

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допускається до захисту
Завідувач кафедри

_____ Володимир ДІДІУР
“ ” _____ 2025

ДИПЛОМНА РОБОТА
_____ магістр
(освітній ступінь)

на тему: «ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ
ЕФЕКТИВНОСТІ ГІДРАВЛІЧНОЇ СІВАЛКИ ТОЧНОГО ВИСІВУ»

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м-ім,
спеціальність Н7 «Агроінженерія»

_____ Сергій МУЗИЧЕНКО

Керівник: _____ Олександр ПУШКА

м. Умань – 2025

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Освітній рівень	магістр
Спеціальність	Н7 «Агроінженерія»
	(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Володимир ДІДУР
“ ” _____ 2025

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Музиченко Сергій Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Використання електронних систем для підвищення ефективності гідравлічної сівалки точного висіву

керівник роботи Пушка Олександр Сергійович к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«_____» _____ 2025 року № _____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Огляд машин точного посіву. Аналіз останніх досліджень посівної техніки, літературних джерел за обраною тематикою.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання і завдання досліджень. 2. Теоретичні дослідження. 3. Експериментальні дослідження. 4 . Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна ефективність роботи. Висновки. Список використаних джерел

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (2 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (4 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (4 аркуші, А4) 4. Економічні показники (1 аркуш, А4). 5. Висновки (1 аркуш, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пушка О.С., к.т.н., доцент		
2	Пушка О.С., к.т.н., доцент		
3	Пушка О.С., к.т.н., доцент		
4	Пушка О.С., к.т.н., доцент		
5	Прокопенко Е.В., к.с.-г.н., доцент		
6	Пушка О.С., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання: _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)		Виконано
2	Теоретичний		Виконано
3	Експериментальний		Виконано
4	Охорона праці		Виконано
5	Економічний		Виконано
6	Демонстраційна частина		Виконано

Студент

_____ Музиченко С.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Пушка О.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Стан питання і завдання досліджень	
1.1 Площа живлення та особливості процесу посіву овочевих культур	11
1.2 Аналіз відмов та показників роботи гідравлічних сівалок	18
1.3 Аналіз систем керування та контролю роботи сівалок	20
Висновки	31
2 Теоретичні дослідження	33
2.1 Теоретичні передумови удосконалення гідравлічної сівалки точного висіву	33
2.2 Конструкція дозатора висівного апарата гідравлічної сівалки	34
2.3 Розробка електронної системи керування гідросівалки	36
2.4. Дослідження особливостей роботи оптичних датчиків дозатора	39
2.5 Визначення основних параметрів гідросівалки	41
Висновки	
3 Експериментальні дослідження	49
3.1 Програма досліджень	49
3.2 Методика та результати досліджень оптичних датчиків дозатора подачі насіння	49
3.3 Методика та результати досліджень висівного апарату з удосконаленим дозатором подачі насіння	54
3.4 Польові дослідження роботи гідросівалки з розробленою електронною системою керування	63
3.5 Висновки	65
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	67

	5
4.1 Організація охорони праці	67
4.2 Стан охорони праці	69
4.3 Аналіз виробничого травматизму	70
4.4 Вимоги з охорони праці під час експлуатації машино-тракторного агрегату на посіві	71
4.5 Заходи по поліпшенню охорони праці та безпеки в НС	72
4.6 Висновок	75
5 Техніко-економічне обґрунтування роботи	76
Висновки	84
Висновки та пропозиції	85
Список використаних джерел	87
Додатки	91

РЕФЕРАТ

Музиченко С.І. Використання електронних систем для підвищення ефективності роботи гідравлічної сівалки точного висіву / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» спеціальності Н7 «Агроінженерія». – УНУ, Умань, 2025.

Дипломне дослідження присвячене підвищенню результативності процесу висіву гідравлічної сівалки шляхом створення електронної системи керування та модернізованого дозувального механізму.

Запропоноване технічне рішення спрямоване на зниження кількості двійників і пропусків під час висіву, а також на покращення рівномірності подачі насіння у рядки.

На основі аналізу наукових джерел та практичного досвіду виконано комплекс теоретичних і експериментально-лабораторних досліджень. Створено електронний модуль керування роботою гідравлічного висівного апарата та проведено удосконалення конструкції оптичних датчиків контролю подачі насіння. Обґрунтовано закономірності та ймовірність переходу насіння з бункера до дозатора.

У ході експериментів визначено оптимальні конструктивно-технологічні параметри гідросівалки, що забезпечують найкращі показники точності висіву. Проведено оцінку стану охорони праці на підприємстві та розроблено заходи безпеки під час виконання робіт із гідропосіву пророслого насіння.

Доведено економічну доцільність упровадження модернізованої електронної системи у конструкцію гідравлічної сівалки.

Ключові слова: гідровисів, пророщене насіння, висівний апарат, дозатор насіння, електронна система керування, варіація розподілення насіння.

ВСТУП

Точне землеробство дедалі активніше впроваджується у технології виробництва сільськогосподарської продукції вітчизняними агровиробниками. Використання технологій *precision farming* дозволяє суттєво скоротити витрати на насіння, добрива, засоби захисту, паливно-мастильні матеріали та інші ресурси. Інтелектуальні системи, інтегровані у сучасну сільськогосподарську техніку, забезпечують точне дозоване внесення агрохімікатів, моніторинг стану посівів, аналіз динаміки розвитку рослин, а також високоточне виконання механічних обробітків ґрунту як у міжрядді, так і безпосередньо в рядку.

Застосування мехатронних комплексів у конструкціях машин відкриває можливість забезпечення високої точності керування робочими органами під час виконання технологічних операцій догляду за культурами. У сукупності такі рішення сприяють підвищенню врожайності, покращенню якості виконання робіт і зменшенню собівартості вирощування продукції.

Однією з ключових операцій у рослинництві залишається посів, від точності виконання якого значною мірою залежить рівень урожайності. Сучасні посівні комплекси обладнані системами контролю якості висіву, продуктивності агрегату, витрат палива тощо. Проте ці системи спроектовано переважно для класичних механічних та пневматичних сівалок. У випадку використання гідравлічного способу висіву виникає проблема забезпечення високої точності подачі насіння, оскільки для таких сівалок практично відсутні мехатронні системи, здатні синхронізувати роботу її основних елементів.

Гідравлічні сівалки дозволяють висівати проросле насіння овочевих культур, що прискорює появу сходів у середньому на 2–9 днів. Разом із насінням у рідині можуть додаватися препарати для його захисту та стимуляції росту. Проте водночас виникає недолік — невисока точність розподілення насіння в потоці рідини, що спричинено стохастичним характером процесу його переміщення та відбору.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є застосування дозуючого пристрою у поєднанні з електронною системою керування та контролю, яка формуватиме стабільний інтервал між насінинами у насіннєпроводі. Конструкцію гідросівалки з можливістю встановлення такого обладнання запропоновано в Дніпровському аграрно-економічному університеті.

Мета роботи. Підвищення ефективності точного висіву шляхом розроблення електронної системи контролю та керування робочим процесом гідравлічної сівалки, а також удосконаленого дозуючого пристрою.

Завдання дослідження:

- виконати аналіз параметрів роботи гідросівалки, які потребують контролю;
- проаналізувати існуючі системи контролю технологічних параметрів посівних машин;
- розробити та дослідити електронну систему керування і контролю роботи гідравлічної сівалки;
- спроектувати та дослідити конструкцію дозуючого пристрою для гідравлічного висіву;
- провести економічне обґрунтування застосування розроблених систем.

Об'єкт дослідження. Процес точного однонасінного висіву насіння у складі гідравлічної сівалки.

Предмет дослідження. Закономірності впливу роботи дозатора на точність розподілення насіння в гідросівалці.

1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Площа живлення та особливості процесу посіву овочевих культур

За останні три століття овочеві культури активно поширилися на території України, що значною мірою зумовлено сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами. Сьогодні на вітчизняних полях вирощують як вологолюбні культури, зокрема картоплю, так і теплолюбні — кавуни, огірки, томати, перець та інші овочі.

Одним із ключових чинників формування високих урожаїв є площа живлення рослин [1, 2]. Рівномірне розміщення рослин на полі забезпечує раціональне використання поживних речовин, води та сонячної енергії [3]. Порушення оптимального просторового розміщення призводить до загущення, конкуренції між рослинами, активного поширення бур'янів і, як наслідок, — до помітного зниження врожайності.

Площа живлення є динамічною величиною й визначається біологічними особливостями культури: тривалістю вегетаційного періоду, розвитком надземної частини, розміром і глибиною кореневої системи. Важливу роль відіграють також родючість ґрунту, рівень його зволоження та інші умови вирощування [2].

Культури з коротким періодом вегетації та відносно слабо розвиненим кущем потребують меншої площі живлення. Натомість рослини з потужною вегетативною масою й тривалим періодом росту потребують значно більшої площі. Так, баштанні культури формують велику кореневу систему та розлогу надземну частину, тому їх висівають за схемами 140–210 × 70–140 см із застосуванням пунктирного або гніздового способу. Відповідно площа живлення таких культур може становити від 10 000 до 30 000 см² [4].

У зональних умовах Дніпропетровської області площа живлення для томатів становить 5000...6000 см², для перцю та капусти — приблизно 2400...2800 см². Чим родючіший і вологіший ґрунт, тим меншої площі потребує

одна рослина. Густоту стояння часто коригують відповідно до рівня вологозабезпечення: наприклад, для перцю площа живлення у зоні достатнього зволоження становить 2300 см^2 , за нестійкого — 2400 см^2 , а за умов недостатнього зволоження збільшується до 2500 см^2 .

Площа живлення безпосередньо визначає вибір схеми та способу посіву овочевих культур (рис. 1.1) [5].

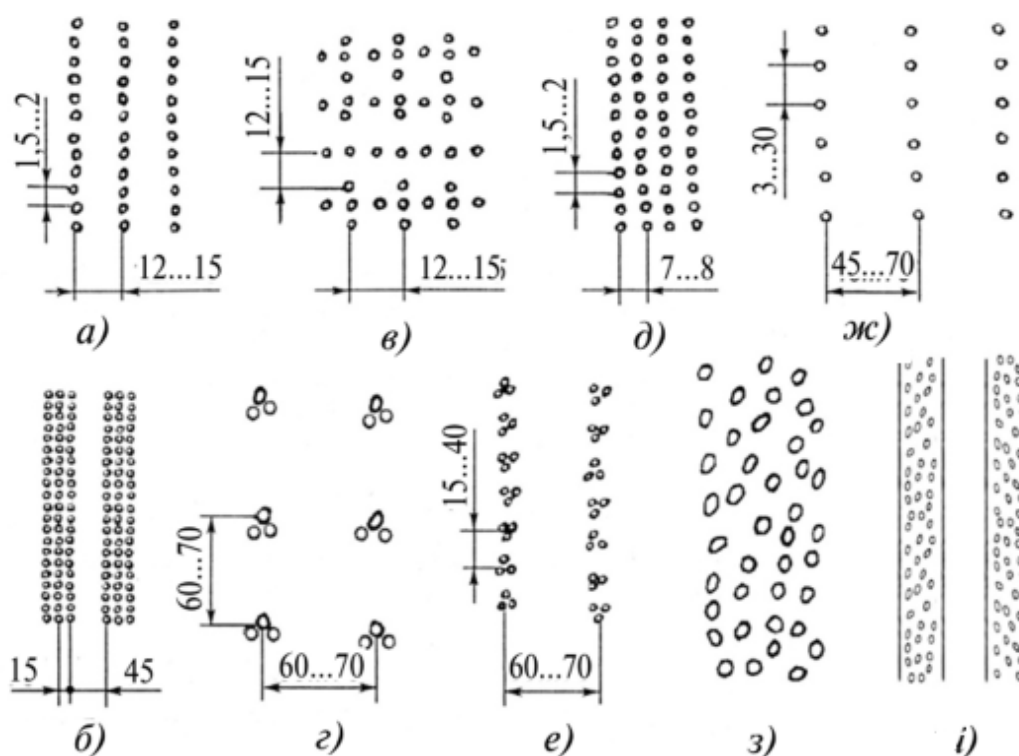


Рисунок 1.1 – Основні способи та схеми посіву овочевих культур

а – рядковий посів; б – стрічковий посів; в – перехресний посів; г – квадратно-гніздова схема; д – вузькорядний посів; е – гніздовий посів; ж – ширококорядний пунктирний посів; з – розсівний посів; і – смуговий (стрічково-смуговий) посів.

Овочеві культури можуть висіватися ширококорядним, пунктирним, гніздовим або стрічковим способами. Забезпечити потрібну ширину міжрядь у більшості випадків не становить труднощів, оскільки вона досягається шляхом

регулювання положення посівних секцій на рамі сівалки. Мінімальна ширина міжряддя має становити не менше 30 см, адже механізовані технології догляду за овочевими культурами передбачають міжрядні обробітки після появи сходів.

Забезпечення ж рівномірного розподілення насіння в рядку є значно складнішим технологічним завданням. Проте його важливість очевидна, адже саме рівномірність висіву визначає правильне формування площі живлення, конкурентоспроможність рослин у посіві та врешті — рівень урожайності.

Сучасні овочеві сівалки здатні забезпечувати однонасіннєвий точний висів, однак за підвищених робочих швидкостей понад 8 км/год і складної морфології насіння спостерігається погіршення якості роботи висівного апарата. Зростає кількість пропусків, з'являються двійники, знижується рівномірність розміщення насіння в рядку та по глибині, що призводить до порушення площі живлення та зниження врожайності культур [6].

Удосконалення конструкції дозувальних механізмів овочевих сівалок є одним із ключових шляхів підвищення точності їх роботи. Покращення геометрії дозатора, застосування нових матеріалів та інтеграція електронних систем контролю дають змогу досягати стабільного однонасіннєвого висіву без появи пропусків і двійників.

Через значну різноманітність конструкцій висівних апаратів овочеві сівалки класифікують на кілька основних груп. Схематичне подання класифікації наведено на рисунку 1.2.

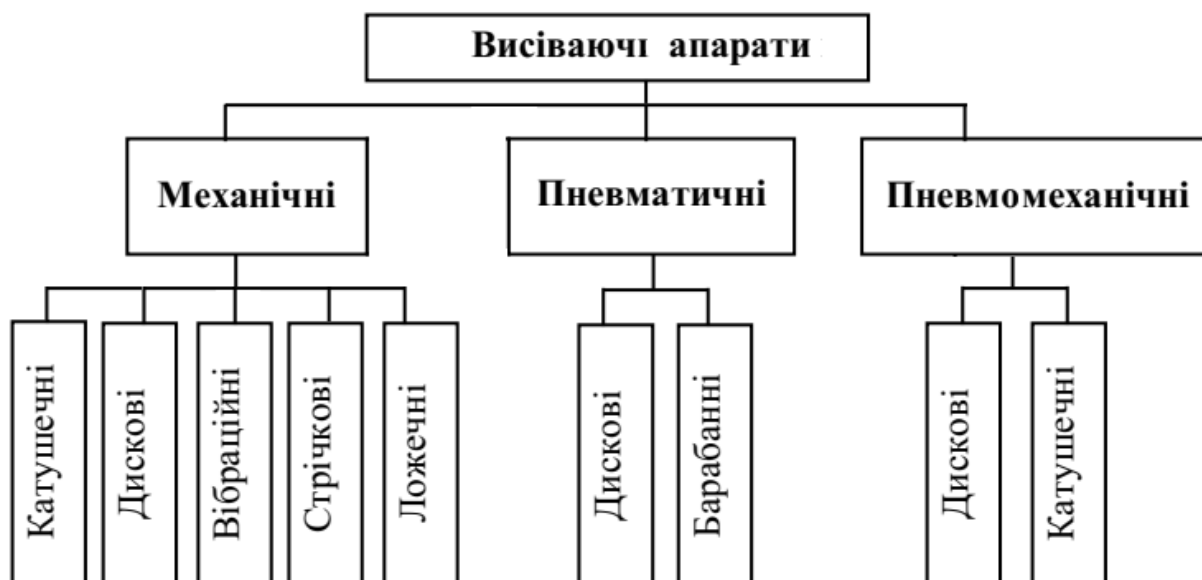


Рисунок 1.2 – Узагальнена класифікація висівних апаратів овочевих сівалок

Найбільш перспективними й поширеними в Україні овочевими сівалками точного висіву є машини фірм Gaspardo (Італія) (рис. 1.3) [7] та MONOSEM (Франція) (рис. 1.4).

Серед них особливої популярності набула овочева сівалка Orietta компанії Gaspardo (рис. 1.3) [7], що відзначається високою точністю висіву, надійністю конструктивних вузлів та стабільністю технологічного процесу.

Сівалка вирізняється універсальністю, що дозволяє використовувати її для висіву широкого спектра овочевих культур. Наявність вакуумної системи очищення бункера забезпечує швидке та зручне видалення насіння при переналаштуванні агрегату. Завдяки впровадженню систем контролю якості висіву машина гарантує однонасінний розподіл без утворення двійників чи пропусків, що позитивно позначається на рівномірності формування площі живлення та подальшій врожайності.



Рисунок 1.3 – Овочева сівалка точного висіву Orietta виробництва Gaspardo

Овочева сівалка Monosem (рис. 1.4) здійснює точний висів овочевих культур завдяки застосуванню високоефективного пневматичного висівного апарата, який забезпечує стабільне відокремлення та подачу насінин у рядок.



Рисунок 1.4 – Овочева сівалка точного висіву моделі MS A виробництва Monosem

Контроль за дотриманням технологічних параметрів процесу висіву в сівалках Monosem здійснюється за допомогою електронного блока керування, який забезпечує моніторинг та стабільність роботи висівних секцій. Висівні диски виготовлено з нержавіючої сталі, що гарантує їхню довговічність та зносостійкість. Запатентована вакуумна система забезпечує формування однонасінного потоку та мінімізує ймовірність утворення двійників і пропусків.

У таблиці 1.1 наведено основні технічні характеристики овочевих сівалок серії MS виробництва Monosem.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики овочевих сівалок серії MS

Кількість рядів	2 і більше			
Серія	MS A	MS B/B2	MS C	MS D/D2
Посів	одно стрічковий		двох стрічковий	
Інтервали між стрічками, см	18 і більше	14-21	18 і більше	24 і більше
Ємність бункера для насіння, л	1,45-3,1			
Ємність бункера для добрих, л	174 л/2-рядки			
Диски для висіву	по вибору			
Ширина	від 2 м			
Підготовка ґрунту	якісна			

Основним недоліком розглянутих вище сівалок точного висіву є їхня нездатність здійснювати висів пророслого насіння, що має важливе значення для вирощування овочевих культур у посушливих регіонах України, зокрема в Дніпропетровській області.

Одним із шляхів розв'язання цієї проблеми є використання гідравлічних сівалок, які здатні забезпечити подачу пророслого насіння у складі рідинної суміші.

Розробленням конструкцій сівалок цього типу займалися такі науковці, як Бакум М.В., Улексін В.О., Ящук Д.А., Бойко В.Б. та ін.

Розглянемо процес посіву гідравлічною сівалкою (рис. 1.5) [9], конструкцію якої створено в Інституті овочівництва і баштанництва НААН України.

Робочий процес здійснюється за таким алгоритмом: посівний матеріал разом із водою та препаратами для його захисту подається до резервуара 7, де формується однорідна рідинно-насіннєва суміш для подальшого висіву.

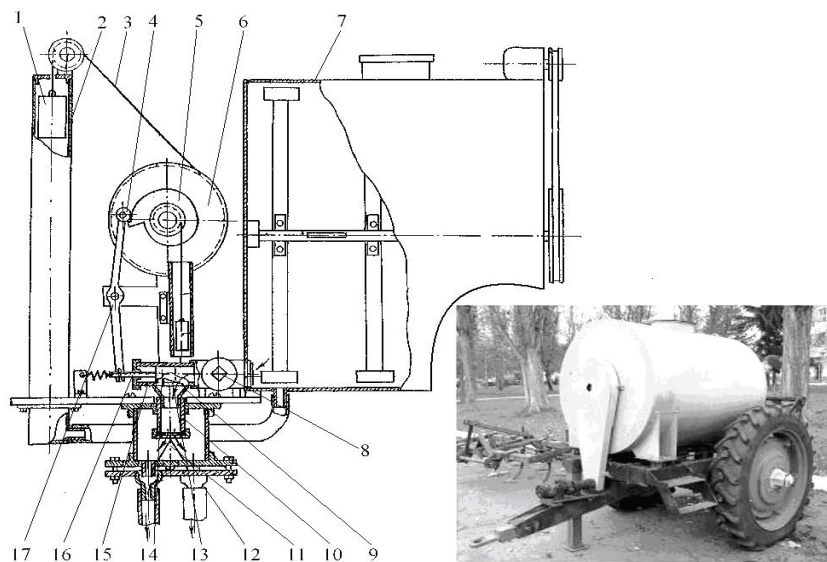


Рисунок 1.5 – Гідросівалка СГО-4,2

1 – поплавковий механізм; 2 – циліндр; 3 – шнур; 4 – роликове колесо; 5 – ексцентрик; 6 – шків; 7 – резервуар; 8 – запірна арматура; 9 – дозатор; 10 –

сопло; 11 – розподільник; 12 – вихідний патрубок; 13 – оглядове вікно; 14 – поршень; 15 – циліндр дозатора; 16 – шток дозатора; 17 – важіль дозатора.

У резервуарі гідросівалки проросле насіння за допомогою мішалки переходить у зважений стан. Після відкриття запірної арматури 8, синхронно з початком руху сівалки, відбувається подача рідинно-насіннєвої суміші до сошника та її виливання у борозну. Регулювання витрати рідини залежно від рівня в резервуарі здійснюється поплавковим механізмом 1 у поєднанні з виконавчими елементами дозатора 9.

Основною перевагою гідравлічної сівалки такого типу є можливість висіву саме пророслого насіння, що особливо актуально для овочевих культур. Проте недоліком є ймовірний характер розподілення насіння у рядку: насіння переміщується у потоці нерівномірно, що може спричиняти перевитрату посівного матеріалу та погіршувати рівномірність формування площі живлення.

Для усунення проблеми нерівномірного розподілення насіння на кафедрі тракторів і сільськогосподарських машин Дніпропетровського аграрно-економічного університету було розроблено гідравлічну сівалку точного висіву ГСТВ-1 (рис. 1.6) [10]. Її конструкція забезпечує формування стабільного інтервалу між насінинами та дозволяє висівати проросле насіння у визначені точки на полі.

За результатами польових випробувань на посівах томатів коефіцієнт варіації розподілення насіння у рядку становив 14 %, енергія проростання — 95 %, а лабораторна схожість — 98 %, що свідчить про високу якість посіву.



Рисунок 1.6 – Результати польових досліджень роботи гідравлічної сівалки
ГСТВ-1

Проте разом із перевагами під час експлуатації гідравлічної сівалки було виявлено і певні недоліки. Зокрема, частка двійників у посівах перевищувала 7 %, що пов'язано з недостатньою точністю роботи дозуючого механізму. Нестабільність процесу відбору насіння з рідинно-насінневої суміші призводила до порушення інтервалів між насінинами та погіршення якості формування рядка.

Для усунення зазначених недоліків і підвищення точності роботи гідросівалки необхідним є удосконалення процесу дозування насіння. Це передбачає розроблення нового конструктивного рішення дозуючого пристрою в поєднанні зі створенням електронної системи керування, що забезпечить синхронізацію роботи дозатора та стабільне формування однонасінного потоку.

1.2 Аналіз відмов та показників роботи гідравлічних сівалок

Посів овочевих культур здійснюється сівалками, обладнаними висівними апаратами різних типів і конструкцій. Щоб забезпечити високі агротехнічні показники, висівні апарати мають відповідати низці вимог: гарантувати

рівномірність розподілення насіння по глибині та в рядку, не допускати його пошкодження понад 0,5 %, а також стабільно формувати потік насіння за різних умов роботи.

Питанню підвищення якісних показників роботи сівалок присвячено численні дослідження вітчизняних і зарубіжних учених, серед яких праці П.М. Василенка, П.В. Сисоліна, М.О. Свіреня, В.П. Горячкіна, Л.В. Погорілого, М.В. Бакума, В.П. Чичкіна, Г.М. Бузенкова, С.А. Ма, В.М. Тарасенка, В.І. Пастухова та ін. [11–16].

Одним із ключових критеріїв оцінювання ефективності роботи сівалок є точність висіву, яка залежить від злагодженої роботи всіх елементів посівного агрегату, а насамперед — конструкції та стабільності роботи дозуючих пристроїв. Саме тому більшість наукових досліджень спрямовано на вдосконалення дозаторів, оскільки вони безпосередньо впливають на формування інтервалів між насінинами.

Важливою складовою, що визначає якість роботи сівалки, є також ємності для насіння. Основна вимога до них — забезпечення безперервного самопливного надходження насіння до дозатора без утворення заторів. Такі проблеми виникають унаслідок низької сипучості насіння або його високої концентрації в рідині — характерної для гідравлічних сівалок.

Усунути подібні порушення можливо шляхом застосування систем контролю технологічних параметрів роботи сівалки. Використання автоматизованих засобів діагностики дозволяє своєчасно виявляти й попереджувати відхилення у процесі висіву, особливо коли оператор не має можливості візуально оцінити роботу посівного агрегату [17, 18].

Для забезпечення контролю основних параметрів гідросівалки розглянемо послідовність технологічних операцій процесу висіву.

- Перший етап — перемішування насіння в рідині, формування псевдозрідженого шару.
- Другий етап — відбір насіння та подача його до насіннєпроводу.

- Третій етап — транспортування насіння по насіннєпроводу до ствола (процес заряджання).
- Четвертий етап — висів насіння в насіннєве ложе.

На виникнення відмов у роботі висівного апарата впливають випадкові фактори, які знижують якість посіву (рис. 1.7).

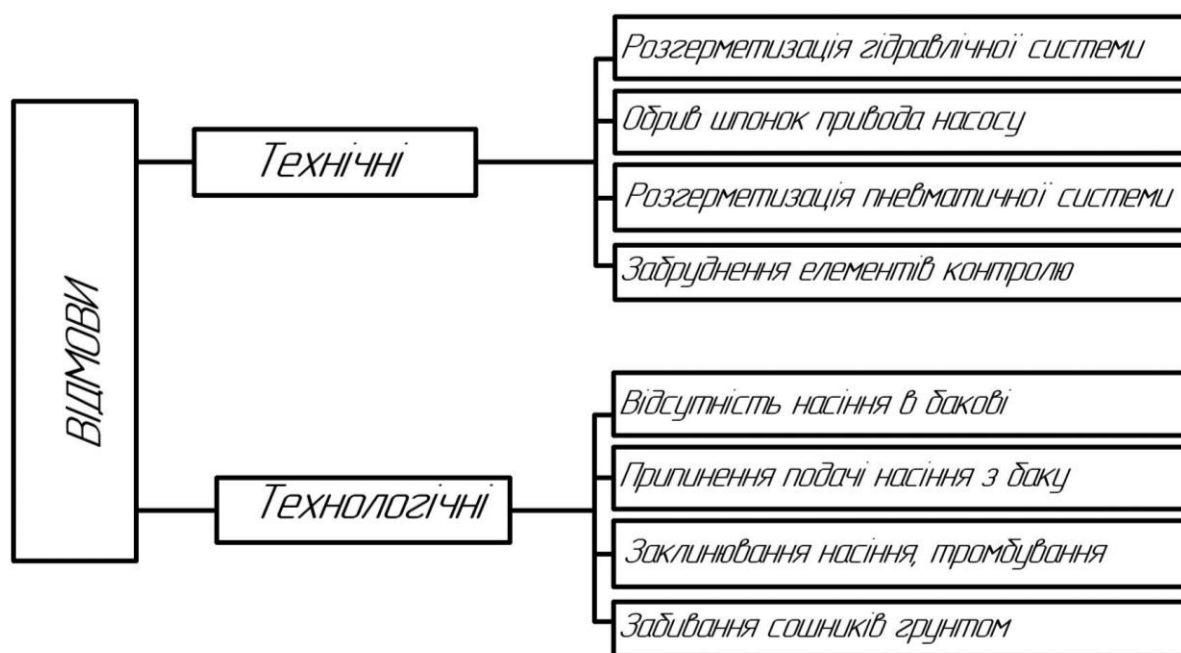


Рисунок 1.7 – Основні види відмов у роботі гідравлічної сівалки

На першому етапі роботи гідравлічної сівалки можливими причинами відмов є потрапляння у бак сторонніх домішок разом із насінням, відсутність насіння в резервуарі або утворення склепінь (сводоутворення).

На другому етапі порушення в роботі виникають переважно через тромбування входу до насіннєпроводу, що спричинене надмірною концентрацією насіння у псевдозрідженому шарі. Це призводить до істотних пропусків у рядку, а своєчасно виявити такі відхилення без застосування оптичних датчиків практично неможливо.

Одним із шляхів усунення тромбування є застосування регульованого приводу насоса, який забезпечуватиме оптимальну інтенсивність перемішування рідинно-насінневої суміші.

На третьому етапі відмови пов'язані з утворенням двійників, тобто одночасним переміщенням двох насінин по насіннєпроводу до ствола. Уникнути цього можна шляхом удосконалення дозувального вузла та застосування системи контролю проходження насіння, що дозволить забезпечити формування однонасінного потоку. Наявність двійників призводить до перевитрати насіння та потреби у додаткових операціях із проріджування [19, 20].

Основні відмови четвертого етапу пов'язані з роботою сошника. Це, зокрема, утворення заторів у сошнику внаслідок його забивання ґрунтом (до 65 % усіх відмов) та припинення подачі насіння після дозатора. Забивання сошника виникає переважно у перезволоженому ґрунті, коли липка маса осідає у внутрішніх порожнинах робочого органа. Відсутність подачі насіння до сошника може бути спричинена зависанням насіння у дозуючому пристрої або перед ним. Застосування датчиків контролю проходження насіння у напрямку до насіннєвого ложа дозволяє вчасно інформувати тракториста про виникнення такої відмови.

На основі проведеного аналізу відмов на різних етапах роботи гідравлічної сівалки до основних параметрів, які необхідно контролювати, належать:

- рівень насіння в резервуарі;
- оптична щільність (концентрація насіння) у зоні його відбору;
- рівномірність розподілення в дозаторі;
- кількість двійників і пропусків;
- герметичність гідравлічної та пневматичної систем;
- переміщення та стабільність швидкості руху сівалки.

Крім цього, можливе впровадження автоматизованого контролю і додаткових параметрів, які прямо або опосередковано впливають на якість посіву [21].

1.3 Аналіз систем керування та контролю роботи сівалок

Більшість сучасних сівалок для посіву просапних культур оснащується електронними системами керування та контролю, які забезпечують підвищення точності виконання технологічного процесу. Одним із прикладів таких пристроїв є система електронного контролю німецької компанії Miller Electronic (рис. 1.8).

Електронні засоби контролю та керування, інтегровані в конструкції посівних машин, дозволяють здійснювати оперативний моніторинг основних параметрів висіву: норми подачі насіння, кількості пропусків і двійників, стабільності роботи висівних секцій, а також підрахунок виробітку за зміну. Завдяки цьому механізатор своєчасно отримує інформацію про будь-які відхилення в технологічному процесі, що дозволяє оперативно реагувати та запобігати порушенням в якості посіву.

На сьогодні серійне виробництво електронних систем керування сівалками налагоджене низкою відомих зарубіжних і вітчизняних компаній, серед яких: Dicky-John, John Deere (США), RDS (Велика Британія), Hessel (Німеччина), Record (Україна), Нива (Україна) [22], та інші виробники.



Рисунок 1.8 – Монітор електронної системи керування та контролю роботи сівалок «Miller Electronic»

До групи сучасних електронних засобів керування посівними агрегатами належить і посівний монітор М 7000 компанії *John Deere*, призначений для

комплектації багаторядних сівалок точного висіву просапних культур. Система забезпечує одночасне керування та контроль роботи до 12 висівних секцій. Комплект обладнання включає фотоелектричні датчики контролю висіву, що встановлюються у насіннепроводах, магнітно-індукційний датчик шляху, а також пульт керування, розміщений у кабіні трактора.

На лицьовій панелі пульта передбачено:

- світлові індикатори секцій, у яких припинився висів насіння;
- трирозрядний цифровий індикатор фактичної норми висіву;
- перемикачі режимів роботи монітора та регулювання норми;
- чотиризначний лічильник засіяної площі з вимикачем;
- звуковий сигналізатор відхилень у технологічному процесі.

Фахівцями компанії Becker (Німеччина) створено електронно-інформаційний пристрій BMS 1500, призначений для контролю та оптимізації режимів роботи сівалок точного висіву. Система здійснює моніторинг швидкості руху агрегату та норми висіву по кожному рядку. У разі зниження параметрів швидкості, норми висіву або частоти обертання вентилятора більш ніж на 15 % від заданої величини активуються світловий і звуковий сигнали. За допомогою електромагнітної муфти пристрій може вмикати чи вимикати окремі посівні секції. Крім того, електромагнітний клапан забезпечує переведення секцій у транспортне чи робоче положення, а також піднімання та опускання маркера.

На сівалках *Easy Rider* (Німеччина) використовується система контролю норми висіву та фактичної витрати насіння на гектар із застосуванням дозувального пристрою, який приводиться в дію гідромотором. Частота обертання гідромотора регулюється електронним блоком. Мікропроцесор обробляє сигнали щодо пройденого шляху й кількості висіяного насіння, визначає фактичну норму висіву та порівнює її із заданою. У разі відхилень система автоматично коригує роботу дозатора. Крім цього, вона забезпечує

стабільну глибину загортання насіння шляхом зміни тиску в гідравлічній системі керування положенням сошників.

Фахівці компанії KINZE розробили комплексну систему керування та контролю, до складу якої входять датчики, кабелі, електронний блок та монітори КРМ II і КРМ III (рис. 1.9) [23]. На моніторі КРМ II у вигляді гістограми відображається середня норма висіву та норми висіву для кожного апарата окремо; у разі виникнення неполадок спрацьовує звуковий сигнал. Монітор КРМ III додатково відображає ширину міжрядь, середню відстань між насіннями в рядку, оброблену площу, швидкість руху сівалки та інші параметри. Результати можуть бути представлені як у цифровій, так і у гістограмній формі.



Дисплей КРМ III

Рисунок 1.9 – Електронна система контролю КРМ III виробництва KINZE

Вітчизняний виробник посівної техніки — компанія «Elvorti» — створив власну електронну систему керування та контролю роботи сівалок під назвою «Sputnik» (рис. 1.10) [24]. Ця система забезпечує моніторинг стану основних вузлів машини та оперативне виявлення відмов у їх роботі.

Інформація виводиться на монітор, розміщений у кабіні трактора, де відображаються:

- інтервали розміщення насіння в рядку;

- швидкість руху агрегату;
- коефіцієнт варіації розподілення насіння по полю;
- сигнали про можливі порушення у роботі висівних секцій.

Таким чином, система «Sputnik» підвищує точність посіву та дозволяє механізаторові оперативно реагувати на відхилення у технологічному процесі.



Рисунок 1.10 – Електронна система керування та контролю «Sputnik» компанії Elvorti

Особливу увагу заслуговує система керування та контролю роботи «Нива 23» компанії «Yeni» (Україна) (рис. 1.11). До її складу входять ємнісні датчики, встановлені перед сошниками кожної висівної секції, а також індукційні датчики, змонтовані на опорно-привідних колесах агрегату.

На інформаційному екрані системи відображаються такі параметри:

- показники висіву насіння по кожній секції окремо;
- швидкість руху посівного агрегату;
- засіяна площа;
- сигнали про відмови або відхилення від встановлених режимів [25].

Завдяки цьому механізатор отримує можливість у режимі реального часу контролювати якість роботи сівалки та оперативно реагувати на порушення технологічного процесу.

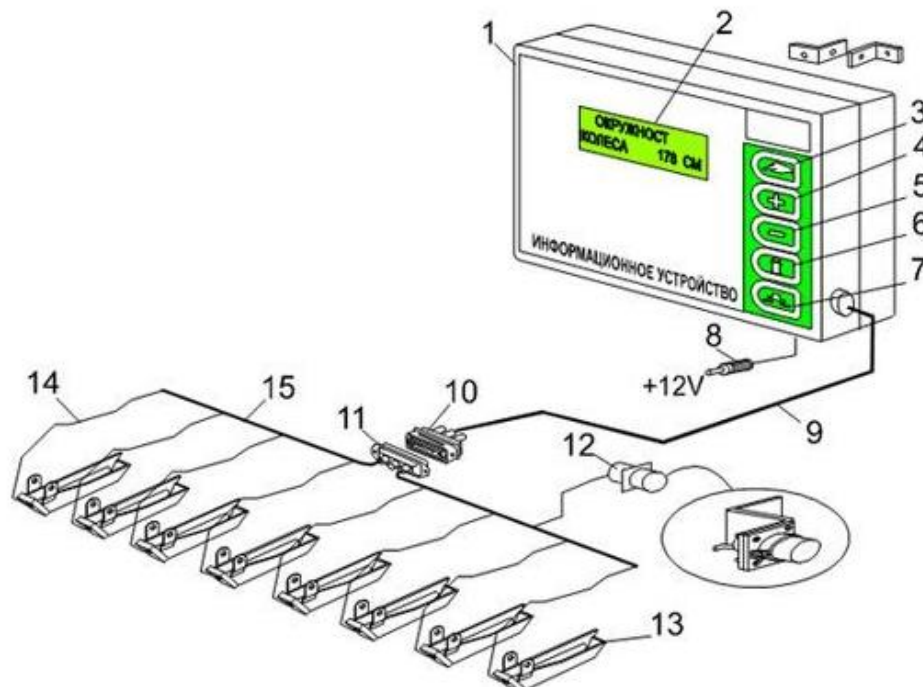


Рисунок 1.11 – Система керування і контролю «Нива 23»

1 – корпус; 2 – інформаційне табло; 3 – кнопка входу в меню; 4 – кнопка «+»; 5 – кнопка «-»; 6 – кнопка виклику інформації; 7 – кнопка увімкнення/вимкнення; 8 – роз'єм живлення «12 В»; 9 – кабель живлення; 10, 11 – комутаційна розетка та вилка; 12 – датчик руху; 13 – датчик контролю висіву; 14 – кабель датчика висіву; 15 – мережа з'єднувальних кабелів датчиків.

Система «Нива 23» забезпечує контроль кількості пропусків та двійників, відображаючи інформацію на табло у відсотковому співвідношенні. Датчик руху дозволяє визначати пробуксовування привідного колеса, що враховується під час калібрування системи перед початком роботи сівалки. Уся накопичена інформація щодо роботи кожної висівної секції зберігається у пам'яті пристрою протягом п'яти років, що забезпечує можливість аналізу параметрів роботи агрегату у динаміці.

Висновки

1. Найбільш перспективним напрямком для посушливих регіонів України є застосування гідравлічного способу висіву насіння. Використання пророслого насіння під час посіву дозволяє суттєво прискорити появу сходів — у середньому на 2–9 днів, що є важливим чинником у зонах з нестабільним або недостатнім зволоженням.

2. На основі проведеного аналізу існуючих систем керування та засобів контролю роботи посівних агрегатів встановлено, що впровадження електронних систем моніторингу дозволяє запобігати втратам урожаю завдяки своєчасному інформуванню механізатора про виникнення аварійних або нестабільних режимів роботи.

До ключових параметрів, які необхідно контролювати в процесі посіву, належать:

- наявність насіння в резервуарі;
- оптична щільність (концентрація насіння) у зоні його відбору;
- відсоток пропусків та двійників;
- норма висіву;
- стабільність надходження насіння до сошника;
- контроль герметичності гідравлічних та пневматичних систем.

Запровадження таких систем забезпечує підвищення точності посіву, зменшення перевитрат насіння та покращення рівномірності розподілення рослин у рядку.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Теоретичні передумови удосконалення гідравлічної сівалки точного висіву

Точність висіву традиційно залишається одним із ключових критеріїв оцінювання ефективності роботи сівалок, оскільки саме вона забезпечує формування оптимальної густоти стояння рослин. З метою реалізації координатного гідравлічного висіву в Дніпровському державному аграрно-економічному університеті була розроблена гідравлічна сівалка [10]. Під час проведення експериментальних досліджень її висівного апарата було встановлено, що розподіл насіння у насіннєпроводі перед дозуючим пристроєм має виражено ймовірнісний характер.

На наявність суттєвої нерівномірності розподілення насіння в рідинному середовищі гідросівалок вказують і результати досліджень інших учених [9, 30–32]. Основною причиною цього є процес перемішування рідини з насінням у резервуарі, у якому насіння розподіляється в об'ємі за ймовірнісним законом, що унеможливорює рівномірне надходження окремих насінин у канал дозатора.

Теоретичні дослідження [33] показали, що ступінь неоднорідності рідинно-насіннєвої суміші δ_n може бути визначений за виразом, у якому вона розраховується як відношення максимальної відстані $b_{\max}$ між сусідніми насінинами у насіннєпроводі до мінімальної $b_{\min}$:

$$\delta_n = b_{\max}/b_{\min} = (b_{cp} + \Delta)/(b_{cp} - \Delta) = (1 + \delta_0)/(1 - \delta_0), \quad (2.1)$$

де $b_{\max}$ – максимальний інтервал між насінням, м;

$b_{\min}$ – мінімальний інтервал між насінням $b_{\min} \geq 3d_n$, м;

Δ – абсолютне відхилення відстані між насінинами від середнього значення:

$\delta_0 = \Delta/b_{cp}$ – відносне відхилення відстані між насінинами

$$\Delta = \frac{b_{\max} - b_{\min}}{2}. \quad (2.2)$$

Враховуючи, що $b_{\min} \geq 3d_H$, знаходимо, тоді $b_{\max} \leq \delta_H \cdot 3d_H$.

Середнє значення інтервалів між насінинами у насіннепроводі можна визначити за таким рівнянням:

$$b_{cp} = \frac{b_{\max} + b_{\min}}{2} = \frac{(\delta_H \cdot 3d_H + 3d_H)}{2} = 1,5 \cdot d_H \cdot (\delta_H + 1). \quad (2.3)$$

Перехід насіння з бака до насіннепроводу є випадковим процесом, що відбувається за умови рівномірного перемішування насіння в об'ємі рідини. На характер його розподілу впливають такі фактори, як парусність насіння, його форма та геометрія, щільність, стан поверхні, а також швидкість руху псевдозрідженого шару та інші гідродинамічні параметри.

Головним завданням дозатора висівного апарата є забезпечення однонасінного відбору пророслого насіння з рідинно-насінневої суміші та його подача у рядок із заданим інтервалом. Саме формування стабільного інтервалу між насінинами визначає рівномірність посіву і, відповідно, якість роботи гідросівалки.

У загальному випадку точність висіву τ_n оцінюють за кількістю пропусків висіву пророслого насіння відносно загальної кількості відборів, тобто як відсоткове значення невідповідності фактичного процесу ідеальному однонасінному висіву.

$$\tau_n = \left(\frac{N_z - N_n}{N_z} \right) \cdot 100\% \quad (2.4)$$

де N_z – задана число висівів;

N_n – число пропусків.

2.2 Конструкція дозатора висівного апарата гідравлічної сівалки

Спроби усунути проблему ймовірного розподілення насіння в рідинно-насіньовій суміші здійснювалися різними шляхами: удосконаленням конструкції мішалок [31], створенням регуляторів витрати рідини з насінням [32] тощо. Однак зазначені технічні рішення не забезпечили суттєвого підвищення рівномірності відбору насіння та не дозволили досягти необхідної точності висіву.

Для ефективного розв'язання цієї проблеми в даній роботі запропоновано удосконалення конструкції гідравлічної сівалки [10] шляхом розроблення та встановлення нового дозатора насіння, оснащеного оптичними датчиками контролю та електронною системою керування технологічним процесом гідровисіву. Таке конструктивне рішення дозволяє синхронізувати моменти відбору насіння, забезпечити однонасіньовий потік та мінімізувати кількість пропусків і двійників.

На рисунку 2.1 подано конструкцію розробленого дозатора насіння висівного апарата гідравлічної сівалки.

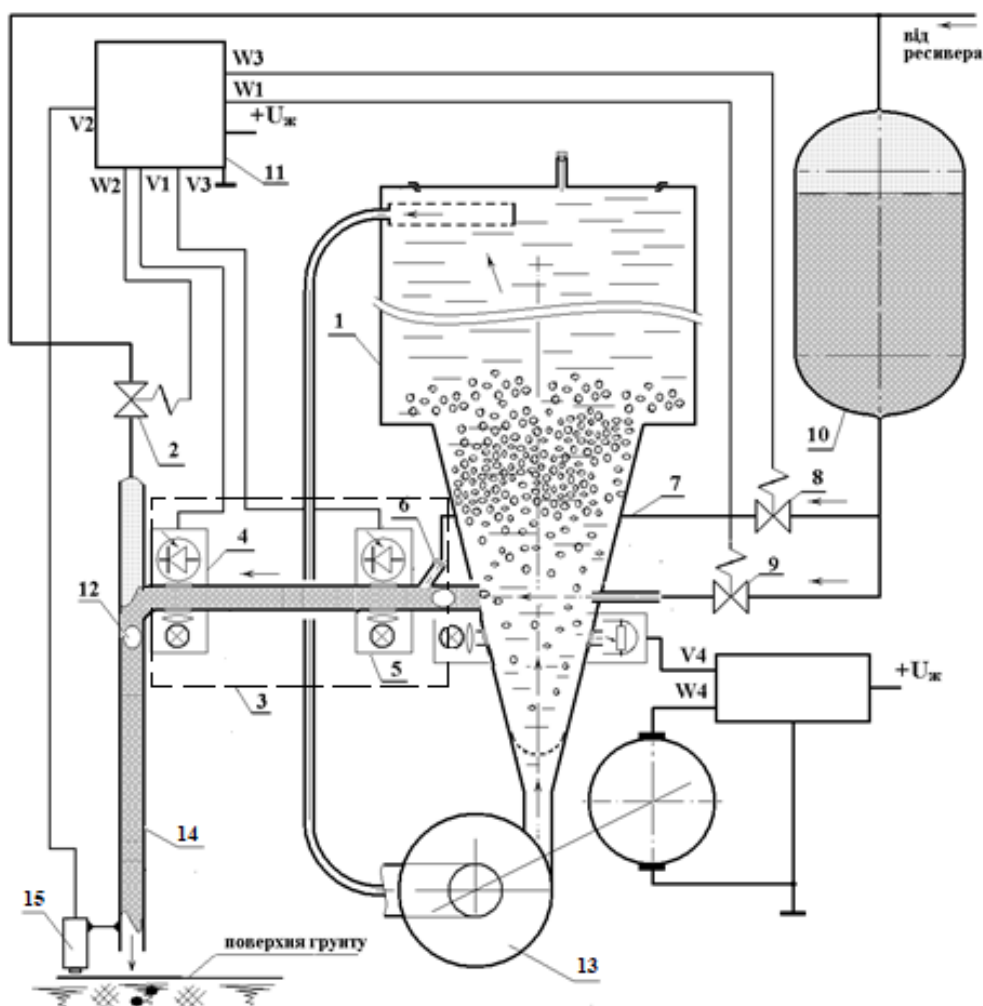


Рисунок 2.1 – Висівний апарат гідравлічної сівалки з удосконаленим дозатором 1 – бак для насіння; 2 – електричний пневмоклапан; 3 – дозатор насіння; 4, 5 – оптичні датчики контролю проходження насіння; 6 – штуцер дозатора; 7 – магістраль подачі рідини; 8, 9 – електричні гідроклапани; 10 – резервуар для рідини; 11 – електронний блок керування; 12 – насіння; 13 – насос; 14 – висівний ствол; 15 – датчик переміщення.

Робота сівалки з удосконаленою конструкцією дозатора 3 здійснюється таким чином. Після завантаження насіння та рідинної суміші до бака 1 електронний блок керування 11 активує насос 13 для підтримання псевдозрідженого шару насіння в зоні його забору дозатором 3.

Далі за керуючим сигналом W1 електронного блока відкривається електрогідроклапан 9. Рідина з резервуара 10 через відкритий клапан 9 витісняє

проросле насіння 12 з бака 1 у напрямку до оптичного датчика 5. Після фіксації проходження насіння датчиком 5 клапан 9 закривається. У момент його закриття блок керування подає сигнал W3, за яким відкривається електрогідроклапан 8.

Під дією тиску рідина крізь відкритий клапан 8 та штуцер 6 надходить до дозатора 3, переміщуючи насіння, яке очікує у камері дозатора, далі у напрямку до оптичного датчика 4 висівної секції. На цьому етапі висівний апарат заряджено та підготовлено до висіву.

За сигналом V2, що надходить від датчика переміщення 15, електронний блок керування активує електропневмоклапан 2. Після його відкриття насіння зі ствола 14 стисненим повітрям виштовхується у насіннєве ложе, сформоване сошником (на рисунку не показано).

Запропонована конструкція дозатора гідравлічної сівалки забезпечує підтримання стабільних інтервалів між насінинами. Використання розробленого алгоритму дозволяє суттєво зменшити варіацію розподілення насіння в рядку та підвищити точність координатного висіву.

2.3 Розробка електронної системи керування гідросівалки

Використовуючи агрегатний метод проектування [34, 35], було розроблено електронну систему керування гідравлічною сівалкою (рис. 2.2), яка забезпечує узгоджену та стабільну роботу всіх основних її вузлів.

Джерелом живлення 1 системи обрано гелевий акумулятор Full Energy 9АН, який забезпечує необхідну автономність та стабільність живлення електронних компонентів.

Як оптичні датчики контролю проходження насіння застосовано оптопари КТІR 0911S (позиції 4, 5, 7, 8), що характеризуються високою чутливістю, надійністю та малою інерційністю, що є критично важливим при роботі з швидкоплинним потоком насіння.

Враховуючи параметри пневматичної та гідравлічної частин гідросівалки,

як запірні елементи для управління подачею рідини та стисненого повітря було обрано електрогідравлічні та електропневматичні клапани серії SV-F-DC12V (позиції 9–11). Ці клапани придатні для роботи як із газоподібними, так і рідинними середовищами, що робить їх оптимальними для комбінованої гідро-пневматичної системи дозування.

За результатами попередніх експериментальних досліджень процесу створення псевдозрідженого шару насіння встановлено, що найкраще для забезпечення перемішування підходить помпа склоомивача автомобіля OEM 2110-5208009. Вона має достатню продуктивність у межах 0,5–0,7 л/хв, що дозволяє ефективно підтримувати рівномірне перемішування насіння у рідині та створювати необхідні умови для його стабільного відбору дозатором.

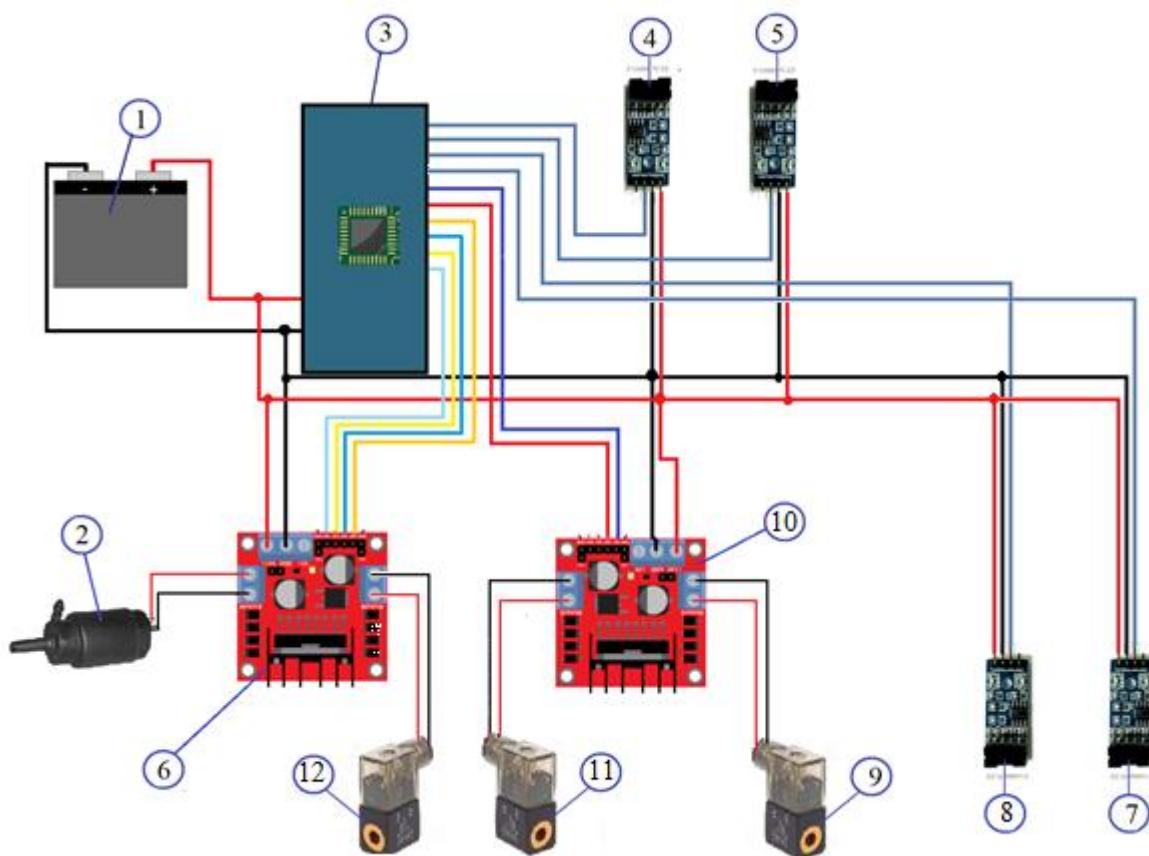


Рисунок 2.2 – Схема електронної системи керування гідросівалкою

1 – акумулятор; 2 – електронасос; 3 – електронний блок керування; 4 – оптичний датчик концентрації насіння; 5 – оптичний датчик переміщення сівалки; 6 – драйвер керування насосом та пневматичним клапаном; 7, 8 –

оптичні датчики дозатора; 9, 11 – електрогідравлічні клапани; 10 – драйвер керування клапанами; 12 – електропневматичний клапан.

Підтримання заданої концентрації насіння в камері дозатора забезпечується роботою оптичного датчика концентрації 4, драйвера-регулятора 6 та електронасоса 2. Коригування здійснюється шляхом автоматичної зміни витрати насоса, що дозволяє стабілізувати кількість насіння у псевдозрідженому шарі та забезпечити рівномірний відбір його дозатором.

Електронний блок керування 3 координує роботу всіх елементів електронної частини гідросівалки. Електронний блок (рис. 2.3) реалізує такі функції:

- ручне керування гідравлічними та пневматичними електроклапанами;
- автоматичне керування гідравлічними та пневматичними електроклапанами з частотою 4...30 Гц, що забезпечує стабільність роботи дозатора та точність формування інтервалів висіву;

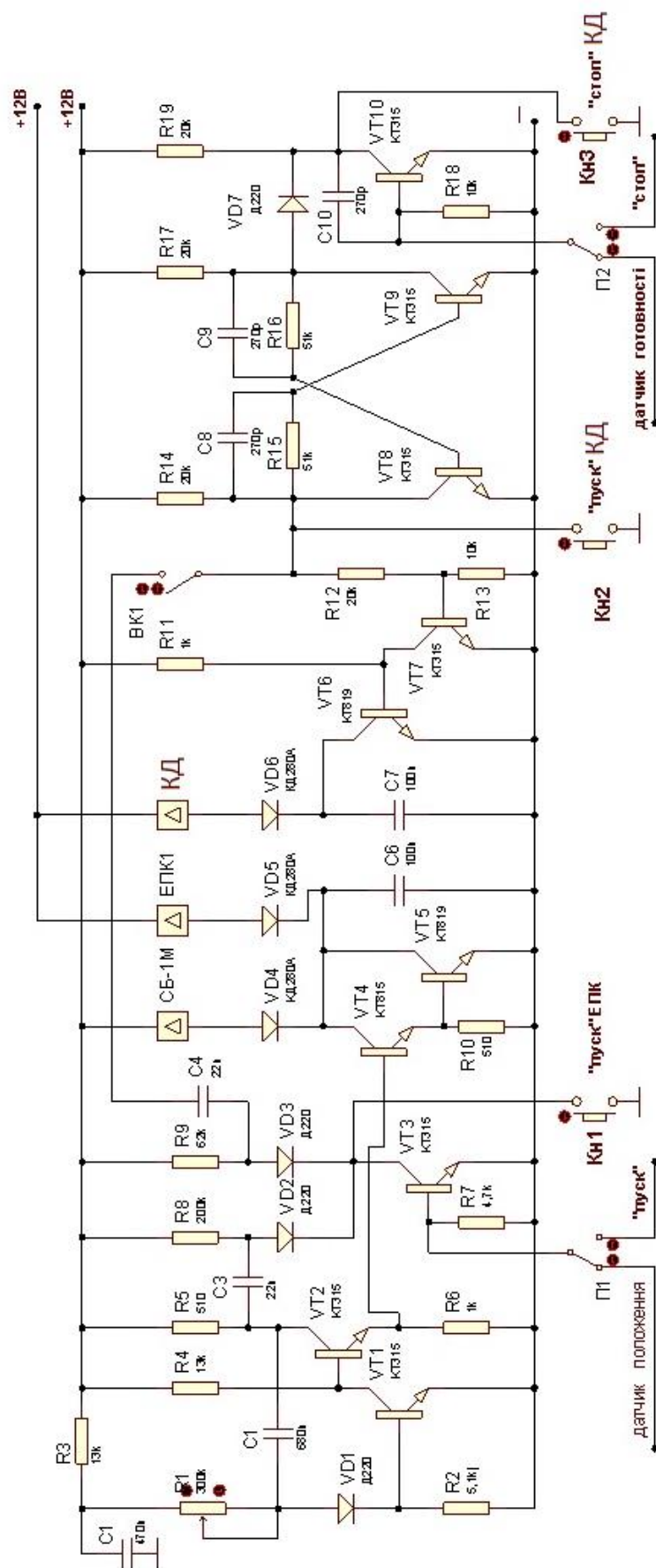


Рисунок 2.3 – Схема электронного блока керування гідросівалкою

- регулювання тривалості відкривання електропневматичного клапана в межах 5...45 мс та електрогідравлічного клапана в межах 5...140 мс;
- керування гідравлічними клапанами на основі сигналів оптичних датчиків дозатора насіння;
- керування пневматичним клапаном за сигналами оптичного датчика переміщення сівалки.

Керування електропневматичним клапаном здійснюється транзисторним ключем, сформованим на транзисторах VT4 та VT5. Комутація електрогідравлічних клапанів реалізована за допомогою ключа на транзисторі VT6, робота якого узгоджується з інвертором на транзисторі VT7. Захист силових транзисторних ключів забезпечено конденсаторами C5–C7 та діодом VD6, що запобігає імпульсним перенапругам у момент вимикання індуктивного навантаження.

Керування електропневматичним клапаном за сигналом датчика переміщення сівалки або у ручному режимі (через кнопки Кн2 і Кн3) реалізовано тригером на транзисторах VT8 та VT9. Тривалість відкривання електропневматичного клапана встановлюється за допомогою резистора R1, конденсатора C2 та одновібратора, виконаного на транзисторах VT1 і VT2.

Розв'язку між виходами одновібратора і тригера забезпечують діоди VD2 та VD3, що гарантує коректну роботу схеми та запобігає взаємному впливу функціональних блоків.

2.4. Дослідження особливостей роботи оптичних датчиків дозатора

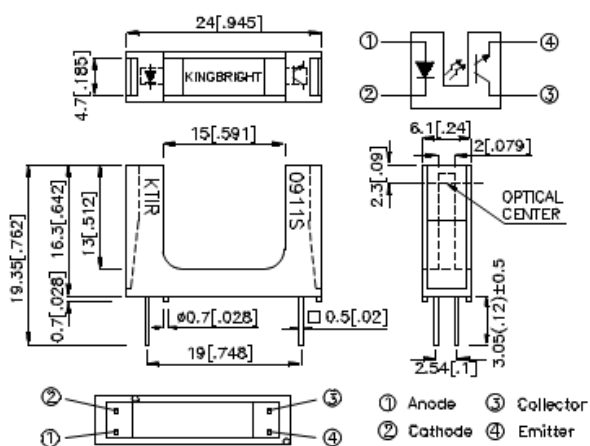
Як оптичні датчики дозатора насіння у висівному апараті гідросівалки застосовано щілинні оптопари відкритого типу KTIR0911S (рис. 2.4). Їх вибір здійснювався відповідно до геометричних параметрів насінневого каналу дозатора: ширина 14 мм, висота 16 мм, а також з урахуванням чутливості приймальної частини.

За результатами попередніх досліджень встановлено, що обрані оптичні датчики впевнено реєструють проходження насіння діаметром 1,5 мм і більше. При роботі з насінням меншого розміру виникають пропуски фіксації, що знижує ефективність функціонування дозатора. Подолати цю проблему можливо шляхом модернізації датчика — зокрема, установленням світлорозсіювачів, які збільшують площу ефективного сприйняття фотопотоку. Детальне доопрацювання та експериментальні дослідження оптичних датчиків буде наведено у наступному розділі.

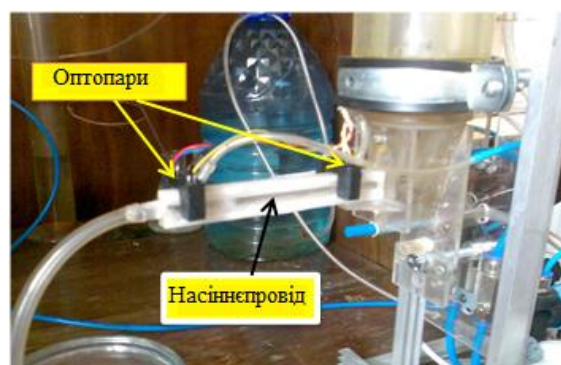
Основним параметром оптичного датчика є струм колектора I_K приймального фототранзистора. Цей струм формується з таких складових:

- первинного фотоструму I_ϕ ;
- інжекційного струму I_i ;
- теплового струму I_{K0} .

$$I_K = I_\phi + I_i + I_{K0}, \quad (2.5)$$



а



б

Рисунок 2.4 – Оптичні датчики дозатора

а – конструктивне креслення відкритої щілинної оптопари KTIR 0911S;

б – схема розміщення оптичних датчиків на насіннєвому каналі дозатора.

Після проведеного удосконалення оптичні датчики дозатора, завдяки збільшеній зоні чутливості до 10 мм та застосуванню підсилювача сигналу, забезпечують надійну реєстрацію проходження насіння різних розмірів. Використання інфрачервоного спектра випромінювання дозволило суттєво зменшити кількість хибних спрацювань під час роботи дозатора.

Попередня перевірка функціонування формуючої ланки підтвердила доцільність подальших досліджень оптичних датчиків, зокрема визначення їхньої ефективної зони чутливості та можливостей її розширення в реальних умовах роботи оптопари.

Основні технічні параметри застосованої оптопари наведено у додатку А.

2.5 Визначення основних параметрів гідросівалки

До основних параметрів гідросівалки належать: швидкість руху насіння разом із рідиною в зоні дозатора, величина та швидкість виштовхування насіння з висівного ствола, довжина ствола, довжина насіннєпроводу дозатора, тиск виштовхування насіння зі ствола та інші експлуатаційні характеристики. Ці параметри визначають точність формування інтервалів між насінинами та загальну якість висіву.

Довжину висівного ствола визначають із умови забезпечення стабільного формування насіннєвого потоку та виключення можливості передчасного випадання або пригальмовування насіння. У загальному випадку вона визначається за співвідношенням:

$$L_C \geq (1 + \delta_o) \cdot l_n = (1 + \delta_o) \cdot n_z \cdot 6 \cdot d_n \cdot \left(\frac{d_c}{d_{nn}} \right)^2 \quad (2.6)$$

d_n – діаметр насінини, м;

l_n – довжина водяного стовпа у висівному стволі, м;

d_c – діаметр висівного ствола, м;

d_{nn} – діаметр насіннєпроводу дозатора, м;

n_z – кількість насінин, що подаються в одне гніздо, шт.

Величину тиску газу в стволі P_z на початку процесу виштовхування насіння разом із рідиною можна визначити за таким виразом:

$$P_z = (\rho_p \cdot l_n) \cdot \left(\frac{d^2 s}{dt^2} \right), \quad (2.7)$$

де ρ_p – щільність рідини, кг/м³;

$d^2 s/dt^2$ – прискорення руху насіння та рідини, м/с².

Величину тиску газу в стволі P_z наприкінці процесу виштовхування насіння визначають за таким рівнянням:

$$P_z = \rho_p \cdot L_c \cdot \left(\frac{d^2 s}{dt^2} \right) \quad (2.8)$$

де l_c – довжина ствола, заповненого газовим середовищем, м.

Час висіву насіння визначають за виразом:

$$t_B = t_c + \frac{L_c}{v_{nc}}, c \quad (2.9)$$

де t_c – час відкриття пневмоклапана, с;

v_{nc} – швидкість руху пульпи (суміші насіння та рідини) у стволі, м/с.

Швидкість руху пульпи у висівному стволі визначається за виразом:

$$v_{nc} = \frac{P_z}{S_c} \quad (2.10)$$

де S_c – площа поперечного перерізу висівного ствола, м².

Час заряджання насіння дозатором t_3 визначають за рівнянням:

$$t_3 = \left(\frac{n_z \cdot 12 \cdot d_n \cdot \rho_p \cdot L_n}{(P_B - \Delta P)} \right)^{0,5} \quad (2.11)$$

де P_B – тиск рідини, МПа;

ΔP – падіння тиску у насіннєпроводі, МПа;

L_n – довжина насіннєпроводу дозатора, м.

Тоді загальний час робочого циклу визначають за рівнянням:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{з}} + t_{\text{в}} + t_{\text{о}} \quad (2.12)$$

де $t_{\text{о}}$ – час очікування, с.

Максимальну робочу швидкість гідросівалки визначають за таким рівнянням:

$$v_B = \frac{L_{\Gamma}}{t_{\text{ц}}}, \text{ м / с.} \quad (2.13)$$

де L_{Γ} – інтервал між висівами в рядку, м.

Інтервальне розміщення насіння в рядку та фактична норма його висіву визначаються виходячи з умов руху овочевої сівалки.

Дійсну норму висіву насіння H , шт/га визначають за рівнянням:

$$H = \frac{Q}{L_{\kappa}} \quad (2.14)$$

де Q – кількість висіяного насіння, шт;

L_{κ} – пройдений сівалкою шлях, м.

Висновки

За результатами теоретичних досліджень встановлено, що ступінь неоднорідності рідинно-насіннєвої суміші δ_n можна визначити за рівнянням (2.1), а точність висіву — за кількістю пропусків у рядку відповідно до рівняння (2.4).

Запропонована конструкція дозатора забезпечує усунення проблеми нерівномірної подачі насіння до висівної частини гідросівалки. Розроблена електронна система керування дає змогу реалізувати алгоритм узгодженої

роботи дозатора з гідравлічними та пневматичними запірними елементами машини.

Теоретично визначено зону чутливості оптичного датчика та виконано його модернізацію, що дозволило розширити чутливу область до максимального значення — 10 мм. У результаті датчик здатний надійно ідентифікувати насіння різних розмірів.

Визначено основні параметри гідросівалки, і з урахуванням їхніх особливостей отримано рівняння, що дозволяють точно розраховувати робочі параметри процесу гідровисіву.

3 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Програма досліджень

Використовуючи загальноприйняті методики проведення експериментальних досліджень [36], для перевірки отриманих теоретичних результатів та визначення оптимальних конструкційних і режимних параметрів розробленої електронної системи керування гідросівалкою було сформовано програму та методику експериментальних досліджень.

Програма досліджень передбачає виконання таких етапів:

1. Лабораторні дослідження оптичних датчиків дозатора насіння, спрямовані на оцінювання їх чутливості, стабільності роботи та можливостей удосконалення.
2. Дослідження роботи дозатора висівного апарата гідравлічної сівалки, визначення характеру відбору насіння та особливостей його руху в дозаторі.
3. Лабораторні випробування висівного апарата з модернізованим дозатором, встановлення бажаних значень конструктивно-технологічних параметрів гідросівалки, оснащеної електронною системою керування.
4. Польові дослідження гідросівалки з розробленою електронною системою, проведені для оцінки точності висіву, стабільності інтервалів та загальної ефективності роботи посівного агрегату.

3.2 Методика та результати досліджень оптичних датчиків дозатора подачі насіння

Фотодатчики є одним із ключових елементів електронної системи керування сівалкою, оскільки саме від їхньої коректної роботи залежить точність висіву посівного агрегату. Попередні дослідження показали, що за ширини насіннєпроводу 10 мм стандартні оптичні датчики не завжди фіксують

проходження насінини поблизу стінок каналу, що пов'язано з обмеженою зоною їх чутливості (рис. 3.1, а).

Усунення цієї проблеми можливе шляхом встановлення світлорозсіювачів з обох боків датчика (рис. 3.1, г), що дозволяє розширити ефективну чутливу зону. Однак таке вдосконалення супроводжується зниженням рівня вихідного сигналу, що потребує застосування підсилювача сигналу фотодатчика. Принципову електричну схему підсилювача наведено на рисунку 3.2.

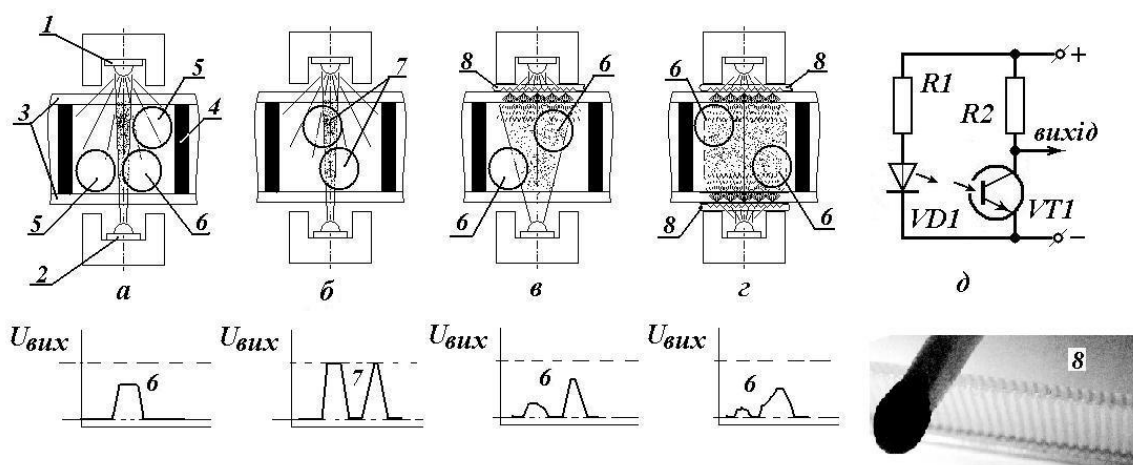


Рисунок 3.1 – Розподілення насіння в каналі дозатора

а, б – робота оптичного датчика без розсіювача; в – застосування розсіювача з одного боку; г – застосування розсіювачів з обох боків; д – електрична схема оптичного датчика. 1 – LED-випромінювач VD; 2 – фотоприймальний транзистор VT; 3 – прозорі стінки каналу; 4 – непрозорі стінки каналу дозатора; 5 – насінина в «мертвій зоні» чутливості; 6 – насінина при частковому затіненні оптичного каналу; 7 – насінина при повному затіненні оптичного каналу; 8 – світлорозсіюючий фільтр.

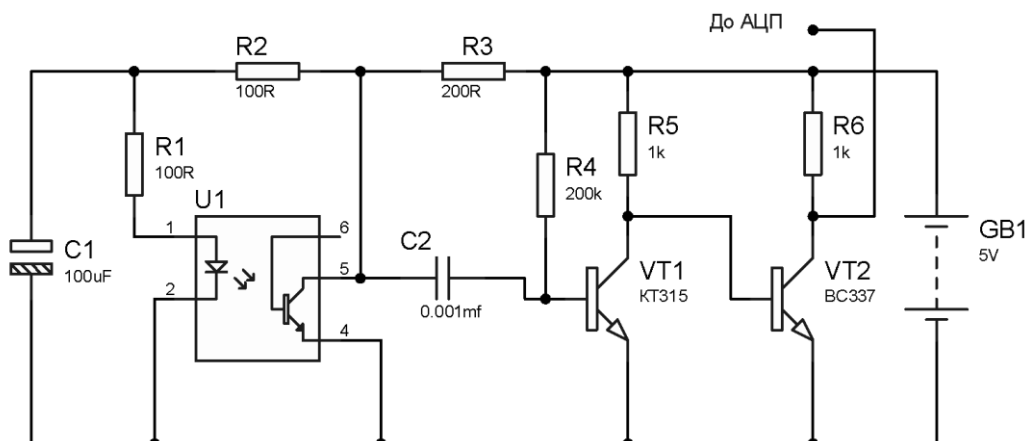


Рисунок 3.2 – Підсилювач сигналу оптичного датчика

Для підвищення ефективності роботи оптичних датчиків було проведено дослідження їхньої сумісної роботи з удосконаленою конструкцією світлорозсіювача та підсилювача вихідного сигналу. Такі рішення дали змогу істотно розширити зону чутливості датчиків і забезпечити надійне виявлення насіння різних розмірів у каналі дозатора.

На рисунку 3.3 показано один із прикладів розширення чутливої зони оптичного датчика. Встановлення розсіювальних фільтрів з боку фотоприймального транзистора та випромінювача оптопари дозволило збільшити зону чутливості з 2 мм до 10 мм, що підтверджено експериментальними дослідженнями.

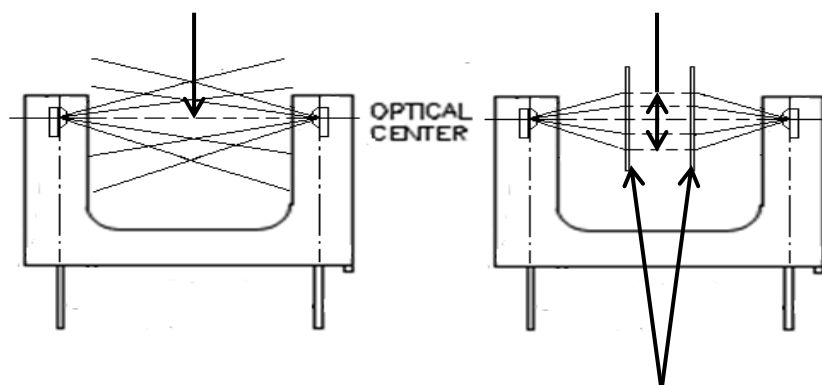


Рисунок 3.3 – Розширення зони чутливості оптичного датчика

Для виготовлення світлорозсіювачів були випробувані фільтри з фторопласту, поліуретану та органічного скла з призматичною поверхнею. За результатами досліджень встановлено, що найкращі оптичні властивості та найефективніше розсіювання забезпечує фільтр, виготовлений з оргскла з призматичною структурою поверхні (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Розсіювання світлового променя різними типами фільтрів

Використання фільтрів із органічного скла з призматичною поверхнею значно розширило функціональні можливості оптичної пари відкритого типу.

Для оцінки ефективності запропонованого удосконалення оптичних датчиків було розроблено спеціальний дослідний стенд (рис. 3.5). Стенд складається з диска 1, виготовленого з прозорого матеріалу, який наводиться в рух за допомогою колекторного електродвигуна. Поблизу периферійної частини диска розташовані затінювачі А, що імітують імовірне просторове розміщення насіння у каналі дозатора шириною S , який перекривається фотодатчиком 3.

Застосування електричного приводу забезпечує можливість зміни швидкості руху диска, що дозволяє моделювати різні швидкості проходження насіння у каналі дозатора та досліджувати роботу датчика в умовах, наближених до реальних.

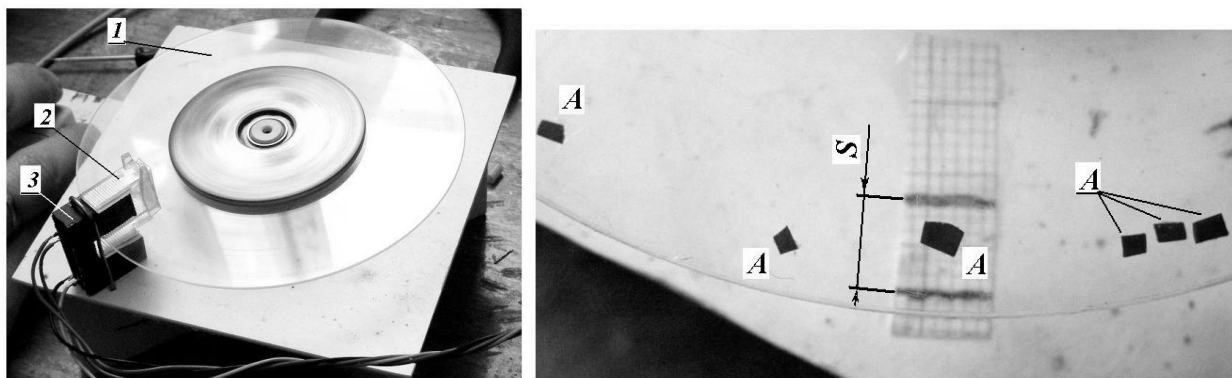


Рисунок 3.5 – Стенд для діагностики роботи оптичних датчиків

1 – диск із прозорого матеріалу; 2 – світлорозсіювальний фільтр; 3 – оптичний датчик; А – затінювачі, що імітують насіння; S – ширина каналу дозатора.

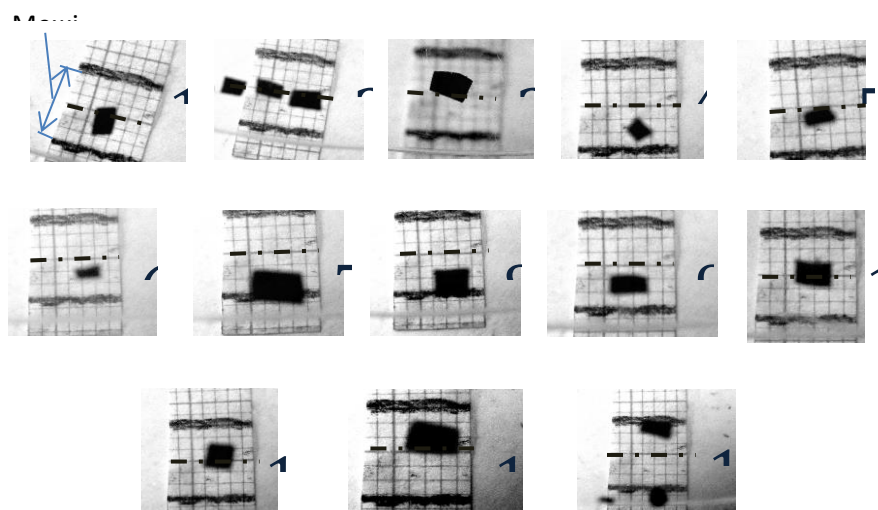


Рисунок 3.6 – Можливі варіанти розташування насіння в каналі дозатора

Дослідження проводилися в такій послідовності. На стенді фіксували оптичний датчик із дослідним розсіювачем. Розсіювачі встановлювалися по черзі, кожен — із різним коефіцієнтом розсіювання. Після цього задавали швидкісний режим руху імітованого насіння в каналі дозатора: 0,5 м/с, 1 м/с та 1,5 м/с. За допомогою осцилографа здійснювали реєстрацію сигналу від оптичного датчика з подальшим аналізом отриманих імпульсів.

За результатами проведених досліджень, відповідно до запропонованої методики, отримано осцилограми на різних режимах, одна з яких наведена на рисунку 3.7 для максимальної швидкості руху насіння 1,5 м/с.

У першому випадку (рис. 3.7, а) дослідження проводили без розсіювача, тобто коефіцієнт розсіювання становив 0 %.

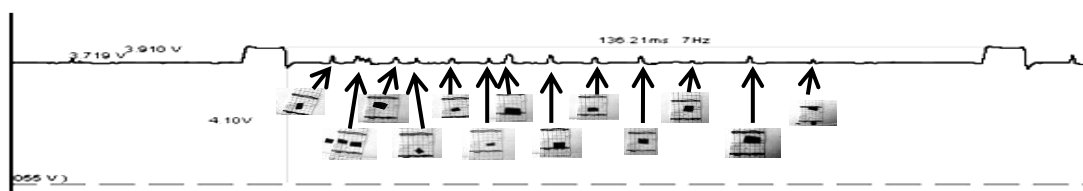
У другому варіанті застосовувався розсіювач із коефіцієнтом розсіювання приблизно 90 %.

Аналіз результатів свідчить, що амплітуда імпульсу, сформованого оптичним датчиком, залежить від положення насінини відносно зони його чутливості. З отриманої осцилограми видно, що за відсутності розсіювача ефективна зона чутливості датчика становить близько 2 мм.

Беручи до уваги ширину пульпопроводу (10 мм) і мінімальний діаметр насінини (2 мм), існує висока ймовірність того, що насінина пройде поза чутливою зоною та залишиться невиявленою датчиком.



а



б

Рисунок 3.7 – Порівняльні осцилограми роботи оптичного датчика
а – без застосування розсіювача; б – із застосуванням розсіювача.

Усунення виявленої проблеми можливе шляхом застосування світлорозсіювальних фільтрів. Використання розсіювача забезпечує надійну фіксацію кожної насінини, що проходить через канал дозатора, оскільки відбувається суттєве розширення зони чутливості оптичного датчика.

Як видно з осцилограм (рис. 3.7, б), рівень сигналу, сформованого датчиком під час проходження насіння у різних положеннях по ширині каналу, практично однаковий. Це підтверджує високу ефективність використання розсіювачів такого типу.

Додаткове застосування підсилювача сигналу дозволяє сформувати стабільну та чітку реакцію електронної системи на імпульси оптичного датчика, забезпечуючи надійну роботу дозатора та підвищуючи точність процесу висіву.

3.3 Методика та результати досліджень висівного апарату з удосконаленим дозатором подачі насіння

Висівний апарат гідросівалки повинен забезпечувати точний висів пророслого насіння одночасно з подачею необхідної кількості рідини та засобів захисту й стимуляції росту. Як зазначалося вище, основним недоліком гідравлічних сівалок є нерівномірність висіву, що зумовлена ймовірним характером розподілення насіння під час перемішування в бакові та подальшого виливання пульпи у борозну, сформовану сошником.

На рисунку 3.8 наведено загальний вигляд висівного апарата з удосконаленим дозатором подачі насіння, який дозволяє суттєво підвищити рівномірність розподілення насіння в рядку при роботі гідросівалки.

Формуюча ланка дозатора включає два оптичні датчики 4 і 5, розміщені відповідно на вході та виході каналу дозатора 3, а також гідроклапан із додатковою магістраллю 6 підведення рідини.

Робота дозатора відбувається таким чином. Після чергового висіву насіння електронний блок керування 10 подає команду на відкривання електрогідравлічного клапана 9. Під дією тиску рідина з резервуара 7 надходить до бака 1 з насінням, витісняючи його до каналу дозатора 3.

У момент, коли насінина проходить точку встановлення датчика 5, формується імпульс, який надходить до електронного блока управління та викликає закриття клапана 9 і одночасне відкривання електрогідравлічного

клапана 8. З цього моменту подача насіння з бака припиняється, а переміщення насінини каналом відбувається за рахунок потоку рідини, що надходить через додаткову магістраль 6.

Формування інтервалу між насінинами завершується в момент проходження насінниною оптичного датчика 4. Сигнал з нього приводить до закриття електрогідравлічного клапана 8, що припиняє подачу рідини по додатковій магістралі. Після цього висівний апарат переходить у стан готовності до наступного циклу висіву.

Реалізація запропонованої конструкції дозатора стала можливою завдяки розробленому електронному блоку керування гідросівалкою, який забезпечує узгоджену роботу всіх елементів системи.

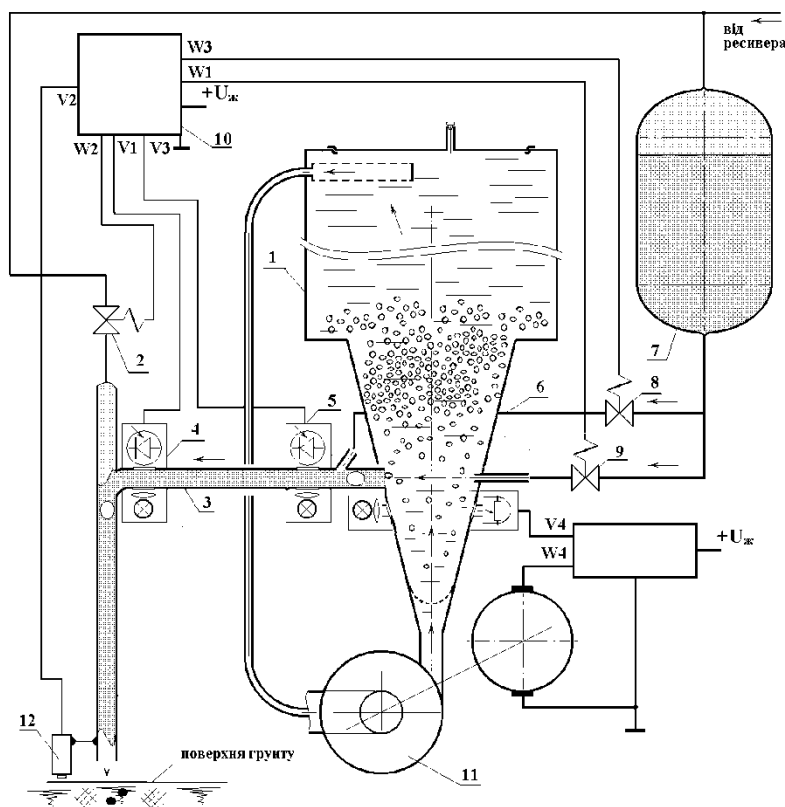


Рисунок 3.8 – Удосконалений висівний апарат гідросівалки

1 – бак для насіння; 2 – електропневматичний клапан; 3 – дозатор; 4, 5 – оптичні фотодатчики; 6 – додаткова магістраль подачі рідини; 7 – бак для

рідини; 8, 9 – електрогідравлічні клапани; 10 – електронний блок керування; 11 – електронасос; 12 – датчик переміщення сівалки.

Для дослідження впливу запропонованого дозатора на точність посіву гідравлічної сівалки була розроблена лабораторна установка (рис. 3.9).

До складу дослідної установки входить барабан 1, який моделює висівні гнізда на полі. На його поверхні розміщено 12 насіннєвловлювачів, виготовлених із пластикових стаканчиків (рис. 3.10, а). Барабан приводиться в рух за допомогою регульованого електроприводу МЕ-241.

Датчик переміщення 11 (геркон) реагує на магніти, закріплені навпроти кожного з висівних гнізд. Після отримання імпульсу від датчика 11 електронний блок керування відкриває електропневматичний клапан, забезпечуючи висів насіння, попередньо зарядженого у ствол 4, разом із порцією рідини. Подавання рідини дає змогу захистити ніжний проросток насінини від пошкоджень під час контакту з ґрунтом.

Частоту обертання барабана можна змінювати у широких межах — від 0,5 до 120 с^{-1} — шляхом регулювання напруги живлення двигуна електроприводу. Відповідно частота висівів змінюється в межах 0,1...24 Гц.

Фактичну частоту висівів та лінійну швидкість руху умовної гідросівалки (насіннєвловлювачів) визначають, фіксуючи час проведення досліджень t , кількість висівів насіння n та крок розташування насіннєвловлювачів L . Врахувавши крок L (м), отримуємо:

$$f_{\text{в}} = \frac{n_{\text{в}}}{T_{\text{д}}}, \text{ Гц} \quad (3.1)$$

та

$$V_{\text{в}} = S_{\text{н}} \frac{n_{\text{в}}}{T_{\text{д}}}, \text{ м/с} \quad (3.2)$$

Час проведення досліду фіксувався за допомогою секундоміра. Кількість висівів насіння вимірювали за допомогою цифрового лічильника, реалізованого на базі PIC-контролера.

На початку експерименту задавали необхідну кількість висівів $n_{\text{зад}}$ та потрібну частоту висівів f . Після цього запуск висівного апарата здійснювали натисканням кнопки «Пуск» на електронному блоці керування 9. Після відпрацювання заданої кількості висівів пророслого насіння відбувалося автоматичне вимкнення висівного апарата.

Точність висіву гідросівалкою визначали порівнянням заданої кількості висівів із фактичною. Фактичну кількість насіння встановлювали шляхом підрахунку насінин, що потрапили у насіннєвловлювачі 2.

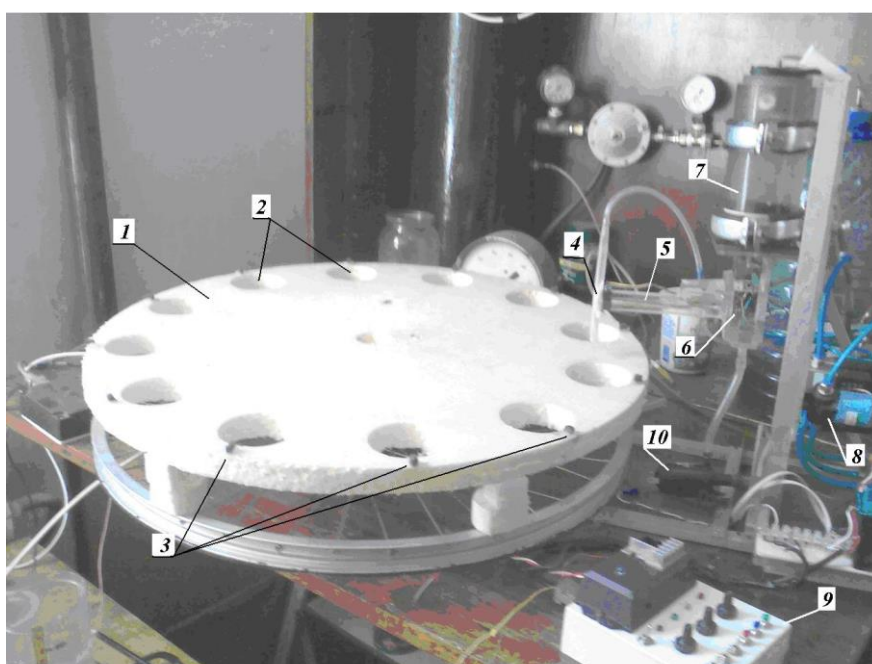


Рисунок 3.9 – Лабораторна установка для дослідження роботи висівного апарата гідросівалки

1 – колесо-барабан; 2 – гніздо для насіннєвловлювача; 3 – точки висіву; 4 – висівний ствол; 5 – дозатор насіння; 6 – насіннєва камера; 7 – корпус висівного апарата; 8 – електроклапани; 9 – електронний блок керування; 10 – циркуляційний насос.

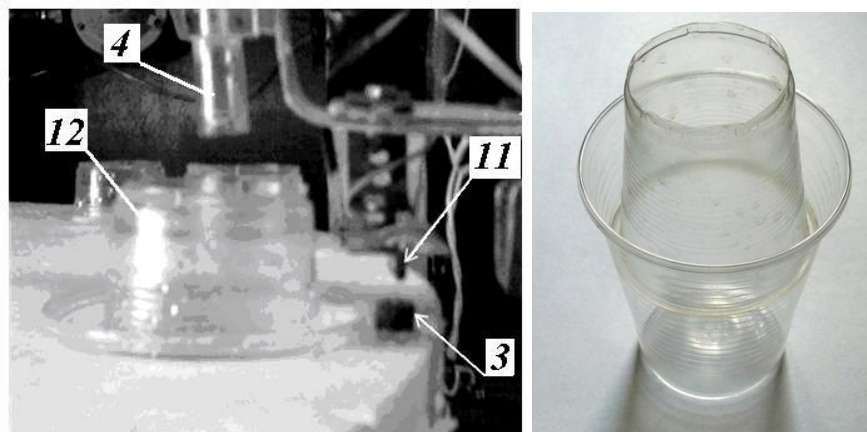


Рисунок 3.10 – Процес подачі насіння у насіннєвловлювач

11 – датчик переміщення висівного апарата; 12 – насіннєвловлювач.

Дослідження виконували з триразовим повторенням при частотах висіву 3, 9 та 15 Гц, причому за один дослід висівали 500 насінин.

Показником ефективності роботи висівного апарата гідравлічної сівалки є точність висіву τ_v , яку визначають за таким рівнянням:

$$\tau_v = \left(\frac{N_z - N_n}{N_z} \right) \cdot 100\% \quad (3.3)$$

де N_z – задана (планова) кількість висівів пророслого насіння;

N_n – кількість зафіксованих пропусків під час висіву пророслого насіння.

З метою оцінювання впливу конструктивно-технологічних параметрів на точність висіву гідравлічної сівалки, відповідно до розробленої методики, було виконано експериментальні дослідження із застосуванням багатофакторного плану типу 3×27 [36–38].

Беручи до уваги результати проведених теоретичних досліджень, як ключові керуючі фактори, що формують якісний показник — точність висіву гідросівалки, були вибрані:

- частота висівів пророслого насіння;
- оптична щільність насіння в насіннєвій камері;
- тиск у резервуарі робочої рідини.

Діапазони значень цих факторів наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Прийняті рівні варіювання факторів

Позначення	Фактори	Рівні			Інтер. варіювань
		1	0	-1	
x_1	Частота висівів пророслого насіння, Гц	3	9	15	6
x_2	Оптична щільність насіння в насіннєвій камері, 1/шт	0,64	0,45	0,26	0,19
x_3	Тиск в резервуарі для рідини, МПа	0,035	0,031	0,027	0,004

Результати виконання багатфакторного експерименту, отримані за обраними рівнями варіювання факторів, зведені у таблицю 3.2. У ній подано значення вихідного параметра — точності висіву — для всіх комбінацій дослідних умов.

Таблиця 3.2 – Узагальнені результати багатфакторного експерименту

№ дослідю	Фактори			Показник оптимізації				
	x_1	x_2	x_3	Точність висіву, τ_e %			Пропуск N_n , %	Двійник N_d , %
				Екс.	Теор.	Відх.		
y_{1E}	y_{1T}	-	y_{2E}	y_{3E}				
1	-1	-1	-1	85,6	87,1	1,5	7,2	7,2
2	-1	-1	0	88,7	88,1	-0,6	6,1	5,2
3	-1	-1	1	87,5	87,2	-0,3	6,4	6,1
4	-1	0	-1	98,3	98,3	0	0,7	1
5	-1	0	0	100,1	100	-0,1	-0,1	0
6	-1	0	1	100,09	100,5	0,41	-0,09	0
7	-1	1	-1	89,5	88,9	-0,6	6,4	4,1
8	-1	1	0	92,3	93,4	1,1	4,7	3
9	-1	1	1	91,7	91,2	-0,5	4,7	3,6
10	0	-1	-1	83,8	83,3	-0,5	6	10,2
11	0	-1	0	86,98	86,5	-0,48	5,72	7,3
12	0	-1	1	85,7	84,2	-1,5	6,9	7,4
13	0	0	-1	96,4	96,6	0,2	1,5	2,1

14	0	0	0	99,5	99,8	0,3	0	0,5
15	0	0	1	98,3	98,6	0,3	1	0,7
16	0	1	-1	87,3	86,4	-0,9	5,5	7,2
17	0	1	0	90,2	90,2	0	5,7	4,1
18	0	1	1	88,92	89,1	0,18	6,78	4,3
19	1	-1	-1	72,8	72,5	-0,3	12,1	15,1
20	1	-1	0	76,1	77,3	1,2	10,7	13,2
21	1	-1	1	74,8	75,83	1,03	11	14,2
22	1	0	-1	85,1	84,5	-0,6	7,5	7,4
23	1	0	0	88,2	87,5	-0,7	6,7	5,1
24	1	0	1	87,1	86,3	-0,8	8,1	4,8
25	1	1	-1	75,8	76,8	1	10,5	13,7
26	1	1	0	78,8	78,9	0,1	10	11,2
27	1	1	1	77,6	77,2	-0,4	10,9	11,5

Оброблення експериментальних даних багатфакторного плану здійснювали із застосуванням програмного забезпечення Statistica-10 [39]. Використання цього програмного пакета дало змогу отримати математичну модель процесу у вигляді рівняння регресії, а також встановити коефіцієнти, що мають статистичну значущість.

Регресійне рівняння у нормованих (кодованих) змінних має вигляд:

$$y = 99,15 - 6,582 \cdot x_1 + 1,693 \cdot x_2 + 0,9061 \cdot x_3 - 0,3495 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,04517 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,05603 \cdot x_2 \cdot x_3 - 4,2817 \cdot x_1^2 - 10,6817 \cdot x_2^2 - 2,2816 \cdot x_3^2 \quad (3.4)$$

де x_1, x_2, x_3 – фактори, подані у кодованому вигляді.

Розкодоване рівняння регресії має вигляд:

$$\tau_{\epsilon} = -196,01 + 1,6493 \cdot f_{\epsilon} + 249,05 \cdot k_{\text{н}} + 15446,85 \cdot P_{\text{над}} - 0,441 \cdot f_{\epsilon} \cdot k_{\text{н}} + 3,9012 \cdot f_{\epsilon} \cdot P_{\text{над}} + 92,905 \cdot k_{\text{н}} \cdot P_{\text{над}} - 0,26 \cdot f_{\epsilon}^2 - 267,04 \cdot k_{\text{н}}^2 - 253518,5 \cdot P_{\text{над}}^2 \quad (3.5)$$

Перевірку однорідності дисперсій у повторних дослідах здійснювали за критерієм Кохрена [40].

$$G_p = \frac{S_{i\max}^2}{\sum_{i=1}^n S_i^2} \leq G_{\text{таб}}(q, f_y, f_n) \quad (3.6)$$

де S_i^2 – дисперсія дослідів;

$S_{i\max}^2$ – найбільша за числовим значенням дисперсія одного з дослідів

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{n-1} \quad (3.7)$$

Використовуючи метод лінійної інтерполяції визначаємо табличне значення критерію Кохрена згідно з [40]. Порівнявши його з розрахованим значенням, встановлено, що умова перевірки виконується. Це свідчить про достатню повторюваність та відтворюваність проведених експериментальних дослідів.

Наступним етапом є оцінка адекватності побудованої математичної моделі, яку здійснюють за допомогою критерію Фішера [40]. Для цього зіставляють фактичне (розрахункове) значення критерію F_p із табличним значенням $F_{\text{таб}}$. Розрахункове значення F_p визначається за формулою:

$$F_p = \frac{S_{a\partial}^2}{S_i^2} \leq F_{\text{таб}} \quad (3.8)$$

де $S_{a\partial}^2$ – дисперсія адекватності математичної моделі;

$$S_{a\partial}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{im})^2}{N-k} \quad (3.9)$$

де y_{ij} – значення вихідної величини отримане за регресійним рівнянням;
 k – кількість коефіцієнтів математичної моделі.

Отже, за результатами виконаних розрахунків встановлено, що фактичне значення критерію Фішера $F_p = 1,21$ є меншим за табличне $F_{\text{таб}} = 3,31$. Це

дозволяє зробити висновок про адекватність отриманої математичної моделі та її відповідність експериментальним даним.

На наступному етапі досліджень проведемо оптимізацію точності висіву висівним апаратом гідросівалки. Для цього необхідно розв'язати компромісну задачу оптимізації, яка полягає у визначенні таких конструктивно-технологічних параметрів, за яких забезпечується максимальна точність висіву за одночасного дотримання усіх технічних та робочих обмежень.

$$\begin{cases} N_n \rightarrow \min \\ N_o \rightarrow \min \\ \tau_e \rightarrow \max \end{cases} \Rightarrow \frac{\tau_e}{N_n \cdot N_o} \rightarrow \max \quad (3.10)$$

Із наведеного рівняння випливає, що зі зменшенням кількості пропусків N_n та двійників N_d під час висіву підвищується загальна точність роботи гідросівалки τ_v .

За допомогою математичного пакета Statistika-10 було розв'язано компромісну задачу оптимізації, у результаті чого визначено раціональні значення конструкційно-технологічних факторів, за яких точність висіву досягає максимального рівня. На рисунках 3.11 та 3.12 подано поверхні відгуку та функції бажаності досліджуваних факторів, що характеризують їх вплив на точність висіву гідросівалки.

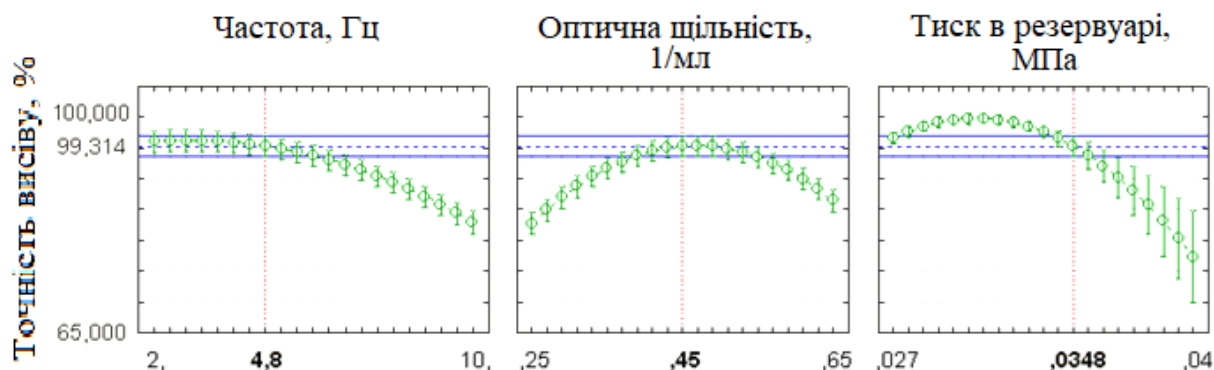


Рисунок 3.11 – Функції бажаності для конструкційно-технологічних факторів

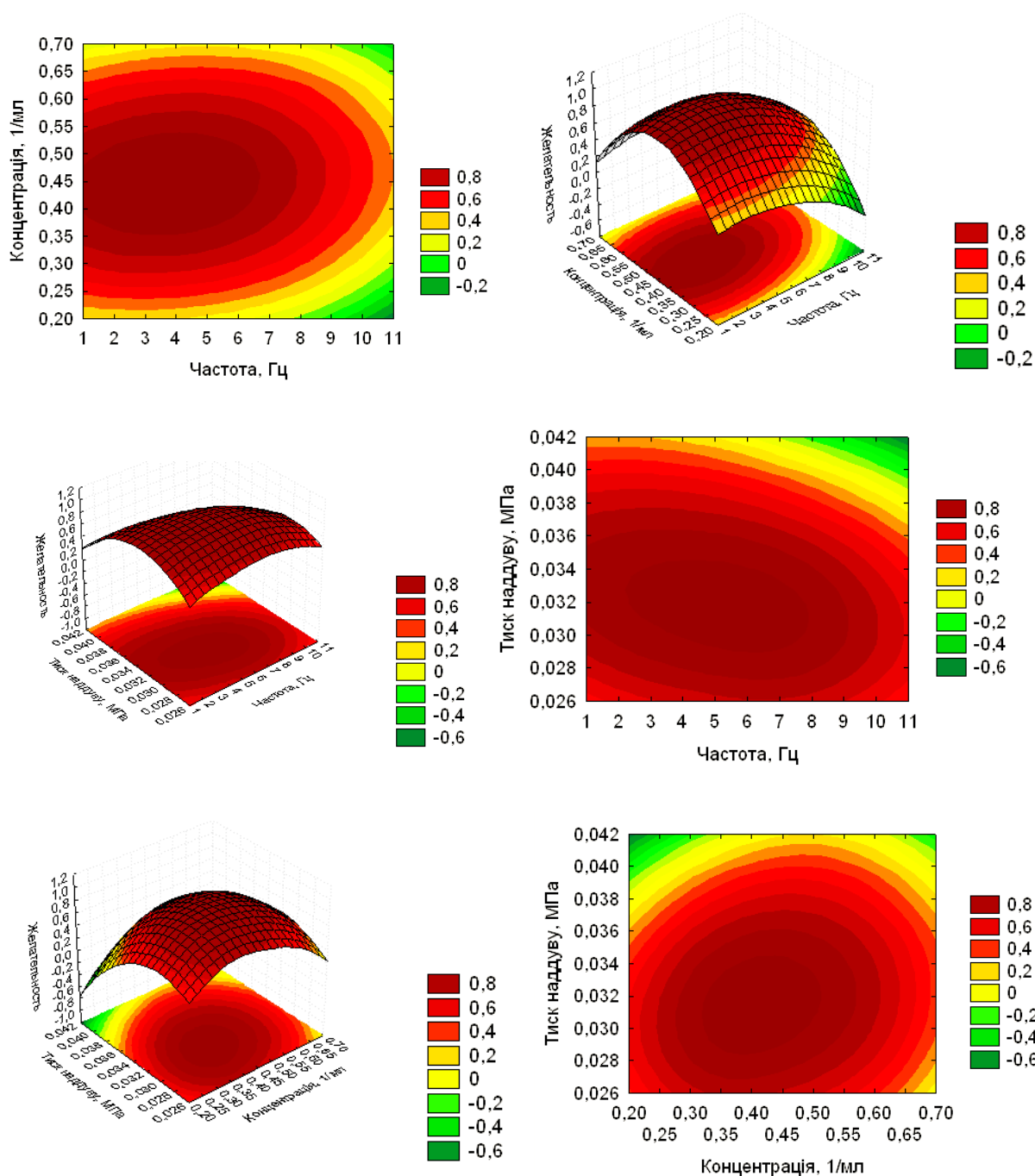


Рисунок 3.12 – Контурні діаграми бажаності та поверхні відгуку досліджуваних факторів

За підсумками виконаної оптимізації визначено раціональні значення основних конструкційно-технологічних параметрів: частоти висівів, тиску у рідинному резервуарі та оптичної щільності насіння. За встановлених оптимальних параметрів прогнозована точність висіву гідросівалки досягає 99,3

%, що свідчить про високу ефективність запропонованої конструкції та алгоритму її керування.

3.4 Польові дослідження роботи гідросівалки з розробленою електронною системою керування

Польові випробування експериментальної гідросівалки, оснащеної удосконаленим дозатором пророслого насіння, були проведені на посівах томату сорту «Солероссо» у господарстві ТОВ «Зоря» Синельниківського району Дніпропетровської області. Для порівняння якості роботи посів одночасно виконували двома агрегатами: дослідною гідросівалкою та штатною посівною секцією сівалки «Клен».



Рисунок 3.13 – Процес висіву томату «Солероссо» дослідною гідросівалкою та штатною секцією сівалки «Клен»

Метою польових випробувань було оцінити працездатність модернізованої гідросівалки та визначити основні показники її роботи — точність висіву та коефіцієнт варіації розподілення насіння в рядку. Дослідження проводили

шляхом порівняння результатів посіву дослідною гідравлічною сівалкою точного висіву ГСТВ з результатами роботи штатної посівної секції на ділянці площею 6 га.

Точність висіву оцінювали безпосередньо після виконання посіву, тоді як коефіцієнт варіації розміщення рослин у рядку визначали на 35-й день після появи сходів.



а



б

Рисунок 3.14 – Характер розміщення сходів томату «Солероссо»

а – результат висіву дослідною гідросівалкою ГСТВ; б – результат посіву штатною секцією сівалки «Клен».

За підсумками проведених польових випробувань побудовано графічні залежності, що відображають характер розміщення рослин томату «Солероссо» у рядку (рис. 3.15).

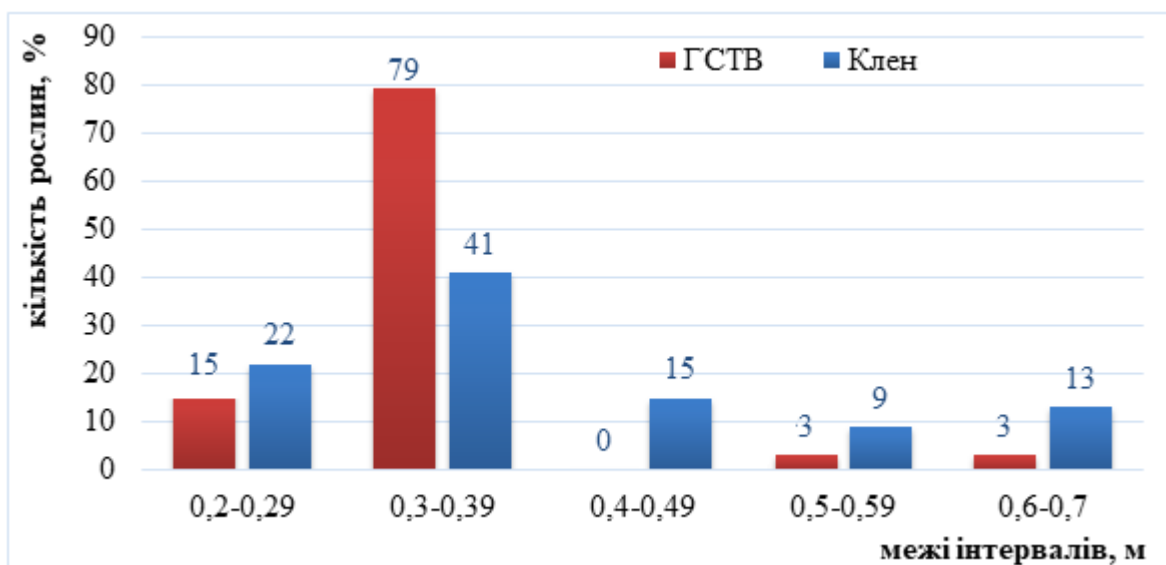


Рисунок 3.15 – Розподіл сходів томату «Солеросо» в рядку

Під час висіву гідравлічною сівалкою ГСТВ встановлено, що 79 % рослин зійшли на інтервалі, що відповідає заданому значенню $0,30 \pm 0,02$ м. Відхилення від цього інтервалу свідчать про поодинокі пропуски під час формування гнізд насіння.

Застосування технології гідровисіву забезпечило підвищення енергії проростання та загальної схожості на 12 % порівняно зі штатною посівною секцією, довівши показник схожості до 98 %.

Коефіцієнт варіації розподілення рослин у рядку для експериментальної сівалки ГСТВ становив 14,5 %, тоді як для базової сівалки Клен цей показник досягав 31,2 %, що підтверджує перевагу вдосконаленого висівного апарата щодо рівномірності формування посівів.

Висновки

Встановлено, що усунути пропуски, які виникають у роботі оптичних датчиків, можливо шляхом застосування фільтрів-розсіювачів. Доведено, що використання розсіювача з органічного скла з призматичною структурою дозволяє збільшити зону чутливості оптопар з 2 мм до 10 мм. Зменшення

амплітуди вихідного сигналу компенсується застосуванням спеціального підсилювача, що забезпечує стабільність спрацювань.

Розроблена конструкція дозатора насіння забезпечує стабільне та рівномірне формування інтервалів подачі пророслого насіння до насіннєвого ложа, що позитивно впливає на точність посіву.

Проведений багатофакторний експеримент дав змогу визначити оптимальні конструкційно-технологічні параметри гідросівалки: частоту висівів ____, тиск у резервуарі з робочою рідиною ____ та оптичну щільність насіння _____. За таких оптимальних значень точність роботи висівного апарата досягає 99,3 %.

Польові дослідження підтвердили високу технологічну надійність і ефективність удосконаленої гідросівалки. Застосування гідравлічного висіву пророслого насіння забезпечило збільшення польової схожості на 12 % у порівнянні зі стандартною сівалкою, досягнувши 98 %. Коефіцієнт варіації розміщення рослин у рядку становив 14,5 % для експериментальної гідросівалки проти 31,2 % для базової посівної секції Клен, що свідчить про суттєве покращення рівномірності формування посівів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Стан охорони праці

Кожен працівник під час прийняття на роботу обов'язково проходить поетапний інструктаж з охорони праці: спочатку вступний, далі первинний на робочому місці, а в процесі роботи – повторний, позаплановий та цільовий інструктажі. Факт проведення інструктажу фіксується у журналі реєстрації, де свої підписи ставлять і особа, яка проводить інструктаж, і працівник, що його пройшов.

Заходи протипожежної безпеки.

Як зазначалося раніше, усі виробничі приміщення оснащені протипожежними куточками та необхідними засобами гасіння пожеж. На видимих місцях розміщено інструкції щодо дій у разі загоряння та правила пожежної безпеки. Забороняється допускати до роботи осіб, які не пройшли інструктаж із пожежної безпеки — він проводиться одночасно з інструктажем з охорони праці.

Висновки щодо стану охорони праці на підприємстві.

- Інструктажі з охорони праці проводяться своєчасно, із подальшим тестуванням працівників для перевірки рівня засвоєних знань. У журналах реєстрації робляться відповідні відмітки.
- Працівники повністю забезпечені засобами індивідуального захисту — спецодягом, захисними окулярами, респіраторами тощо. Енергетичне та виробниче обладнання перебуває у справному технічному стані.
- Частина електрощитів, що керують обладнанням, не обладнана надійними запірними пристроями, що потребує доопрацювання.
- Відсутні інструкції для персоналу щодо дій у разі можливих техногенних аварій, зокрема при витокі аміаку з магістралі, яка розташована на відстані близько 20 км від підприємства.

- На окремих будівлях та ангарах виявлено відсутність або пошкодження систем заземлення та громовідводів, що може становити потенційну небезпеку.
- Стабільне фінансування заходів охорони праці позитивно впливає на зниження виробничого травматизму та підтримання обладнання у справному стані. Підприємство щорічно виділяє на охорону праці 3 % від річного прибутку.

4.2 Аналіз виробничого травматизму

Причини виникнення виробничого травматизму та професійних захворювань, як правило, пов'язані з комплексом факторів організаційного, технічного, санітарно-гігієнічного та психофізіологічного характеру. Навіть за умови дотримання більшості профілактичних заходів повністю усунути ризик виробничих травм не завжди можливо. Невнимання працівника, поспіх, незадовільний стан здоров'я, психологічна втома чи свідоме порушення інструкцій під час роботи з обладнанням або енергетичними установками часто стають передумовами травмування.

Відповідно до форми Н-1, на підприємстві здійснюється систематичний облік усіх нещасних випадків на виробництві. Показники виробничого травматизму розраховуються на основі даних актів Н-1 та звітів комісій з розслідування нещасних випадків [41].

Частота травматизму визначається за формулою:

$$K_{\text{ч}} = \frac{T \cdot 1000}{n_p}, \quad (4.1)$$

де: n_p – середньооблікова чисельність працівників, осіб;

T – число потерпілих, які втратили працездатність у результаті нещасних випадків, осіб.

Коефіцієнт непрацездатності визначають за формулою:

$$K_{\text{н}} = \frac{D_{\text{н}} \cdot 1000}{n_p}, \quad (4.2)$$

де: D_H – загальна кількість днів непрацездатності, отриманих унаслідок виробничих травм.

Показник тяжкості травматизму визначають за формулою:

$$K_T = \frac{D_H}{n_2}, \quad (4.3)$$

де: n_2 – число постраждалих працівників, які втратили працездатність унаслідок нещасного випадку, осіб.

У таблиці 4.1 подано результати аналізу витрат підприємства на заходи з охорони праці.

Таблиця 4.1 – Фінансове забезпечення заходів з охорони праці

Показники	2020	2021	2022
Вартість зіпсованого техніки, грн/рік.	8189	6065	4677
Вартість штрафних санкцій за порушення охорони праці, грн/рік.	4176	3890	1670
Виплати за лікарняними аркушами, грн/рік.	9112	8062	7988
Кошти, вкладені в систему охорони праці, грн/рік.	16456	17890	18122

Своєчасне фінансування та виконання запланованих заходів з охорони праці сприяє зниженню рівня виробничого травматизму у підрозділах господарства. Водночас важливо пам'ятати про значний вплив людського фактора — нехтування правилами, неуважність або недостатня обізнаність можуть звести нанівець технічні та організаційні заходи. Тому регулярна роз'яснювальна робота з працівниками, залученими до виробничих процесів, є обов'язковою складовою профілактики небезпечних ситуацій.

4.3 Вимоги з охорони праці під час експлуатації машино-тракторного агрегату при посіві

До виконання операцій із посіву допускаються лише працівники, яким виповнилося 18 років, які мають відповідну категорію для керування машино-тракторним агрегатом і не мають медичних протипоказань. Допущені до роботи особи повинні володіти необхідними професійними навичками та пройти відповідне навчання й інструктаж.

Посівні роботи здійснюються в умовах підвищеної запиленості, тому механізатор повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту: захисними окулярами, рукавицями, пилозахисним комбінезоном та закритим взуттям. Усі операції з регулювання та налагодження посівного обладнання виконуються лише при зупиненому двигуні. Перед початком роботи проводять перевірку всіх вузлів та з'єднань агрегату, а також виконують контрольний проїзд для визначення фактичної норми висіву шляхом підрахунку насінин на погонний метр.

В темну пору доби роботи дозволяється вести лише за умови достатнього освітлення робочої зони. Під час посіву механізатор повинен постійно стежити за обстановкою, а у разі появи сторонніх предметів — негайно зупинити трактор і усунути небезпеку. Якщо виникають сторонні шуми або ознаки несправності, слід одразу зупинити агрегат, а за необхідності — заглушити двигун і оглянути техніку для виявлення причини.

Після завершення роботи в транспортному положенні необхідно очистити робочі поверхні сівалки від залишків ґрунту та насіння. У разі аварійної ситуації роботу слід негайно припинити. Якщо працівник відчув погіршення самопочуття чи стався нещасний випадок, необхідно невідкладно повідомити керівника, надати першу медичну допомогу постраждалому та зберегти місце події без змін до завершення розслідування, якщо це не створює загрози для інших осіб.

Висновки

За підсумками проведеного аналізу встановлено, що система охорони праці в господарстві функціонує на належному рівні. Запропоновані заходи з безпечної експлуатації овочевої гідросівалки точного висіву сприятимуть зменшенню ризику травматизму під час виконання посівних робіт.

Виконані розрахунки щодо можливих надзвичайних ситуацій дали змогу оцінити масштаби впливу потенційної токсичної хмари та визначити орієнтовний час її досягнення небезпечної зони, що є важливою складовою планування заходів цивільного захисту.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Для визначення економічної результативності запропонованого удосконалення гідравлічної сівалки точного висіву проведено порівняльну оцінку техніко-економічних показників базового та модернізованого варіантів. Експериментальні польові випробування виконувалися на посівах томату сорту «Солероссо» в господарстві «Зоря». Для порівняння якості та ефективності роботи одночасно застосовували експериментальну гідросівалку ГСТВ та серійну сівалку «Клен».

Для виконання економічних розрахунків у таблиці 5.1 наведено вихідні дані, що використовувалися у подальших обчисленнях.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані

Показники	Базовий	Проектний
1	2	3
Склад агрегату	МТЗ-80.1 + Клен-1,8	МТЗ-80.1 + ГСТВ-1,8
Вид робіт, що виконує агрегат	Посів томатів	Посів томатів
Балансова вартість сівалки, грн	62600	56000
Максимальна швидкість агрегату, км/год	7	6,8
Кількість посівних секцій, шт	2	2
Ширина захвату сівалки, м	1,8	1,8
Витрата палива на посіві агрегатом, кг/га	3,3	3
Вартість пального, грн/кг	48	48

Продовження табл. 5.1

1	2	3
Завантаження сівалки протягом року, га	40	40
Тарифна ставка, грн/год	100	100
Тривалість зміни, год	8	8
Кількість працівників що обслуговують машину, люд	1	1
Схема висіву томату	90X30	90X30
Площа посіву томатів «Солероссо», га	8	8
Врожайність томатів «Солероссо», т/га	41	43
Валовий збір томатів «Солероссо», т	328	344
Вартість продукції, грн/т	7000	7000
Прибуток від реалізації продукції, грн	2 296 000	2 408 000

Продуктивність посівного агрегату розраховуємо відповідно до залежності, наведеної в [44]:

$$W_{\tau} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau \quad (5.1)$$

де V_p – робоча швидкість руху посівного агрегату, км/год;

τ – коефіцієнт корисного використання змінного часу (приймається 0,83);

B_p – робоча ширина захвату овочевої сівалки, м.

Базовий варіант:

$$W_{\tau} = 0,1 \cdot 1,8 \cdot 7 \cdot 0,83 = 1,045 \text{ га/год,}$$

Проектний варіант:

$$W_{\tau} = 0,1 \cdot 1,8 \cdot 6,8 \cdot 0,83 = 1,015 \text{ га/год.}$$

Річний обсяг робіт, виконуваний овочевою сівалкою під час посівної кампанії, визначається за формулою:

$$t_p = \frac{W_p}{W_\tau}, \text{ год}, \quad (5.2)$$

де W_p – річний обсяг робіт (завантаження) овочевої сівалки, га.

Базовий варіант:

$$t_{pB} = \frac{40}{1,045} = 38,25 \text{ год},$$

Проектний варіант:

$$t_{pE} = \frac{40}{1,015} = 39,37 \text{ год}.$$

Для оцінювання економічного ефекту, отриманого завдяки зменшенню експлуатаційних витрат, застосуємо загальноприйнятну методику розрахунків, наведену в [43]:

$$B_{\text{екс}} = B_{\text{оп}} + A + T + B_{\text{рес}} + IB, \text{ грн/га} \quad (5.3)$$

де: $B_{\text{екс}}$ – сукупні експлуатаційні витрати на роботу овочевої сівалки, грн/га;

$B_{\text{оп}}$ – витрати та нарахування на оплату праці, грн/га;

A – амортизаційні відрахування для овочевої сівалки, грн/га;

$B_{\text{рес}}$ – вартість спожитих енергоресурсів під час роботи агрегату, грн/га;

T – витрати на виконання поточних ремонтів та технічного обслуговування, грн/га;

IB – інші супутні витрати на утримання та використання сівалки, грн/га.

Витрати на оплату праці визначають за формулою:

$$B_{\text{оп}} = 3 + H_z, \text{ грн/га} \quad (5.4)$$

де: 3 – фонд оплати праці працівників, задіяних у виконанні операції посіву, грн/га;

H_3 – нарахування на фонд оплати праці, грн/га.

Розмір нарахувань на фонд заробітної плати становить 22 %, отже:

$$H_3 = 0,22 \cdot 3. \quad (5.5)$$

Розмір фонду оплати праці працівників, залучених до виконання посівних робіт, визначаємо за формулою:

$$3 = \frac{H_{mp} \cdot C_{mp}}{W_{\tau}}, \text{ грн/га} \quad (5.6)$$

де H_{mp} – чисельність працівників, які обслуговують овочеву сівалку, осіб;

C_{mp} – погодинна оплата праці робітника, залученого до посівних робіт, грн/год.

Базовий варіант:

$$3 = \frac{1 \cdot 100}{1,045} = 95,6 \text{ грн/га};$$

Проектний варіант:

$$3 = \frac{1 \cdot 100}{1,015} = 98,4 \text{ грн/га.}$$

Розрахунок нарахувань на фонд оплати праці подано нижче:

Базовий варіант:

$$H_3 = 0,22 \cdot 95,6 = 21,03 \text{ грн/га,}$$

Проектний варіант:

$$H_3 = 0,22 \cdot 98,4 = 21,65 \text{ грн/га.}$$

Тоді:

Базовий варіант:

$$B_{on} = 21,03 + 95,6 = 116,63 \text{ грн/га,}$$

Проектний варіант:

$$B_{on} = 21,65 + 98,44 = 120,09 \text{ грн/га.}$$

Амортизаційні відрахування для овочевої сівалки визначають за формулою:

$$A = \frac{B_c \cdot a_c}{100 \cdot W_\tau \cdot t_{pc}}, \text{ грн/га} \quad (5.7)$$

де: t_{pc} – річний фонд часу роботи овочевої сівалки, год;

B_c – балансова (початкова) вартість овочевої сівалки, грн;

W_τ – робоча продуктивність овочевої сівалки, га/год;

a_c – норма річних амортизаційних відрахувань, що становить 12 %.

Базовий варіант:

$$A = \frac{62600 \cdot 12}{100 \cdot 1,045 \cdot 38,25} = 187,8 \text{ грн/га,}$$

Проектний варіант:

$$A = \frac{56000 \cdot 12}{100 \cdot 1,015 \cdot 39,37} = 168 \text{ грн/га.}$$

Витрати на проведення поточного ремонту та технічного обслуговування овочевої сівалки визначають за формулою:

$$T = \frac{B_c \cdot b_c}{100 \cdot W_\tau \cdot t_p}, \text{ грн/га} \quad (5.8)$$

де: b_c – норматив відрахувань на технічне обслуговування та поточний ремонт овочевої сівалки, що приймається на рівні 10 % від її балансової вартості.

Базовий варіант:

$$T = \frac{62600 \cdot 10}{100 \cdot 1,045 \cdot 38,25} = 156,5 \text{ грн/га,}$$

Проектний варіант:

$$T = \frac{56000 \cdot 10}{100 \cdot 1,015 \cdot 39,37} = 140 \text{ грн/га.}$$

Витрати на енергоресурси, необхідні для роботи посівного агрегату, розраховують за формулою:

$$B_{pec} = B_{нмм}, \text{ грн/га} \quad (5.9)$$

де $B_{\text{пмм}}$ – вартість паливно-мастильних матеріалів, грн/кг.

Розрахунок вартості пального $B_{\text{пмм}}$ виконуємо за формулою:

$$B_{\text{пмм}} = Z_{\text{пмм}} \cdot C_{\text{пмм}}, \text{ грн/га} \quad (5.10)$$

де $Z_{\text{пмм}}$ – фактичні витрати паливно-мастильних матеріалів під час виконання посіву томатів, кг/га;

$C_{\text{пмм}}$ – ціна пального, яка для розрахунків приймається на рівні 48 грн/кг.

Базовий варіант:

$$B_{\text{пмм}} = 3,3 \cdot 48 = 158,4 \text{ грн/га},$$

Проектний варіант:

$$B_{\text{пмм}} = 3 \cdot 48 = 144 \text{ грн/га}.$$

Тоді:

Базовий варіант:

$$B_{\text{рес}} = B_{\text{пмм}} = 158,4 \text{ грн/га},$$

Проектний варіант:

$$B_{\text{рес}} = B_{\text{пмм}} = 144 \text{ грн/га}.$$

Розрахунок додаткових (інших) витрат виконують як 5 % від сукупної суми основних статей витрат: фонду оплати праці, нарахувань на заробітну плату, амортизаційних відрахувань, витрат на поточні ремонти та технічне обслуговування, а також витрат на енергоресурси:

$$IB = \frac{B_{\text{оп}} + A + T + B_{\text{рес}}}{100} \cdot 5, \quad (5.11)$$

Базовий варіант:

$$IB = \frac{116,66 + 187,8 + 156,5 + 158,4}{100} \cdot 5 = 30,96 \text{ грн/га},$$

Проектний варіант:

$$IB = \frac{120,09 + 168 + 140 + 144}{100} \cdot 5 = 28,6 \text{ грн/га}.$$

Підставивши отримані розрахункові значення до формули (5.3), визначаємо загальну величину експлуатаційних витрат, які характеризують повну собівартість роботи овочевої сівалки.

Базовий варіант:

$$B_{екс}^B = 116,66 + 187,8 + 156,5 + 158,4 + 30,96 = 650,32 \text{ грн/га}$$

Проектний варіант:

$$B_{екс}^E = 120,09 + 168 + 140 + 144 + 28,6 = 600,7 \text{ грн/га}$$

Виконаємо розрахунок для визначення річного економічного ефекту, отриманого завдяки зниженню експлуатаційних витрат на використання овочевої сівалки. Це дозволить оцінити фінансову вигоду від упровадженого удосконалення та порівняти ефективність базового і модернізованого варіантів агрегату:

$$E_{EP} = B_{екс}^B - B_{екс}^E, \text{ грн}, \quad (5.12)$$

$$E_{EP} = 650,32 - 600,7 = 49,63 \text{ грн/га}$$

Унаслідок упровадження удосконаленого дозатора пророслого насіння та електронної системи керування гідросівалкою приріст урожайності становив 3 т/га.

Для визначення економічного ефекту, отриманого за рахунок підвищення врожайності томатів, скористаємося відповідною розрахунковою залежністю:

$$E_P = (E_{EP} + E_{Bp}) = 49,63 + 14000 = 14049,63, \text{ грн/га}, \quad (5.13)$$

де E_{Bp} – додатковий прибуток, отриманий завдяки приросту врожаю томатів «Солероссо», який становить 14 000 грн/га.

Виконаємо розрахунок сумарного річного економічного ефекту для всієї площі посіву, враховуючи отриманий прибуток та загальну площу, на якій застосовувалася модернізована гідросівалка:

$$E_{зр} = E_P \cdot S_o = 14049,63 \cdot 8 = 112397,04 \text{ грн},$$

де S_o – загальна площа посівів томатів, га.

Термін окупності удосконаленої гідросівалки визначають за формулою:

$$T_o = \frac{B_c}{E_{зр}} = \frac{56000}{112397,04} = 0,5 \text{ року} \quad (5.14)$$

Усі отримані розрахункові дані щодо техніко-економічних показників узагальнено у таблиці 5.2, що дозволить наочно порівняти базовий та удосконалений варіанти гідросівалки.

Таблиця 5.2 – Економічні показники проєкту

Показник	Варіанти		Проектний варіант в грн(+/-) до базового
	Базовий	Проектний	
1	2	3	4
Склад агрегату	МТЗ-80.1 + Клен-1,8	МТЗ-80.1 + ГСТВ-1,8	-
Вид роботи що виконує машина	Посів томату	Посів томату	-
Площа посіву томату, га	8	8	-
Балансова вартість сівалки, грн	62600	56000	-6600
Витрати палива, кг/га	3,3	3	-0,3
Експлуатаційні витрати , грн/га	650,32	600,7	-49,62
У тому числі: оплата праці з нарахуваннями, грн/га	116,66	120,09	3,43
Амортизаційні відрахування на овочеву сівалку, грн/га	187,8	168	-19,8
Витрат на поточний ремонт і обслуговування овочевої сівалки, грн/га	156,5	140	-16,5
Витрати на енергоресурси, грн/га	158,4	144	-14,4

інші витрати, грн/га	30,96	28,6	-2,36
Річний економічний ефект з урахування прибутку від приросту врожаю, грн/га	14049,63		
Термін окупності проекту, років	0,5		

Висновки:

Проведений комплекс розрахунків підтвердив економічну доцільність упровадженню удосконалення гідравлічної сівалки точного висіву. Розроблена електронна система керування дала змогу ефективно інтегрувати дозатор пророслого насіння, що істотно зменшило кількість пропусків у рядку та забезпечило приріст валового збору томатів — у середньому на 2 т/га більше порівняно з базовою технологією.

Додатковою перевагою стало зниження маси агрегату, що спричинило економію паливно-мастильних матеріалів під час виконання посівних робіт. Загальний річний економічний ефект від застосування модернізованої гідросівалки становить 14 049,63 грн/га, а орієнтовний термін окупності інвестицій — близько 0,5 року, що підтверджує високу результативність запропонованого технічного рішення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Використання пророслого насіння під час посіву забезпечує прискорення появи сходів на 2–9 днів, що є особливо важливим для посушливих регіонів України.

Проведений аналіз сучасних систем керування та контролю в посівній техніці показав, що до основних параметрів, які необхідно контролювати під час посіву, належать: наявність насіння в баку, оптична щільність пульпи, частка пропусків і двійників, фактична норма висіву, подача насіння до сошника, герметичність гідравлічних і пневматичних магістралей. Аналіз існуючих сенсорних систем засвідчив, що найбільш ефективними є оптичні датчики, які дозволяють контролювати низку важливих параметрів — наявність насіння, його швидкість у каналові, швидкість руху сівалки тощо.

Теоретичні дослідження показали, що:

- насіння у рідині має значну неоднорідність розподілу, що пояснюється ймовірнісною природою перемішування пульпи в баку;
- розроблена конструкція дозатора забезпечує стабільне формування інтервалів і вирівнює подачу насіння до висівної системи;
- запропонована електронна система дозволяє реалізувати необхідний алгоритм взаємодії дозатора та запірної арматури;
- визначено ймовірності відбору насіння з бака та можливі пропуски при його реєстрації оптичними датчиками.

Експериментальні дослідження підтвердили, що:

- використання фільтрів-розсіювачів дало змогу збільшити зону чутливості оптичних датчиків з 2 мм до 10 мм. Пониження рівня сигналу компенсується підсилювачем, що забезпечує надійну реєстрацію кожного зерна;
- оптимізація конструкційно-технологічних факторів (частоти висіву, тиску в резервуарі для рідини, оптичної щільності пульпи) дозволила досягнути точності висіву 99,3 %;

– працездатність експериментальної гідросівалки повністю підтверджена польовими випробуваннями. Гідравлічний висів пророслого насіння збільшив польову схожість на 12 %, до рівня 98 %, а коефіцієнт варіації розміщення рослин у рядку зменшився до 14,5 % (проти 31,2 % у базовому варіанті).

Аналіз стану охорони праці показав, що система безпеки в господарстві організована якісно. Розроблені інструкції та заходи щодо експлуатації овочевої гідросівалки точного висіву здатні істотно зменшити ризики травматизму під час виконання посівних операцій.

Економічна оцінка модернізації гідросівалки засвідчила значну ефективність застосованих технічних рішень. Розроблена електронна система керування та удосконалений дозатор пророслого насіння забезпечили річний економічний ефект 14 049,63 грн/га, а орієнтовний термін окупності інвестицій становить лише 0,5 року. Отримані результати підтверджують доцільність упровадження модернізованої гідросівалки у виробництво.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Г.І. Тараканова і В.Д. Мухіна. Овочівництво - 2-е вид., Перероб. і доп. - М.: Колос, 2003
2. <https://teplitca.kiev.ua/ua/a167042-ploschadi-pitaniya-rastenij.html>
3. Рекомендації по забезпеченню оптимальної густоти посівів сільськогосподарських культур / за ред. А.Г. Балана –К.: Урожай, 1974. – 64 с.
4. Білодєдов В.А. До питання рівномірності розподілу насіння при сівбі / В.А. Білодєдов // Праці КСХІ, 1969. вип. № 12. С. 81-90.
5. Гіль Л. С., Пашковський А. І., Суліма Л. Т. Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту. Ч. 2. Відкритий ґрунт. Навчальний посібник. - Вінниця: Нова Книга, 2008 - 312 с
6. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д., та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини. За ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2004. 544 с.
7. <https://agrolines.com.ua/uk/mashini-dlya-sivbi-ta-sadinnya/sivalky-tochnoho-vysivu-dlia-ovochevykh-kultur>
8. <https://agrimatco.ua/products/navisna-ovocheva-sivalka-tochnogo-visivu-monosem-ms>
9. Ящук Д. А. Виробничі випробування гідросівалки на висіві насіння селери/ Д. А. Ящук // Вісник ХНТУСГ. – 2015. – Вип. 165. – С. 102-106.
10. Бойко В.Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гідропневматичного апарата точного висіву насіння овочевих культур: Дис....канд. техн. наук/В.Б. Бойко. – Мелітополь, 2021. – 161 с.
11. Н. Бакум, Д. Ящук, Н. Кречот. Повышение урожайности томатов за счёт посева пророщенными семенами. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2015. Vol.17. No.7. 49-52
12. Сисолін П.В., М.О. Свірень. Висівні апарати сівалок. Кіровоград. 2004. 160 с.

13. Бузенков Г.М., Ма С.А. Машины для посева сельскохозяйственных культур. М.: «Машиностроение». 1976. 272 с.
14. Чичкін В.П. Овочеві сівалки та комбіновані агрегати: теорія, конструкція та розрахунок. Кишинів. 1984. 393 с.
15. Pastukhov V., Boiko V., Tesliuk H., Ulexin V., Kyrychenko R. Study of seed agitation in the fluid of a hydropneumatic precision seeder. *European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol 5, No 1 (107). P 36-43. doi:/10.15587/1729-4061.2020.212517
16. Тарасенко В. Вирощування овочів стрічково-координатним способом. *Овощеводство: украинский журнал для профессионалов*. 2018. № 10. С. 54-57.
17. Солоня О.В. Застосування сучасних мехатронних систем та роботизованих комплексів у АПК України. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2020. № 3 (110). С. 71–76.
18. Гунько І.В., Музичук В.І., Служалюк М.В. Дослідження технічного сервісу машин в АПК. *Техніка, енергетика та транспорт АПК*. 2019. №2 (105). С. 43–51
19. Bouma, J., et al. Pedology, precision agriculture, and changing paradigm of agricultural research. - *Soil Sc. Am. J.*, 63, 1999 - C1763-1768
20. Spirin A., Polievoda Y., Tverdokhlib I. Increasing the reliability of agricultural machinery work. *Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Pyotr Vasylenko "Technical Sciences"*. Issue 198 "Mechanization of agricultural production", 2019. P 86–90.
21. Zamriy M.A. Application of modern mechatronic systems during sowing row crops. *Collection of student scientific papers "Agricultural Sciences"* 2021 No. 1(1) P. 177-183.
22. Сучасні сільськогосподарські машини та обладнання для рослинництва. За матеріалами Міжнародної виставки сільськогосподарської техніки SIGMA, 2018. - Київ: ІНФА-М, 2019. - 136 с.
23. <https://aico.ua/product/sevalka-tochnogo-vyseva-kinze-3600-3605/>

24. <https://elvorti.com/catalog/sivalki-prosapni/vesta-8-profi-z-pristosuvannyam-dlya-vnesennya-ridkikh-kompleksnikh-dobriv.html>
25. <https://agroun.ru/sistema-kontrolya-vyseva-semyan-niva-23-fakt/>
26. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник /Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
27. <https://peko.com.ua/statti/capacitive-sensors-sick>
28. https://uk.wikipedia.org/wiki/Датчик_ефекту_Холла
29. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Перетворювачі та пристрої виміральної техніки» для студентів всіх форм навчання спеціальності «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» відділу Інфокомунікацій та інженерії. / Уклад.: О.Д. Архелюк – Чернівці.: ЧНУ імені Юрія Федьковича 2021. – 51 с.
30. Дейнека С.М. Висів пророщеного насіння овочевих культур за допомогою гідросівалки. Технічні науки та технології. 2018. № 1 (11). С. 280-286.
31. Гідравлічний висівний апарат. Патент України № 13999 А01С7/00. Бюл. № 3. 2000.
32. Гідравлічний висівний апарат. Патент України № 82281 А01С7/00. Бюл. № 6. 2008.
33. Бойко В.Б., Алієв Е.Б. Теоретичні дослідження руху рідини в ємності гідропневматичного висівного апарата. Інженерія природокористування. Харків. 2015. № 2 (4). С.78-84. (Здобувачем за допомогою програмного пакету STAR-CCM+ отримано фізико-математичну модель руху рідини в порожнинах ГПАТВ)
34. Сучасні електромехатронні комплекси і системи : навч. посібник / Т. П. Павленко, В. М. Шавкун, О. С. Козлова, Н. П. Лукашова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 116 с.
35. R.K. Raiput . A Textbook of Mechatronics/ R.K. Raiput . S. Chand & Company LTD: Rom Nogar, New Delhi, 2007. – 618 p.

36. Надикто В.Т. Основи наукових досліджень. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС. 2019. 268 с.
37. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение. 1981. 184 с.
38. Ящеріцин П.І., Махарінський Є.І. Планування експерименту у машинобудуванні. Мінськ: Вища школа. 1985. 286 с.
39. Боровиков В.П. Програма STATISTICA для студентів та інженерів. К: Комп'ютерний Прес. 2001. 301 с.
40. Адлер Ю.П., Маркова Є.В., Грановський Ю.В. Планування експерименту під час пошуку оптимальних умов. М: Наука. 1976. 280 с.
41. В.І. Голінько. Основи охорони праці: В.І. Голінько; Національний гірничий. універ-т. –2-ге видання. – Д.: НГУ, 2014. 272 с.
42. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки" № 2245-III зі змінами від 09.04.2014 - № 1193-VII набирає чинності з 26.04.2014 р.
43. «Закон України «Про охорону праці». №2695-XII закон діє у редакції від 21 листопада 2002 р. із наступними змінами.
44. ДСТУ 4397:2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. Київ., 2005.