку

Програма експериментальних досліджень, розроблена відповідно до ключових цілей роботи, зосереджена на детальному аналізі механізмів виникнення дистанцій між зернинами у посівній борозні. Дослідження базується на гіпотезі, що конфігурація цих інтервалів безпосередньо зумовлена фізичними характеристиками насінневого потоку, який формується котушковим апаратом.

Для отримання об'єктивної картини функціонування апарата було виділено перелік пріоритетних факторів, що підлягають контролю та варіюванню: кутова швидкість обертання котушки, ω_1 ; величина вільного зазору між котушкою та висівним клапаном, C_1 ; розмір активної (робочої) частини елемента, що входить у контакт із зерном (довжина котушки), L_k ; задана інтенсивність подачі (нормування висіву на одиницю площі), Q .

Діапазони зміни цих показників визначаються стандартними експлуатаційними межами, проте за потреби вони можуть бути розширені для вивчення граничних режимів роботи техніки.

Для побудови точних графічних та математичних моделей впливу кожного фактора, у межах обраного діапазону призначається мінімум п'ять рівнів

варіювання. Такий підхід дозволяє виявити не лише лінійні залежності, а й складніші закономірності (екстремуми, зони нестабільності).

Організація експериментів має багатофакторний характер. Залежно від складності завдання, планування здійснюється за однією з двох методологій: Класична схема як послідовне вивчення кожного чинника окремо. Факторний дизайн як одночасне варіювання кількох змінних для виявлення ефекту їхньої взаємодії.

Кількість повторень кожного окремого дослідження визначається індивідуально. При цьому враховуються характеристики вимірювальних приладів, ступінь розсіювання даних та необхідна глибина аналізу ознаки.

Особлива увага приділяється поздовжній рівномірності розташування насіння. Для того, щоб результати вважалися науково обґрунтованими, поріг статистичної достовірності (довірча ймовірність) встановлено на рівні не менше 0,95. Це означає, що похибка вимірювань не повинна перевищувати 5%, що є золотим стандартом для агроінженерних досліджень.

3.3.2. Опис об'єкта дослідження

За програмою дослідження як об'єкт дослідження обрано виробничий котушковий висівний апарат зернотукової сівалки СЗ-3,6А та експериментальний висівний апарат (рис. 3.1).

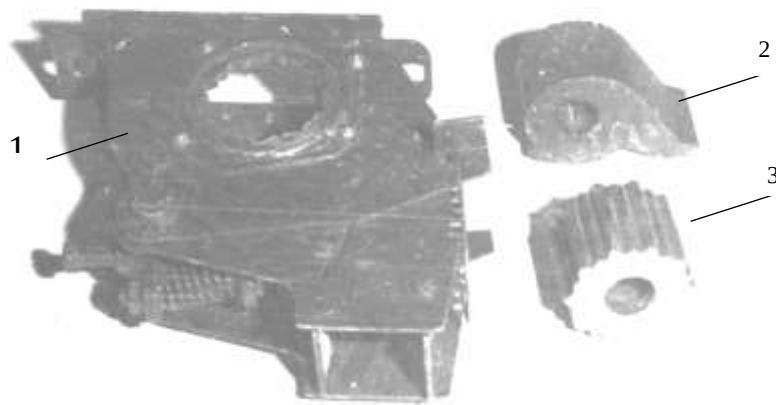


Рис. 3.1. Експериментальний висівний апарат: 1 – висівний апарат, 2 – клапан, 3 – катушка

3.3.3. Установка для визначення дозуючої здатності висівних апаратів та рівномірності розподілу насіння в рядку

У зв'язку з відсутністю стандартного обладнання для визначення рівномірності дозуючої здатності апаратів, їх продуктивності та рівномірності розподілу насіння в рядку був створений прилад (рис. 3.2).

Для детального вивчення того, як насіння розподіляється вздовж рядка, у науковій практиці часто застосовують спеціалізовані стенди з клейкою стрічкою. Такий підхід дозволяє миттєво фіксувати положення зернин, виключаючи їхнє подальше кочення чи відскок, що критично важливо для точності експерименту.

Особливістю сучасної малогабаритної установки є здатність проводити вимірювання на значних дистанціях (від 5 до 15 метрів), незважаючи на те, що фізична довжина робочої частини конвеєра складає лише 1,3 метра. Цей ефект безперервного зняття показників реалізовано завдяки комбінації пневматичних та оптичних систем.

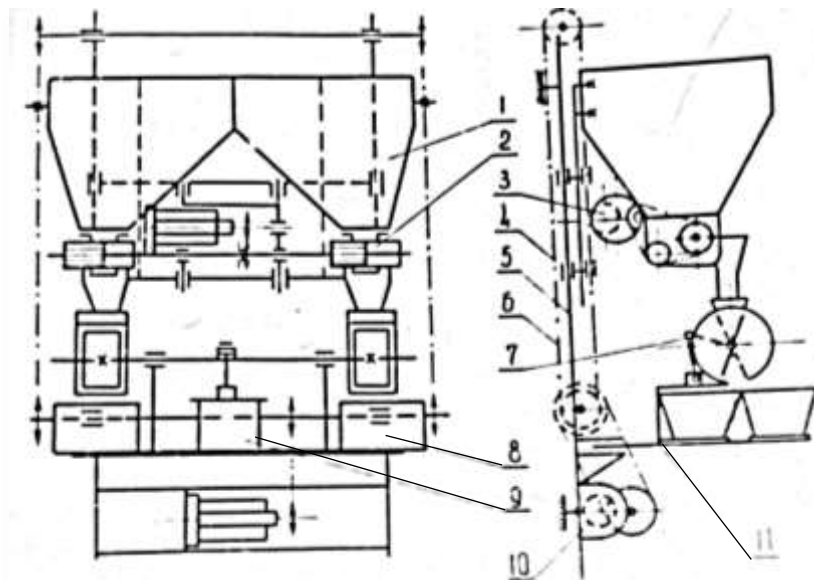


Рис. 3.2. Схема експериментальної установки для випробування роботи висівних апаратів: 1 – бункер, 2 – висівний апарат, 3 – привід, 4 – рухома рамка, 5 – рама, 6 – ланцюг підйому бункера, 7 – пробовідбірник, 8 – ємність, 9 – електромагніт, 10 – механізм підйому бункера, 11 – легкозйомна плита

У точці перегину стрічки потужний потік повітря всмоктує насіння, звільняючи поверхню для нового циклу. При цьому клейкий шар зберігає свої адгезійні властивості для наступних зернин.

Автоматизована фотокамера здійснює послідовну зйомку метрових фрагментів. Система налаштована так, що межа попереднього кадру стає початком наступного, що дозволяє отримати безперервну візуальну модель висіву.

Апарат автоматично припиняє роботу після того, як буде зафіксовано заплановану кількість ділянок (5, 10 або 15 одиниць).

Швидкість руху полотна можна гнучко змінювати в межах від 1,2 до 3,6 м/с. Це досягається за допомогою п'ятиступеневої коробки швидкостей, яка дозволяє швидко перемикає режими, а також змінних шківів у системі клинопасової передачі для більш точного підстроювання під конкретну агротехнічну швидкість.

Для визначення необхідної довжини ділянки стрічки, що підлягає фотографуванню (l), використовується математична залежність:

$$\frac{l}{\pi \cdot D} = \frac{d_2}{d_1},$$

де l – довжина ділянки для фотофіксації, м ($l = 1$ м);

D – діаметр відомого барабана конвеєра (з урахуванням товщини полотна), м;

d_1 – діаметр ведучого диска системи активації апарата, м;

d_2 – діаметр відомого диска системи автоматичного ввімкнення, м.

Для забезпечення наукової достовірності результатів довжина контрольної ділянки повинна відповідати шляху, який проходить агрегат за один повний цикл роботи висівного органу (один оберт катушки). Ця величина обчислюється за формулою:

$$l_z = V_c \frac{2 \cdot \pi}{\omega_k},$$

де l_z – фактична довжина залікового шляху, м;

V_c – лінійна швидкість переміщення стрічки транспортера, м/с;

ω_k – кутова швидкість обертання висівної катушки, рад/с.

Впровадження пневматичного знімача насіння у поєднанні з автоматичною фотофіксацією дозволяє дослідникам автоматизувати процес документування розташування кожної зернини, отримувати дані на великих відрізках рядка, що підвищує репрезентативність вибірки, мінімізувати людський фактор та випадкові помилки, що виникають при ручному вимірюванні інтервалів.

3.3.4. Методика проведення та обробка дослідних даних при визначенні рівномірності висіву апаратами

Для об'єктивної оцінки стабільності дозувальної функції робочих органів висівних систем застосовують методику контрольних замірів, що базується на фіксації результатів за 5, 10 чи 15 повних циклів обертання катушки. Для збору матеріалу використовують прецизійні електромагнітні пристрої (пробовідбірники), а кожна серія випробувань передбачає обов'язкове п'ятикратне дублювання для мінімізації випадкових похибок.

У ході експериментів встановлюється кореляція між якістю висіву та низкою конструктивно-технологічних параметрів таких як довжина робочої частини катушки, що безпосередньо контактує з насінням, частота (швидкість) обертання катушки, величина зазору на виході з камери апарата, фізичні властивості конкретного виду насіння (розмір, сипкість, тертя), профіль та форма заглиблень (жолобків) катушки тощо.

Отримані зразки насіння зважують на лабораторних вагах із точністю до 0,1 г, після чого масиви даних піддають глибокій обробці методами

математичної статистики для виявлення середніх відхилень та коефіцієнтів варіації.

Для рівномірності розподілу насіння вздовж рядка в лабораторних умовах застосовано транспортний пристрій з липкою стрічкою на робочу поверхню, якою виробляється висів насіння.

Для перенесення результатів лабораторних тестів у реальні польові умови необхідно формалізувати продуктивність апарата.

Спершу розраховується секундна продуктивність за формулою:

$$q_{(сек)} = \frac{q_{(10)}}{t_{к(10)}},$$

де $q_{(10)}$ – сумарна маса насіння, висіяного за десять залікових обертів, г;

$t_{к(10)}$ – тривалість здійснення цих десяти обертів, с.

На основі цього показника визначається норму висіву на гектар (Q):

$$Q = \frac{q_{(сек)} \cdot 10^3}{b \cdot V_m},$$

де b – ширина міжрядь, см;

V_m – розрахункова швидкість руху машини (або імітаційна швидкість стрічки транспортера), м/с.

Для забезпечення наукової об'єктивності при зіставленні різних типів апаратів необхідно дотримуватися принципу ідентичності умов. Ключовою вимогою є забезпечення однакової секундної продуктивності при рівних значеннях робочої довжини катушок.

Якщо геометричні параметри активної зони катушок ідентичні, але конструкція самих апаратів відрізняється, вирівнювання їхньої продуктивності здійснюють шляхом коригування передавального відношення у приводному механізмі. Це дозволяє виключити вплив довжини катушки на рівномірність розподілу та зосередитися виключно на аналізі ефективності самої конструкції робочого вузла.

Такий підхід гарантує, що будь-яка зафіксована різниця у рівномірності посіву буде наслідком саме конструктивних особливостей апарата, а не побічним ефектом різних обсягів висіяного матеріалу.

Вплив швидкості обертання катушки на рівномірність розподілу насіння в рядку визначається при постійній довжині катушки, постійному передаточному відношенні та рівності норм висіву, що досягається відповідною зміною швидкості стрічки транспортера. Час десяти обертів катушки, необхідний для налаштування приладу у цьому разі визначимо по виразу:

$$t_{\kappa(10)} = \frac{q_o \cdot 10^4}{b \cdot V_m \cdot Q}.$$

Цей вираз можна замінити з врахуванням відбору насіння за κ обертів катушки

$$t_{\kappa(10)} = \frac{q_o \cdot 10^4}{\kappa \cdot b \cdot V_m \cdot Q}.$$

Вплив робочої довжини катушки можна визначити при $t_{\kappa(10)} = \text{const.}$

Оскільки продуктивність висівного апарата пропорційна довжині робочої частини катушки, знаходимо L_1 через відношення

$$L_1 = \frac{L}{q_{(\kappa)}} \cdot q'_{(\kappa)}.$$

Вплив норми висіву визначається при різних швидкостях стрічки транспортера, при L_{κ} та $\omega_{\kappa} = \text{const.}$

$$Q = \frac{q_{\kappa} \cdot 10^4}{\kappa \cdot t_{\kappa(10)} b \cdot V_m}.$$

Обробка отриманого числового ряду інтервалів між насінням проводиться загальноприйнятими методами математичної статистики. При цьому визначаються наступні показники:

Середньоарифметична відстань

$$\bar{X} = \frac{l_p}{b},$$

де l_p – залікова довжина рядка, см;

b – кількість інтервалів на заліковій довжині рядка.

Середньоквадратичне відхилення

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta_1^2}{b}}.$$

Коефіцієнт варіації

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \cdot 100\%.$$

3.4. Вплив різних факторів на розподіл насіння в рядку

Головним завданням наукового пошуку стало виявлення ступеня впливу різноманітних технологічних чинників на стабільність розміщення зернин у рядку. Експерименти проводилися на лабораторному стенді, де імітувався висівний процес сівалки СЗ-3,6А з використанням липкого транспортера: активна лінійна величина (довжина) катушки, встановлена норма висіву та кутова швидкість обертання катушки, спільний вплив гофрованих трубок (насіннєпроводів) та дводискових сошників.

Застосована методика базувалася на принципі виключення, що дозволило ізолювати дію кожного фактора та оцінити його індивідуальний внесок. Для отримання статистично значущих даних використовувалася десятиметрова контрольна ділянка. Кожен метр траєкторії руху стрічки підлягав послідовній фотофіксації, після чого отримані зображення аналізувалися за допомогою автоматизованого класифікатора інтервалів.

За результатами обробки даних, наведених у звітних таблицях 3.1, 3.2, 3.3, можна виділити кілька ключових закономірностей:

Таблиця 3.1 - Вплив робочої довжини котушки L_k апарата сівалки СЗ-3,6А на рівномірність розподілення насіння пшениці в рядку

$$\omega_k = 1,7 \text{ рад/с}; C_{\min} = 10 \text{ мм}; H_T = 140 \text{ мм}$$

L_k , мм	V_{mp} , м/с	b , шт.	l , м	Q , кг/га	$\bar{X}$, см	σ , см	V , %
1	2	3	4	5	6	7	8
9,62	2,02	224	7,116	80	3,18	3,15	99
12,12	2,56	210	7,223	75	3,44	3,548	101
12	1,25	512	10,3	140	2,01	2,07	103
13,5	1,51	412	7,37	150	1,79	1,87	104,5
16	1,75	517	10,25	140	1,99	1,95	98
18	2,02	477	8,432	150	1,77	1,82	102
20,4	2,28	599	10,12	155	1,69	1,69	99,4
22,8	2,56	410	7,346	150	1,79	1,75	98
19,8	1,51	572	7,4	220	1,29	1,29	100
26,5	2,02	568	7,39	220	1,3	1,29	99,5

- варіювання робочої довжини котушки в межах 9–26 мм (за умови незмінної кутової швидкості та норми) не призвело до суттєвих коливань коефіцієнта варіації, яким оцінюється поздовжня рівномірність насіння в рядку. Це підтверджує припущення про те, що довжина робоча котушки при $L_k \geq 4d_c$ впливає на поздовжню рівномірність висіву. Зафіксовані незначні відхилення (у межах $\pm 2,5\%$) пояснюються супутніми похибками при регулюванні висівного апарата на норму висіву.

- зміна норми висіву насіння в діапазоні від 80 до 250 кг/га (табл. 3.2) при сталості кутової швидкості котушки і робочої довжини не істотно впливає на рівномірність розподілу зернин в рядку. Але за наведеними даними спостерігався певний розкид статистичних показників, незважаючи на ретельність підготовки і проведення експерименту;

- збільшення кутової швидкості котушки (табл. 3.3) при однаковій нормі висіву і сталості робочої довжини котушки дещо покращує рівномірність зернового потоку вздовж рядка. Проте більший вплив у малому діапазоні зміни

кутової швидкості котушки надають неточності проведення експерименту, це не дозволяє вловити позитивного впливу ω_k .

Таблиця 3.2 - Вплив норми висіву апарата сівалки СЗ-3,6А на рівномірність розподілення насіння пшениці в рядку

$$\omega_k = 1,7 \text{ рад/с}; C = 10 \text{ мм}; H_T = 140 \text{ мм}; L_k = 18 \text{ мм}$$

Q , кг/га	V_{mp} , м/с	b , шт.	l , м	$\bar{X}$, см	σ , см	V , %
250	1,25	881	10,15	1,15	1,16	101
207	1,51	643	8,224	1,28	1,26	98,5
170	1,75	617	10,01	1,62	1,64	101
150	2,02	477	8,432	1,77	1,82	102
122	2,56	386	8,422	2,18	2,12	97,3

Найбільш виражений позитивний ефект спостерігається при одночасному збільшенні частоти обертання та норми висіву. У такому разі коефіцієнт варіації знижується зі 115 до 87%, що стало помітно завдяки розширенню діапазону зміни ω_k . Однією з найбільш суттєвих причин підвищення рівномірності зі збільшенням кутової швидкості ω_k є зменшення ймовірності виникнення "порожніх" зон (великих інтервалів) між насінням у рядку.

Таблиця 3.3 - Вплив кутова швидкості котушки апарата сівалки СЗ-3,6А на рівномірність розподілення насіння пшениці в рядку

$$C = 10 \text{ мм}; L_k = 18 \text{ мм}; H_T = 140 \text{ мм}$$

ω_k , рад/с	V_{mp} , м/с	b , шт.	l , м	Q , кг/га	$\bar{X}$, см	σ , см	V , %
0,7	1,51	295	9,085	82	3,08	3,56	115,5
0,9	2,02	291	9,821	78	3,38	3,87	114,5
1,2	2,56	337	10,315	82	3,06	3,42	111,8
1,3	1,51	457	8,515	145	1,86	2,04	109,5
1,76	2,02	477	8,432	150	1,77	1,95	102
2,2	2,56	451	8,38	145	1,85	1,82	97,8
1,94	1,51	403	5,38	220	1,33	1,81	98,8
2,6	2,02	437	5,175	225	1,18	1,06	89
3,3	2,56	431	5,23	222	1,21	1,06	87,6

Виявлена у ході експериментів закономірність дозволяє сформулювати важливе припущення: інтенсифікація процесу виходу зерна з висівного робочого органа є ключовим фактором стабілізації інтервалів у рядку. Підвищення швидкості, з якою насіння покидає дозатор, сприяє покращенню поздовжньої рівномірності, за умови, що вплив другорядних чинників залишиться на контрольованому рівні або буде нейтралізований конструктивними рішеннями.

- використання вертикально орієнтованих гофрованих трубок та сошників із двома дисками (табл. 3.4) при висіві катушковим висівним апаратом забезпечує позитивний вплив на поздовжню рівномірність розподілу інтервалів між насінням в рядку. Зниження коефіцієнта варіації на величину до 10% порівняно з варіантом, де висів здійснювався безпосередньо з апарата на липку стрічку за однакових режимів його роботи. Різке зменшення коефіцієнта варіації при нормі висіву 220 кг/га було викликано утворенням у насіннєвому каналі дводискового сошника направляючої доріжки насінням, яке заклинило у місці контакту дисків.

Таблиця 3.4 - Вплив гофрованого насіннєпроводу та дводискового сошника на поздовжню рівномірність в рядку при висіві насіння пшениці апаратом сівалки

СЗ-3,6А при $V_{mp} = 1,51$ м/с; $C = 10$ мм; $H_T = 18$ мм

Наявність насіннєпроводу і сошника	Q , кг/га	ω , рад/с	b , шт.	l , м,	$\bar{X}$, см	σ , см	V , %
Є	70	0,72	189	7,792	4,11	4,365	106,5
	140	1,36	409	8,068	1,98	2,02	100,7
	210	1,99	550	8,042	1,46	1,04	71,5
Немає	82	0,7	295	9,085	3,08	3,56	115,5
	145	1,3	457	8,515	1,86	2,04	109,5
	220	1,94	403	5,38	1,3377	1,31	98,8

На основі спостережень за ефектом "доріжки" була розроблена та протестована модифікація: встановлення між дисками спеціальної криволінійної вставки. Цей елемент виконує роль стабілізатора, що забезпечує наступні переваги: насіння на виході із сошника рухається за чітко визначеним вектором,

скатна поверхня спрямовує зерно в напрямку, протилежному вектору поступального руху сівалки (це дозволяє мінімізувати горизонтальну інерцію насінини відносно ґрунту, що практично виключає її відскок та розкочування).

Навіть при мінімальному шарі адгезійної (липкої) речовини на поверхні, насіння надійно фіксується у проектній точці, що суттєво знижує показники нерівномірності, та значно зменшує значення коефіцієнта варіації.

Узагальнюючи масиви отриманих даних, можна зробити такі висновки:

1. Коефіцієнт варіації, як головний індикатор якості розподілу зерна вздовж лінії посіву, залишається стабільним при зміні активної довжини котушки (при $L_k > 4d_c$) і варіюванні загальної норми висіву за умови незмінної кутової швидкості обертання котушки.

Таким чином, для вдосконалення технологічного процесу слід зосередитися на оптимізації кінематичних режимів та вдосконаленні внутрішньої архітектури сошникових вузлів, оскільки просте маніпулювання об'ємними налаштуваннями не дає бажаного ефекту для підвищення рівномірності.

2. Інтенсифікація кутової швидкості обертання робочого котушкового елемента сприяє значному зниженню показника мінливості (коефіцієнта варіації) інтервалів між зернинами. Це пояснюється тим, що при вищих кутових швидкостях згладжується циклічна пульсація зернового потоку, яку спричиняють жолобки. Для практичної реалізації цього ефекту в конструкціях доцільно коригувати параметри трансмісійної системи, збільшуючи передаточні відношення від опорно-приводних коліс до валів висівних апаратів.

3. Еластичний гофрований насіннєпровід разом із вузлом дводискового сошника демонструють позитивну взаємодію, що покращує поздовжню рівномірність розміщення насіння котушковим апаратом. Особливої уваги заслуговує виявлений «ефект спрямувача» всередині сошника, який потребує додаткової верифікації в реальних польових умовах для підтвердження його ефективності на різних типах ґрунтів.

3.5. Поздовжня рівномірність розподілу насіння при висіві експериментальним апаратом

Дослідження поздовжньої рівномірності розподілу насіннєвого матеріалу при висіві експериментальним апаратом проводилося із використанням пшениці як основної культури. При цьому визначався вплив величини технологічного зазору між катушкою та регульованою заслінкою на рівномірність розподілу зернин в рядку, а також вплив гофрованого насіннєпроводу та дводискового сошника.

Показники якості ($\bar{X}, \sigma, V$), зафіксовані під час роботи нового висівного апарата, порівнювалися з даними серійної сівалки СЗ-3,6А, яка оснащена 24 аналогічними апаратами.

Випробування проходили за ідентичних зовнішніх умов, проте зі спеціальним налаштуванням кутових швидкостей катушок. Через те, що експериментальний зразок має зменшену площу жолобків та мінімізовані вихідні зазори, для підтримки необхідної секундної продуктивності було підвищено швидкість його обертання. Це дозволило зберегти звичний механізм регулювання норми висіву, притаманний серійним сівалкам. Швидкість імітаційного транспортера протягом усіх етапів залишалася статичною - 1,51 м/с.

Аналіз експериментальних даних (табл. 3.5) дозволив встановити чітку кореляцію між величиною вихідного зазору C_1 та якістю дозування. Скорочення зазору до певного критичного рівня позитивно позначається на рівномірності потоку.

Таблиця 3.5 - Апарат експериментальний. Висів насіння пшениці без насіннєпроводу та сошника

$Q=150$ кг/га; $L_k=18$ мм

C , мм	ω , рад/с	b , шт.	l , м	$\bar{X}$, см	σ , см	V , %
6	2,96	438	8,366	1,92	1,87	97,5
9	2,81	436	8,537	1,955	1,95	99,5
12	2,72	449	8,212	1,83	1,875	102,5

Вибір оптимальної відстані безпосередньо корелює з морфологічними ознаками культури. Для насіння пшениці найвищі показники якості було досягнуто при встановленні зазору в 6 мм. Таке налаштування запобігає як механічному травмуванню зерна, так і виникненню неконтрольованих "проривів" насіннєвої маси, що особливо важливо при роботі на високих швидкостях до 12–15 км/год.

Зіставлення підсумкових даних, які були зафіксовані для дослідної моделі (табл. 3.5) та стандартного апарата сівалки СЗ-3,6А (табл. 3.1) при встановленій нормі 150 кг/га, на перший погляд не виявляє фундаментальної переваги нової конструкції. Однак порівняння вихідних масивів даних щодо дистанцій між зернинами, які слугували базою для визначення $\bar{X}, \sigma, V$, свідчить про зменшення величини максимально великих інтервалів між насінням у всіх дослідах, що є можливим завдяки вищій окружній швидкості котушки експериментального апарата (рис. 3.3).

Використання в технологічному циклі гофрованого насіннепроводу та дводискового сошника (табл. 3.6) забезпечує помітне покращення показників рівномірності зернового потоку в рядку порівняно з прямим висівом із дозатора.

Проте найбільш вагоме покращення якості посіву спостерігається при впровадженні спеціального спрямовувача всередині каналу сошника, який забезпечує зміну траєкторії вильоту зерна на виході з каналу сошника таким чином, що вони при падінні мають напрямок швидкості руху клейкої стрічки. Це пояснюється стабілізацією траєкторії руху насіння безпосередньо перед «м'яким» укладанням на поверхню клейкої стрічки, що покращує показники $\bar{X}, \sigma, V$ (табл. 3.6).

Порівняльні дані по висіву насіння пшениці експериментальною і виробничою моделями приведені в таблиці 3.7.

Основна відмінність полягала у налаштуванні технологічних зазорів та адаптації геометрії до культури (табл. 3.8).

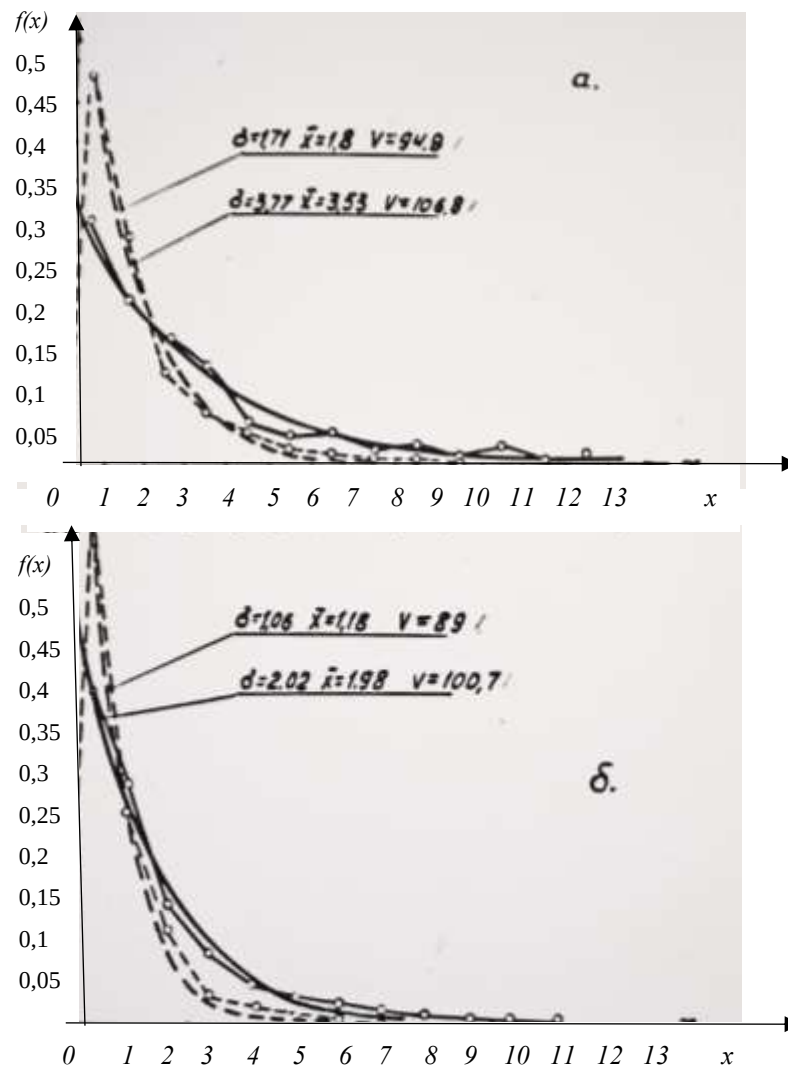


Рис. 3.3. Графіки частот розподілення інтервалів між насіннями пшениці:
а- експериментальний апарат, б – апарат сівалки СЗ-3,6А

Таблиця 3.6 - Апарат експериментальний. Висів насіння пшениці через
гофрований насіннепровід і дводисковий сошник

$C_1 = 9$ мм; $L_k = 18$ мм

Q , кг/га	ω , рад/с	b , шт	l , м	$\bar{X}$, см	σ , см	V , %
без спрямувача						
680	1,42	222	7,84	3,53	3,47	98,2
150	2,66	445	8,008	1,8	1,71	94,8
220	4,0	594	8,252	1,39	1,16	83,3
зі спрямувачем						
80	1,455	245	7,887	3,22	2,96	92
150	2,73	411	7,936	1,93	1,65	85,5

220	4	561	8,008	1,44	1,11	77
-----	---	-----	-------	------	------	----

Таблиця 3.7 - Висів насіння через гофрований насіннепровід та дводисковий

сошник при $L_k = 18$ мм

Апарат	Q , кг/га	ω , рад/с	b , шт.	l , м,	$\bar{X}$, см	σ , см	V , %
Експериментальний	110	2,12	401	7,896	1,97	1,828	92,75
	185	3,24	776	8,227	1,23	1,18	90,8
	270	4,69	935	8,222	0,823	0,713	86,6
Виробничий	110	1,03	408	8,114	1,99	1,988	99,8
	185	1,87	676	8,082	1,19	1,19	100
	270	2,83	746	7,87	1,055	1,018	96,5

Таблиця 3.8 - Підсумкові результати тестування насіння пшениці

Параметр порівняння	Експериментальний апарат	Серійний апарат (СЗ-3,6А)
Величина зазору	9 мм	11 мм (мінімально можливий)
Відповідність насінню	Повна оптимізація під пшеницю	Універсальний, але менш точний
Якість розподілу	Висока стабільність	Наявність розкиду через зазори

З наведених даних видно, що котушка експериментального апарата продемонструвала кращі результати при роботі з пшеницею. Це стало наслідком того, що параметри жолобків максимально відповідають середнім розмірам зернівки, мінімізуючи випадкове дроблення чи пропуски.

Таким чином, на підставі досліджень, що проведені, можна зробити такі висновки:

1. Використання експериментального апарата дозволяє досягти вищої точності в інтервалах між насінинами всередині борозни. Такий результат забезпечується формуванням зернового струменя, у якому всі частки мають максимально наближені одна до одної швидкості переміщення.

2. Оптимізація статистичних параметрів роботи стала можливою завдяки впровадженню спеціальної заслінки. Вона виконує роль «фільтра», механічно

відсікаючи периферійні шари насіння, які рухаються занадто повільно і зазвичай спричиняють нерівномірність висіву.

3.6. Вибір профілю робочої поверхні катушки та визначення параметрів жолобків

При виборі раціонального профілю робочої поверхні катушки та параметрів жолобків основними умовами є:

- зерновий потік, що виходить із пристрою, має бути стабільним, без різких стрибків інтенсивності;
- геометрія заглиблень повинна надійно утримувати насіння різних фракцій і форм у фіксованому стані під час транспортування всередині корпусу;
- нахил передньої стінки жолобка має гарантувати миттєве випадання зерна під дією гравітації у вікно викиду.

Дослідження підтвердили, що «комфортне» положення зернини в жолобку досягається за дотримання суворих пропорцій: стійке положення насіння в жолобках забезпечується при глибині жолобків ($h_{жс}$) не менше 50% товщини насіння (d_c), ширини ($b_{жс}$) не менше довжини насіння (l_c) і кута нахилу передньої грані жолобка (β) менше кута тертя насіння об матеріал робочої поверхні катушки. В результаті була розроблена катушка з комбінованою структурою, де послідовно чергуються ребра різної висоти (рис. 3.3 з).

Кількість основних заглиблень (z), сформованих високими ребрами, розраховується з огляду на габарити великого продовгуватого насіння (наприклад, пшениці):

$$Z = \frac{180^\circ}{\arcsin \frac{l_c + \Delta b}{2R_k}},$$

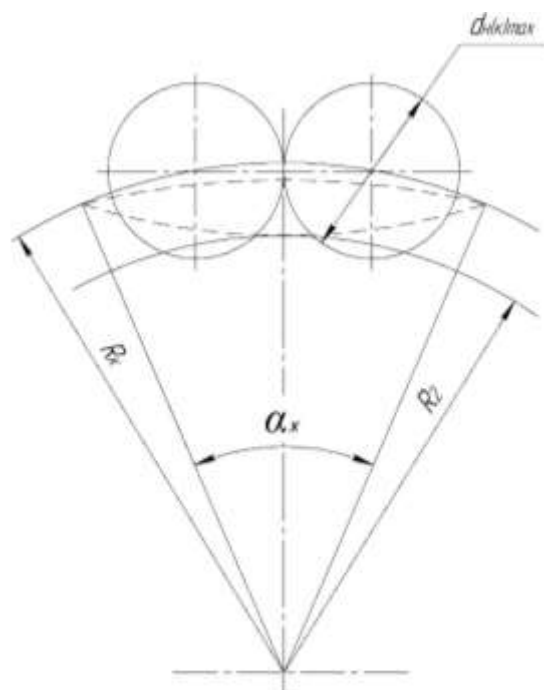
де l_c – максимальна довжина продовгуватої зернівки;

Δb – ширина полиці на ребрі жолобка;

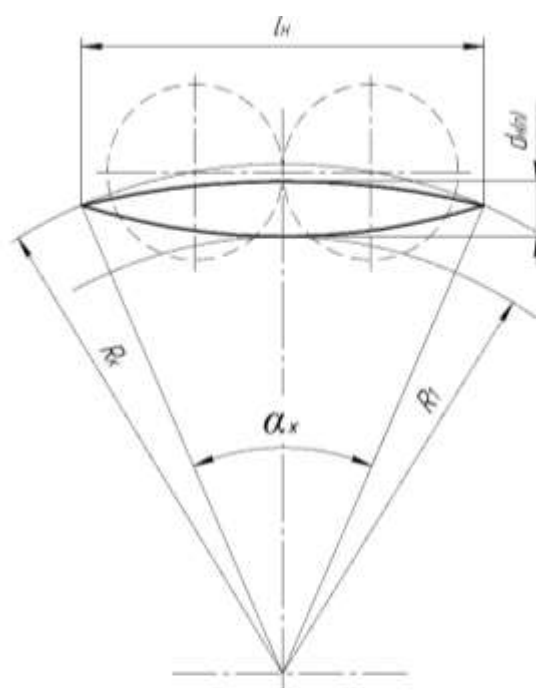
R_k – радіус зовнішньої поверхні катушки.

Зі схеми заповнення жолобка великим продовгуватим насінням (рис. 3.3.б) визначаємо величину радіуса по виступах усередині великого жолобка (для універсальності розглянемо параметри насіння найбільш продовгуватих таких як ячмінь і найбільш великих – сою).

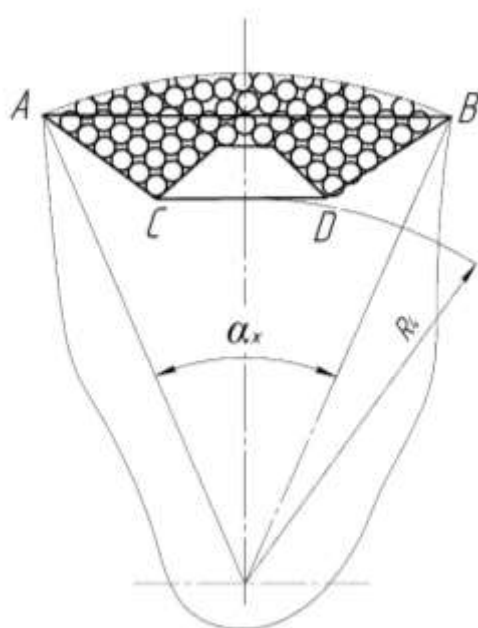
$$R_1 \leq R_\kappa \sqrt{1 - \left(\frac{l_c}{2R_\kappa} \right)^2} - \frac{q_{c(n)}}{2},$$



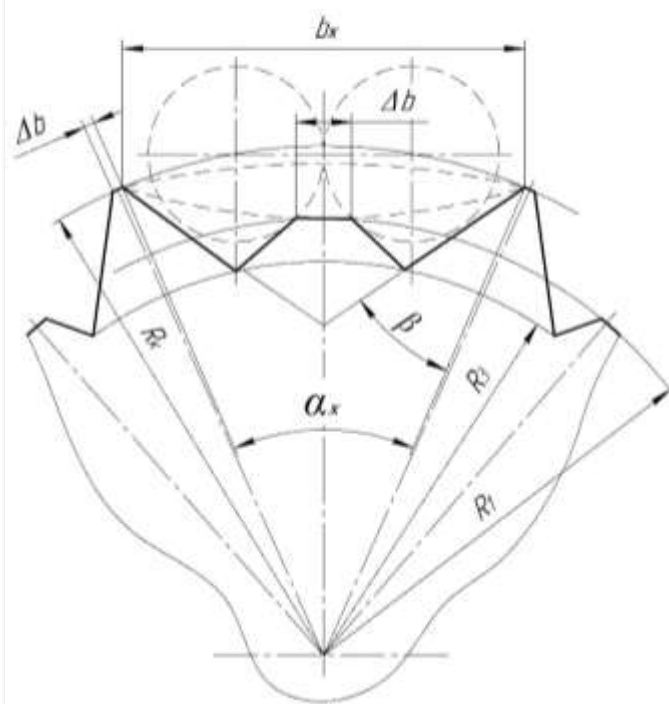
a



б



в



з

Рис. 3.3. Вибір профіля жолобків

де $d_{c(n)}$ – діаметр продовгуватого насіння.

При проектуванні дна жолобка ми виходимо з того, що в його ширині мають вільно розміститися щонайменше дві великі кулясті насінини, центри яких будуть знаходитися на рівні зовнішньої поверхні котушки. Такий підхід запобігає заклинюванню та пошкодженню посівного матеріалу.

Таке припущення прийнятне з таких причин: воно не суперечить умові $h_{жс} \geq 0,5d_c$, а з порівняння розмірів найбільшої зернини встановлюється наступне співвідношення:

$$l_{c(max)} \leq 2,6 \cdot d_{c(k)max}$$

та

$$l_{c(max)} \geq 2,6 \cdot d_{c(k)max},$$

де $d_{c(k)}$ – товщина великого за розміром насіння.

Згідно схеми заповнення жолобка великим за розміром насінням визначаємо радіус по западині

$$R_2 \leq R_k - \frac{1}{2} d_{c(k)max}.$$

Для конструювання експериментальної котушки, зокрема профілю жолобка були прийняті наступні розміри: висота виступів всередині жолобка $h_b = R_1 - R_4$, основа трапеції – $CD = d_{c(k)max}$, технологічний розмір товщини верхньої частини ребер Δb .

Площа жолобка котушки визначається

$$F_{жс} = F_c + F_{ABCD} - F_b, \quad (3.1)$$

де F_c – площа сектора;

F_{ABCD} – площа трапеції ABCD;

F_b – площа виступу.

Величини площ, що входять до правої частини рівняння (3.1) визначаються

$$F_c = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\pi}{180^\circ} \cdot \alpha_{\text{жс}} - \sin \alpha_{\text{жс}} \right) \cdot R_{\kappa},$$

$$F_{ABCD} = \frac{1}{2} \cdot (l_c + d_{c(\kappa)\text{max}}) \cdot \left(R_1 - R_4 + \frac{1}{2} \cdot d_{c(n)} \right),$$

$$F_b = \frac{1}{2} \cdot (\Delta b + d_{c(\kappa)\text{max}}) \cdot (R_1 - R_4).$$

Визначаємо кут (для перевірки умови відсутності ковзання насіння по передній грані жолобка у процесі формування насіннєвого потоку та можливості вільного випадання зернини у зоні викиду вікна апарата), який не повинний перевищувати мінімального значення критичного кута $\beta^* = 39^\circ$.

$$\beta = 90^\circ - \frac{\alpha_{\text{жс}}}{2} - \arctg 2 \cdot \frac{R_1 - R_4 + \frac{1}{2} \cdot d_{c(n)}}{l_c - d_{c(\kappa)\text{max}}}.$$

Для розрахунку параметрів експериментального висівного апарата приймаємо наступні дані: $R_{\kappa} = 25$ мм, $l_c = 14$ мм, $b_{c(n)} = 3$ мм, $d_{c(\kappa)} = 6$ мм, $\Delta b = 1$ мм.

Результати розрахунку: кут охоплення котушки поріжком – 44° ; кількість жолобів котушки $Z = 10$.

Наукові висновки. Використання лабораторної установки із липкою стрічкою було запроваджено для фіксації інтервалів між насінинами та проведене математичне моделювання процесів.

Експериментальні дослідження сприяли розробленню конструкції експериментального висівного апарата. Порівняно зі стандартною дванадцятижолобковою котушкою, загальна площа жолобків котушки апарата була зменшена у 1,8 рази. Краще заповнення різними за формою та розмірами насінинами відбувається завдяки зміненому профілю жолобків

експериментальної котушки. Регульована заслінка, що встановлена у викидному вікні корпусу апарата, забезпечує примусове утворення нерухомого шару на денці (при висіві будь-якого насіння), і тим самим дозволяє підвищити однорідність швидкостей в потоці насіння.

4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Технологічні розрахунки

4.1.1. Визначення продуктивності висівного апарата

При визначенні продуктивності катушкових висівних апаратів використовують (за Летошнєвим М.):

$$q = q_0 + q_{жс}$$

де q - вага насіння, висіяних за оборот катушки;

q_0 - вага насіння, висіяного за рахунок активного шару;

$q_{жс}$ - вага насіння, висіяних за рахунок жолобків катушки або з урахуванням параметрів апаратів та властивостей насіння

$$q = L\gamma\pi d_{\kappa} C_n + L\gamma FZ\mu \quad (4.1)$$

де L – робоча довжина катушки, мм;

γ - об'ємна вага насіння, г/мм³;

d_{κ} – зовнішній діаметр катушки, мм;

C_n – наведена товщина активного шару, мм;

F – площа поперечного перерізу жолобків катушки, мм²;

Z – кількість жолобків;

μ - коефіцієнт заповнення жолобків.

Значення величини C_n зазвичай визначається експериментально для кожного виду насіння. Використовуючи вираз (4.1), секундну продуктивність апарата за рахунок активного шару можна визначити:

$$q'_a = \gamma \int_0^{C_1} v dS \quad (4.2)$$

де $dS = LdC$ – площа віконного вікна в апараті;

C_1 – величина віконного вікна по висоті.

Підставивши значення dS та v у вираз (4.6)

$$q'_a = L\gamma v_\kappa \int_0^{C_1} e^{-b_0 C} dC \quad (4.7)$$

Представивши V_κ як $\frac{\omega d_\kappa}{2}$, після інтегрування отримаємо

$$q'_a = \frac{\omega d_\kappa}{2} L\gamma \frac{1 - e^{-b_0 C_1}}{b_0}, \quad (4.3)$$

де ω - кутова швидкість катушки, рад/с.

Тоді вага насіння, висіяних за оборот катушки активним шаром можна визначити:

$$q_a = L\gamma \pi d_\kappa \frac{1 - e^{-b_0 C_1}}{b_0} \quad (4.4)$$

З порівняння першого члена рівняння з виразом (4.4) видно, що

$$C_n = \frac{1 - e^{-b_0 C_1}}{b_0} \quad (4.5)$$

Тобто наведена товщина активного шару залежить від коефіцієнта пропорційності та від величини вихідного вікна C_1 .

$$q = 15 \cdot 8 \cdot 3,14 \cdot 50 \frac{1 - e^{-0,3 \cdot 7}}{0,3} + 15 \cdot 8 \cdot 9,81 \cdot 12 \cdot 0,87 = 67399,7$$

4.1.2. Розрахунок кута охоплення катушки поріжком

Кут охоплення катушки поріжком визначається

$$\theta \succ \frac{360^\circ}{Z}$$

де Z - кількість жолобків катушки, $Z = 12$;

$\Delta\theta$ - вибирається з конструктивних міркувань, $\Delta\theta = 5 \dots 20^\circ$

$$\theta \geq \frac{360^\circ}{12} + 6^\circ = 36^\circ$$

4.1.3. Вибір шин для коліс сівалки

Для створення ходової системи машини слід вибирати тип шини (коліс), враховуючи допустиму дію коліс на ґрунт. У різних літературних джерелах вказано, що за межу екологічно допустимого тиску на ґрунт залежно від його типу та стану приймають тиск 0,1-0,15 МПа.

Визначаємо радіальні навантаження коліс на ґрунт, кН, які будуть відповідати необхідній вантажопідйомності коліс машини, за формулою:

$$G_2 = \frac{10^{-3} \cdot a \cdot Q_m \cdot g}{n_2 \cdot L}, \quad (4.6)$$

де a - координата центру ваги машини відносно осі коліс, м ($a=1,0$);

Q_m – експлуатаційна маса машини, кг ($Q_m=1900$);

g – прискорення сили ваги, м/с²;

n_2 – кількість коліс ($n_2=2$);

L - поздовжня база машини, м ($L = 2,75$).

$$G_2 = \frac{10^{-3} \cdot 1 \cdot 1900 \cdot 9,81}{2 \cdot 2,75} = 3,39 \text{ кН}$$

Знаючи радіальні навантаження коліс на ґрунт, вибираємо необхідні шини для цих коліс.

Виходячи з пропозицій по вибору коліс для сільськогосподарських машин по їх вантажопід'ємності колесо можна приймати з шиною типа 12.4L-16 ($D_k'=93,1\text{см}$; $e_{ш}=31,0\text{см}$), яка допускає оптимальне навантаження до 10,8 кН з тиском у шині 0,12 МПа.

Перевіримо, чи забезпечують вибрані шини заданий екологічно допустимий тиск на ґрунт, кН:

$$G_o = \frac{0,12 \cdot \pi \cdot P_{ш} \cdot P^2 \cdot e_{ш}^2 \cdot D_k^2}{\pi^2 \cdot P_{ш}^2 \cdot \sqrt{e_{ш} \cdot D_k^3} + 4 \cdot P^2 \cdot \sqrt{D_k \cdot e_{ш}^3}}, \quad (4.7)$$

де $P_{ш}$ - тиск повітря в шині ($P_{ш}=0.12$ МПа);

P - допустимий тиск колеса на ґрунт ($P=0.11$ МПа);

$b_{ш}$ - ширина шини (профілю) ($b_{ш}=31,0$ см);

D – зовнішній діаметр, см ($D=93,1$).

$$G_{оз} = \frac{0,12 \cdot 3,14 \cdot 0,12 \cdot 0,15^2 \cdot 31,0^2 \cdot 93,1^2}{3,14^2 \cdot 0,12^2 \cdot \sqrt{31,0 \cdot 93,1^3} + 4 \cdot 0,11^2 \cdot \sqrt{93,1 \cdot 31,0^3}} = 10,717 \text{ кН}$$

Якщо, $G_{оз} > G_1$, $G_{оз} > G_2$, то шини вибрані правильно.

В нашому випадку

$$10,717 < 10,8.$$

Тобто вибрані шини забезпечують заданий екологічно допустимий тиск на ґрунт.

4.2. Енергетичний розрахунок

Вихідним даними для енергетичного розрахунку є: максимальне руйнівне зусилля для насіння пшениці $P_{\max}$ дорівнює 80 Н; діаметр висівного диску $d = 0,05$ м.

Передаточні відношення зубчастих і ланцюгових передач, типи підшипників валів механізму передач визначені стосовно кінематичній схемі механізму приводу. При цьому енергетичний розрахунок ведемо при максимальній нормі висіву.

Обертовий момент на валу механізму приводу (вал висівних апаратів) можна визначити з умови, щоб колове зусилля не перевищувало максимальне руйнівне зусилля, тобто:

$$M_{\text{руйн}} = P_{\max} \cdot \frac{d}{2} = 80 \cdot \frac{0,05}{2} = 2 \text{ Нм.}$$

Величини обертових моментів на наступних валах механізму приводу визначаємо за формулою:

$$M_{n-1} = M_n \cdot \frac{i_{n-1}}{\eta_{\text{заг}}}$$

(4.8)

де i_{n-1} – передаточне відношення між двома валами передачі;

$\eta_{\text{заг}}$ – загальний коефіцієнт корисної дії (ККД), який дорівнює добутку від множення окремих ККД (передач і підшипників).

Враховуючи це:

$$M_7 = M_8 \cdot i_7 / \eta_1 \cdot \eta_2 ,$$

де η_1 – ККД зубчастої передачі ($\eta_3 = 0,93 \dots 0,95$);

η_2 – ККД підшипників ковзання ($\eta_{\text{під}} = 0,98$).

$$\text{Тоді: } M_7 = 2 \cdot 0,44 / 0,94 \cdot 0,98 = 0,95 \text{ Нм.}$$

$$\text{Аналогічно: } M_6 = M_8 \cdot i_6 / \eta_1 \cdot \eta_2 = 0,95 \cdot 0,325 / 0,94 \cdot 0,98 = 0,335 \text{ Нм.}$$

$$M_5 = M_6 \cdot i_5 / \eta'_1 \cdot \eta_2 ,$$

де η'_1 – ККД ланцюгової передачі, ($\eta'_1 = 0,97$)

$$\text{Тоді: } M_5 = 0,335 \cdot 1,4 / 0,97 \cdot 0,98 = 0,493 \text{ Нм.}$$

$$M_4 = M_5 \cdot i_4 / \eta'_1 \cdot \eta_2 = 0,493 \cdot 1,4 / 0,97 \cdot 0,98 = 0,697 \text{ Нм}$$

Оскільки IV вал забезпечує передачу обертових моментів до 12 висівних апаратів, то:

$$M'_4 = 12 \cdot M_4 = 0,697 \cdot 12 = 8,364 \text{ Нм.}$$

$$M_3 = M'_4 \cdot i_3 / \eta_1 \cdot \eta'_2 ,$$

де η'_2 – ККД підшипників кочення, ($\eta'_2 = 0,99$)

$$\text{Тоді: } M_3 = 8,364 \cdot 1,125 = 9,409 \text{ Нм.}$$

Визначаємо обертовий момент на входному валу коробки зміни передач (КЗП) від опору на привід насіннєвих апаратів:

$$M'_2 = M_3 \cdot i_2 / \eta_1 \cdot \eta'_2 = 9,409 \cdot 1,263 = 11,883 \text{ Нм.}$$

Враховуючи, що ведучий вал КЗП також передає обертовий момент M_2'' на привід 12х туковисівних апаратів, то загальний обертовий момент на II валу становить:

$$M_2 = M_2' + M_2'',$$

Якщо $M_2'' \approx 11,883$ Нм.

Тоді: $M_2 = 11,883 + 11,883 = 23,766$ Нм.

І нарешті, обертовий момент на I валу механізму привода (вал опорно – приводного колеса) для приводу 12х насінневих і 12х туковисівних апаратів буде дорівнювати:

$$M_1 = M_2 \cdot i_1 / \eta_1 \cdot \eta_2' = 23,766 \cdot 0,913 / 0,97 \cdot 0,98 = 22,826 \text{ Нм.}$$

4.3. Розрахунок техніко-економічних показників

В результаті модернізації конструкції СЗ-3,6А удосконалено катушковий висівний апарат, задля більш рівномірно висіву насіння озимої пшениці, це зможе підвищити, в середньому, урожайність на 9%.

Розрахуємо очікуваний річний економічний ефект споживача удосконаленої машини за методикою [8].

1. Продуктивність машини за 1 год. робочого та експлуатаційного часу

$$P_{зм} = 0,1 \cdot B \cdot V \cdot K_{вр},$$

$$P_{ек} = 0,1 \cdot B \cdot V \cdot K_{ек},$$

$$P_{змб} = 0,1 \cdot 3,6 \cdot 3,75 \cdot 0,79 = 1,066 \text{ га/год.}$$

$$P_{змм} = 0,1 \cdot 3,6 \cdot 3,75 \cdot 0,82 = 1,107 \text{ га/год.}$$

$$P_{екб} = 0,1 \cdot 3,6 \cdot 3,75 \cdot 0,75 = 1,0125 \text{ га/год.}$$

$$P_{екм} = 0,1 \cdot 3,6 \cdot 3,75 \cdot 0,77 = 1,0395 \text{ га/год.}$$

2. Експлуатаційні витрати на один га роботи

для базового агрегату – $E_{вб} = 3890,81$ грн/га,

для модернізованого агрегату – $E_{вн} = 3790,815$ грн/га.

3. Питомі капітальні витрати споживача, які припадають на 1 га посіву

$$\Pi_{\kappa\delta} = \frac{K_n \cdot \Pi_{онм} / P_{зм} + K_n \cdot \Pi_{онм} / P_{зм}}{\Pi_{ек}},$$

$$\Pi_{\kappa\delta} = \frac{1}{1,0125} \left(\frac{1,3 \cdot 270000}{70} + \frac{1,3 \cdot 350000}{1350} \right) = 5285,26 \text{ грн/га},$$

$$\Pi_{\kappa\delta\text{м}} = \frac{1}{1,0395} \left(\frac{1,3 \cdot 270000}{70} + \frac{1,3 \cdot 350000}{1350} \right) = 5147,98 \text{ грн/га}$$

5. Очікуваний річний економічний ефект споживача модернізованої машини

$$E_{pen} = [(E_{\delta\delta} + E_n \cdot \Pi_{\kappa\delta}) - (E_{\delta\text{м}} + E_n \cdot \Pi_{\kappa\delta\text{м}})] \cdot \Pi_{ек\text{м}} \cdot P_{зм},$$

$$E_{pen} = [(3890,81 + 0,16 \cdot 5285,26) - (3790,815 + 0,16 \cdot 5147,98)] \cdot 1,0395 \cdot 70 = 8874,42 \text{ грн}.$$

У 2025 р. середня урожайність озимої пшениці, по Україні, становила – 4,56 т/га [23].

Ціна за тонну озимої пшениці в середньому складає - 10909 грн.

Ціна урожаю : 4,56х 100х 10909=4974503грн.

При збільшенні урожайності на 9% збільшить виручку на – 447 705 грн.

Ефект від запровадження запропонованих заходів:
447 705+8874,42=456 579,42 грн.

Отже, загальний очікуваний річний економічний ефект сприятиме попиту на модернізовану сівалку.

Практична цінність також полягає в можливості модернізації існуючого парку сівалок серії СЗ без повної заміни агрегатів, що є критично важливим для економічної стійкості середніх та малих господарств.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Інструкція з техніки безпеки при роботі з сівалкою СЗ-3,6А

Ефективна та безпечна робота із зерновими сівалками вимагає від персоналу не лише технічних навичок, а й суворого дотримання встановлених норм захисту життя. Нижче наведено розширений перелік правил та вимог, розроблений для мінімізації виробничих ризиків.

До управління висівним комплексом залучаються особи, які відповідають наступним критеріям: працівник має бути старше 18 років та мати позитивний висновок медичної комісії щодо придатності до праці; обов'язкова наявність дійсного посвідчення тракториста-машиніста відповідної категорії; працівник повинен успішно пройти вступний, а також первинний курси з ОП, опанувати безпечні методи експлуатації техніки та підтвердити свої знання під час атестації.

Працівник зобов'язаний дотримуватися трудової етики та внутрішнього розпорядку агропідприємства.

Неухильне дотримання графіку роботи та періодів відпочинку запобігає перевтомі, яка є причиною більшості аварій.

Будь-яке сп'яніння (алкогольне, токсичне або внаслідок дії медикаментів) є абсолютною підставою для негайного відсторонення від виконання завдань.

Використання спеціалізованого захисного одягу, взуття та індивідуальних засобів захисту є обов'язковою умовою згідно з галузевими нормативами.

Працівник має чітко знати, де розташована медична аптечка та вогнегасники, а також володіти навичками надання першої допомоги та придушення осередків займання.

Електроніка та гідравліка - зони підвищеної небезпеки. Самостійний ремонт цих вузлів особами без спеціальної кваліфікації суворо заборонений.

Якщо помітили будь-яке пошкодження чи збій у роботі сівалки, що створює загрозу безпеці, слід негайно зупинити агрегат, вимкнути двигун трактора та доповісти про ситуацію безпосередньому керівнику.

Перед активацією механізмів необхідно виконати наступний алгоритм діагностики: переконайтеся у надійності кріплень, болтових з'єднань та наявності всіх захисних кожухів на обертових частинах; огляньте шланги та з'єднання на предмет витоків масла; підтікання палива також є неприпустимим; перевірте цілісність ізоляції проводів, якість заземлення електричних компонентів та працездатність світлових приладів; проконтролюйте правильність фіксації сівалки до трактора, перевіривши надійність з'єднувальних пальців та шплінтів; перед початком руху переконайтеся, що навколо машини немає людей, тварин або сторонніх предметів; здійсніть пробний запуск механізмів «вхолосту» (без насіння), щоб переконатися у відсутності сторонніх шумів, вібрацій або заклинювань.

Лише після повного підтвердження справності всіх систем дозволяється починати посівні роботи. Будь-яка спроба зекономити час на огляді може коштувати здоров'я чи дороговартісного ремонту техніки.

5.2. Експлуатаційні вимоги та заходи безпеки при роботі з СЗ-3,6А

Дотримання правил техніки безпеки при роботі з причіпними агрегатами - це не просто формальність, а запорука збереження здоров'я екіпажу та цілісності техніки. Нижче наведено деталізовані інструкції з безпечної експлуатації.

Під час виконання технологічних операцій знаходження будь-яких сторонніх осіб на агрегаті суворо заборонено. Категорично неприпустимим є транспортування людей на рамі, підніжках чи інших конструктивних елементах сівалки. Також правилами безпеки забороняється перебування працівників у просторі між трактором та причіпною машиною під час руху.

Будь-які маніпуляції, що стосуються технічного сервісу - очищення сошників, змащування тертьових вузлів або механічне регулювання - дозволяється проводити лише після повної зупинки двигуна трактора.

Процес наповнення насінневих та тукових бункерів слід максимально механізувати, використовуючи спеціалізовані шнекові навантажувачі або

маніпулятори. У випадках, коли завантаження здійснюється вручну, необхідно пам'ятати про фізіологічні норми підняття вантажів:

Для чоловіків: максимальна вага одного мішка чи порції не має перевищувати 30 кг. Для жінок: допустима межа становить 7–10 кг.

При роботі з посівним матеріалом, що пройшов передпосівне протруєння, обов'язковим є використання засобів індивідуального захисту - респіратора, герметичних окулярів, щільних рукавичок та спеціального одягу. Будь-які налаштування робочих органів (наприклад, глибини висіву) виконуються тільки при вимкненому двигуні.

Перед виїздом на дороги загального користування чи польові шляхи агрегат необхідно перевести у транспортне положення, надійно зафіксувавши всі гідравлічні та механічні замки.

Переміщення трасами вимагає суворого дотримання ПДР, використання встановлених світлових сигналів та знаків «Великогабаритний вантаж».

Швидкість пересування не повинна перевищувати регламентовані межі для даного типу зчеплення. Долати перешкоди (канави, нерівності) слід виключно під прямим кутом на мінімальній швидкості.

При реалізації робіт на похилих ділянках важливо не перевищувати критичні кути нахилу, встановлені заводом-виробником. Рух має здійснюватися паралельно горизонталям схилу, уникаючи різких розворотів. Якщо з'являється найменша загроза втрати стійкості, роботу необхідно зупинити.

Гідравлічний контур працює під високим тиском, тому перевищення його допустимих значень є небезпечним.

Категорично забороняється перевіряти герметичність шлангів чи з'єднань руками. Для виявлення дрібних струменів масла слід використовувати шматок картону або щільного паперу.

Перед від'єднанням шлангів від гідросистеми трактора переконайтеся, що тиск у контурах повністю скинутий.

Щодо електробезпеки: експлуатація агрегата з пошкодженою ізоляцією дротів недопустима. При появі іскріння, запаху горілого пластику або інших

ознак короткого замикання слід негайно знеструмити систему та зупинити трактор. Перед кожним виїздом у поле необхідно перевіряти надійність усіх штекерних з'єднань.

6. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Економічне процвітання України нерозривно пов'язане з аграрною індустрією, яка виступає одним із найважливіших фундаментів національного поступу. Володіння колосальними територіями родючих орних земель дозволяє країні не лише повністю задовольняти внутрішні потреби у продовольстві, а й активно реалізовувати надлишки врожаю на міжнародних ринках.

Проведений аналіз конструктивних рішень для дозування насіння виявив суттєві особливості поширених механізмів, а саме традиційний катушковий висівний апарат цінується за конструктивну простоту та зручність у сервісному налаштуванні; основним мінусом такої системи є низька поздовжня стабільність висіву, що зумовлено переривчастим, порційним характером виходу зерна з жолобків.

Доведено, що специфіка розподілу насіннєвого матеріалу в борозні не має прямої залежності від встановленої норми висіву або активної довжини катушки. Проте це твердження справедливе лише у випадках, коли довжина робочої частини деталі щонайменше в чотири рази перевищує ширину зернівки.

Для глибокого вивчення фізики процесу була спроектована спеціальна випробувальна установка. Вона дозволила виявити закономірності формування проміжків між насінинами, враховуючи можливі інверсії потоку під час роботи з липкою контрольною стрічкою.

Для покращення якості роботи серійних апаратів та досягнення максимальної рівномірності рекомендується використовувати найвищі доступні передавальні відношення трансмісії сівалки, а також підбирати параметри з огляду на норму посіву, забезпечуючи при цьому мінімально допустиму робочу довжину катушки. Впровадження таких змін має вагомий практичний ефект - двократне збільшення передавального відношення дозволяє знизити коефіцієнт варіації на 10-20%. Це безпосередньо покращує умови проростання культур і в перспективі забезпечує зростання врожайності на 9%.

Результати проведених експериментальних випробувань лягли в основу створення унікальної конструкції висівного вузла. Одна з найбільш суттєвих змін стосується безпосередньо робочих елементів катушки. Відносно класичного виконання з дванадцятьма жолобками, сумарна площа робочих заглиблень у новій конструкції була зменшена в 1,8 раза.

Окрему увагу приділили геометрії самих жолобків. Їхній оновлений профіль гарантує ефективніше та стабільніше заповнення, незалежно від конкретних морфологічних характеристик (розміру чи геометрії) посівного матеріалу, що використовується.

Для стабілізації процесу вивантаження в зону викидного вікна корпусу було інтегровано спеціальну регульовану заслінку. Цей елемент виконує кілька критичних функцій: примусово створює стійкий нерухомий шар зерна на денці пристрою під час роботи з будь-якою культурою, дозволяє суттєво вирівняти швидкості окремих часток усередині насінневого потоку та завдяки підвищенню однорідності швидкісних режимів досягається значно вища загальна точність технологічного процесу.

Зменшення площі жолобків у поєднанні з активним керуванням шаром зерна дозволяє уникнути "порційності", яка зазвичай притаманна стандартним катушкам, перетворюючи дискретний висів на більш плавний та безперервний потік.

Запропонована модернізація була обґрунтована технологічними, енергетичними розрахунками. Приведені вимоги до покращення охорони праці.

Впровадження результатів даної роботи дозволить не лише підвищити якість роботи посівних машин, а й забезпечити суттєвий економічний ефект завдяки зростанню врожайності зернових культур, зокрема пшениці (для господарства сумарно складе 456 579,42грн.).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Анна Артими. Зернові сівалки: огляд сучасних моделей. *Всеукраїнський аграрний журнал «АгроЕліта»*. URL: <https://agroelita.info/zernovi-sivalky-ohliad-suchasnykh-modeley/>
2. Бендера І. М. Проектування сільськогосподарських машин : навч.-метод. посіб. для викон. курс. проектів з розробки с.-г. техніки при підготов. фахівців напряму "Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва" / І. М. Бендера, А. В. Рудь, Я. В. Козій, Д. Г. Войтюк, П. В. Сисолін; Поділ. держ. аграр.-техн. ун-т, Борщів. аграр. коледж. Кам'янець Поділ. : Сисин О.В. : Абетка, 2011. 639 с.
3. Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Павх І.І. Машини сільськогосподарського виробництва. Тернопіль, 2005. 228 с.
4. Голуб Л., Довгиш І., Гур'євська О., Васильковський О. Зерновий висівний апарат з незсувною катушкою. Матеріали II Міжнародної студентської інтернет-конференції «Техніка і технології у аграрному виробництві» (24 вересня 2020 р., м. Кропивницький). 2020. С. 20-22.
5. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т.1; Ч.2: Машини для сівби та садіння. Харків: ОКО, 2002. 452 с.
6. Інновації як фактор підвищення ефективності виробництва зерна: URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2727>
7. Інноваційні технології в рослинництві: веб сайт. URL: https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/34879/1/MV_Innovatsiyyini%20tekhnohohiyi_2023.pdf
8. Методичні вказівки до виконання курсових робіт по організації та планування виробництва для студентів спеціальності 8.090215/ Укл. В.М.Глух, Л.М.Романюк. Кіровоград:КДТУ, 2000.
9. Пархоменко, М. Д. Визначення математичної моделі розрахунку коефіцієнту опору повітря та критичної швидкості зерна при його

транспортуванні висівним апаратом / М.Д. Пархоменко, В.О. Кондратець, Ю.М. Пархоменко. *Техніка в с.-г. виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація* : Зб. наук. пр. Кіровоград. нац. техн. ун-ту. Кіровоград : КНТУ, 2008. Вип. 21. С. 105–109. <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/1386>

10. Різновид сівалок та їх конструктивні особливості. *Журнал «VELES EURO TRADE»*. URL: <https://veles-euro.trade/seyalki-osnovnyye-vidy-funktsii-i-konstruktivnyye-osobennosti/>

11. Сисоліна І., Погорєлов В. Перспективи напрямів розвитку механізації вирощування зернових культур. *Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки»*. Кропивницький: ЦНТУ. 2023. С.200-201.

12. Сисоліна І., Сарданов В. Оптимізація параметрів котушкового апарата для висіву зерновою сівалкою. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції»*. Кропивницький: ЦНТУ. 2026. – С.33-35.

13. Сисоліна Н.П., Савеленко Г.В., Сисоліна І.П. Проблемні аспекти та перспективи інноваційного розвитку сільськогосподарського машинобудування. *Центральноукраїнський науковий вісник : Економічні науки*, вип. 1 (34). Кропивницький: ЦНТУ. 2018. С. 280-287.

<http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/8898>

14. Сисолін П.В. Звичайні підходи по створенню універсальних вітчизняних сівалок для сівби зернових культур. Кіровоград: "КОД", 2008, 84с.

15. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: Теоретичні основи, конструкція, проектування / Під ред. М.І. Черновола. Київ: Урожай, 2001. 382с.

16. Сисолін П.В., Свірень М.О. Висівні апарати сівалок. Еволюція конструкцій, розрахунки параметрів. Навчальний посібник. Кіровоград. 2004. 160с.

17. Сисолін П.В., Сисоліна І.П. Сучасна методологія створення сільськогосподарської техніки (на прикладі висівного апарата): монографія. Кіровоград, Видавець Лисенко В.Ф., 2014. 120с.

18.Сисолін П.В. Теорія, проектування та розрахунки посівних машин: Навч. посібник. Київ : ІСДО, 1994. 148 с.

19. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.

20.Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування [Текст] : підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. "Машини та обладнання с.-г. виробництва". Кн. 2: Машини для рільництва / П. В. Сисолін, Т.І. Рибак, В. М.Сало; За ред. М. І. Черновола. Київ : Урожай, 2002. 364 с

21. https://evgivanov.github.io/expl_html_book/addons/addon_11.html

22. <https://www.lnz.com.ua/agro>

23. superagronom.com