**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

**П о я с н ю в а л ь н а  з а п и с к а**

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему

# Використання електронних систем для підвищення ефективності гідравлічної сівалки точного висіву

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МгАІ-2-22

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Губа Володимир Володимирович

**Керівник: _____** Бойко Владислав Борисович

**Рецензент: _____ _____**

Дніпро 2023

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
В.о. завідувача кафедри
тракторів і сільськогосподарських машин
(назва кафедри)
доцент
(вчене звання)
Теслюк Г.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)
«____» _____ 2023 р.

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

Губі Володимиру Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** Використання електронних систем для підвищення ефективності гідравлічної сівалки точного висіву
керівник роботи Бойко Владислав Борисович к.т.н., доцент
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«9» листопада 2023 року № 3422

2. **Строк подання студентом роботи** 4.12.2023 р.

3. **Вихідні дані до роботи** Наукові напрацювання кафедри тракторів і сільськогосподарських машин. 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 | Бойко В. Б., доцент | | |
| 2 | Бойко В. Б., доцент | | |
| 3 | Бойко В. Б., доцент | | |
| 4 | Деркач О.Д., доцент | | |
| 5 | Вініченко І.І, професор | | |
| нормоконтроль | Золотовська О.В., доцент | | |
| | | | |

7. **Дата видачі завдання**: 9.10.2023р

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту | Строк виконання етапів роботи | **Примітка** |
|---|---|---|---|
| 1 | Аналітичний (оглядовий) | до 15.10.2023 р. | Виконано |
| 2 | Теоретичний | до 1.11.2023р. | Виконано |
| 3 | Експериментальний | до 19.11.2023 р. | Виконано |
| 4 | Охорона праці | до 26.11.2023 р. | Виконано |
| 5 | Економічний | до 28.11.2023 р. | Виконано |
| 6 | Демонстраційна частина | до 4.12.2023 р. | Виконано |

**Студент** _____ Губа В.В.
( підпис ) (прізвище та ініціали)

**Керівник роботи** _____ Бойко В.Б.
( підпис ) (прізвище та ініціали)

| № п/п | форм | Позначення | Найменування | Кіл. | Приміт. |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Текстові документи | | |
| А | | | Пояснювальна записка | 90 | |
| | | | | | |
| | | | Демонстраційні матеріали | | |
| А | | | Мета і задачі досліджень. | | |
| А | | | Теоретичні дослідження | | |
| А | | | Експериментальні | | |
| А | | | Охорона праці | | |
| А | | | Економічні показники | | |
| А | | | Висновки | | |

Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата | Инв. № подл

| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата | 52.ДР.017.000.000.РД | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Розроб. | | Губа В.В. | | | Відомість дипломної роботи | Літ. | Арк. 5 / Аркушів 90 |
| Перев. | | Бойко В.Б. | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | ДДАЕУ МгАІ-2-22 | |
| Н. контр. | | Золотовська | | | | | |
| Зат. | | Теслюк Г.В. | | | | | |

# РЕФЕРАТ

Губа В.В. Використання електронних систем для підвищення ефективності гідравлічної сівалки точного висіву/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2023.

Дипломна робота присвячена підвищенню ефективності процесу посіву гідравлічної сівалки шляхом розробки електронної системи керування та дозуючого пристрою.

Запропонована розробка дозволить зменшити кількість висіву двійників та пропусків насіння, та підвищить точність висіву насіння гідравлічною сівалкою.

Використавши напрацювання кафедри тракторів і сільськогосподарських машин по обраній тематиці проведено теоретичні та лабораторні дослідження.

Розроблено електронну систему керування гідросівалкою точного висіву. Досліджено роботу та проведено удосконалення оптичних датчиків дозатора насіння. Проведено теоретичне обгрунтування ймовірності відбору насіння з бака до дозатора.

За результатами проведених експериментальних досліджень встановлено бажані значення конструктивно-технологічних параметрів гідросівалки, за яких сівалка забезпечить найкращі показники роботи.

Проведено аналіз стану охорони праці в господарстві та розроблено заходи з охорони праці при гідропосіві пророслого насіння.

Доведено економічну ефективність запропонованого удосконалення гідросівалки.

Ключові слова: гідровисів, проросле насіння, висівний апарат, дозатор насіння, електронна система керування, коефіцієнт варіації розподілення насіння.

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

1.4 Аналіз датчиків систем керування та контролю роботи сівалок 25

1.5 Висновки 31

1.6 Мета і завдання досліджень 31

2 Теоретичні дослідження 33

2.1Теоретичні 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

2.6. Визначення ймовірності відбору насіння з бака до дозатора 43

2.7 Висновки 48

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
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

# ВСТУП

***Актуальність роботи.*** Точне землеробство все більше поширюється в технологіях вирощування сільськогосподарської продукції вітчизняних аграріїв. Впровадження підходів точного землеробства дозволяє суттєво знизити витрати на насіння, агрохімічні засоби, пальне та ін. Застосування інтелектуальної компоненти в конструкціях сучасних сільськогосподарських машин дозволяє точно дозовано вносити агрохімікати, вести контроль та аналіз за розвитком сільськогосподарських культур, адресно та досить точно виконувати механічні обробки грунту не тільки в міжрядді а і в рядку. Використання мехатронних систем дозволяє забезпечити точне управління робочими органами сільськогосподарських машин при виконанні технологічних операцій по догляду за культурами. Все це являється умовою для підвищення врожайності та зниження затрат на вирощування сільськогосподарської продукції.

Посів сільськогосподарських культур являється однією з основних технологічних операцій від якості, виконання якої залежатиме майбутній врожай. Сучасні посівні комплекси обладнуються системами контролю точності висіву, продуктивністю посівного комплексу, витратою палива. Але всі ці системи розроблено для класичних посівних машин. В нашому випадку постає проблема в реалізації точного висіву за використання гідравлічного посіву, так як для даного типу апаратів відсутні мехатронні системи, що здатні узгодити роботу елементів гідравлічної сівалки. Гідравлічні сівалки дозволяють реалізувати висів пророслого насіння овочевих культур, що прискорює появу сходів від 2 до 9 днів. Одночасно з висівом пророслого насіння рідиною вносяться засоби його захисту та стимуляції росту. Але крім переваг є і недоліки такого посіву а саме низька точність висіву, що пов’язано з ймовірним процесом розподілу насіння в рідині. Вирішити дану проблему можливо встановленням дозуючого пристрою та системи електронного керування та контролю, що забезпечить однаковий інтервал насіння в насіннєпроводі гідросівалки

конструкцію якої запропоновано в Дніпровському аграрно-економічному університеті.

***Мета роботи*:** підвищення ефективності точного посіву шляхом розробки електронної системи контролю та керування робочим процесом гідравлічної сівалки та дозуючого пристрою

***Задачі роботи:***

- провести аналіз показників роботи сівалки, які необхідно контролювати
- провести наліз систем контролю технологічних параметрів сівалок;
- розробити та дослідити систему керування та контролю роботи гідравлічної сівалки;
- розробити та провести дослідження дозуючого пристрою гідравлічної сівалки.
- провести економічне обґрунтування розробленої системи та дозуючого пристрою

***Об'єкт дослідження*** – процес точного однонасінного висіву насіння

***Предмет дослідження*** – вплив розподілення насіння дозатором на точність висіву гідросівалкою.

***Методи виконання роботи*.** Робота виконана з використанням програми STAR-CCM+. моделювання техногічних процесів руху рідини . Результати досліджень опрацьовано з використанням програмного пакету Statistica.

**Наукова новизна роботи:**

- розроблено конструкцію дозатора, системи керування та контролю роботи гідравлічної сівалки
- обгрунтовано параметри оптичних датчиків контролю проходження насіння;
- встановлено оптимальні значення конструктивних та технологічних параметрів дозатора гідравлічної сівалки.

**Практичне значення одержаних результатів**.

Розроблена конструкція дозатора та системи керування і контролю роботи гідравлічної сівалки дозволили реалізувати однонасіннєвий точний висів пророслого насіння.

**Публікації.** За результатами проведеної роботи опубліковано тези.

# 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Площа живлення та особливості процесу посіву овочевих культур

За останні 300 років овочеві культури інтенсивно поширилися на теренах нашої країни. Сприятливий клімат суттєво посприяв цьому. На тепер на полях нашої вітчизни можна зустріти, як волого любиму картоплю так і тепло-любимі кавуни, огірки, томати та перці.

Площа живлення овочевих культур являється одним з найважливіших факторів отримання великих врожаїв [1, 2]. Рівномірне розміщення на площі поля рослин дозволяє раціонально розподілити поживні елементи, вологу між ними та сонячну енергію[3]. Порушення правил розподілу культурних рослин призводить до конкуренції між ними за виживання, поширення бур'янів і в результаті до зниження врожайності.

Площа живлення – величина змінна і залежить, передусім, від біологічних особливостей сільськогосподарської культури: тривалості вегетаційного періоду, потужності вегетативної маси та кореневої системи, а також від родючості ґрунту, вологозабезпеченості та інших умов вирощування [2].

Для рослин що швидко дозрівають з невеликою вегетативною частиною куща необхідно менше площі для його живлення, в порівнянні з рослин що мають досить розвинений кущ з тривалим терміном дозрівання. Так в баштанних культур досить розвинена коренева система та вегетативна частина, що розстилається по поверхні поля, для них застосовують схему посіву 140–210Х70–140 см з використанням пунктирного або гніздового способу посіву. Відповідно площа живлення для них коливається від 10000 до 30000 см$^2$ [4]. Площа живлення для томатів в умовах Дніпропетровської області становитиме 5000…6000 см$^2$, для перцю та капусти 2400…2800 см$^2$.

Чим родючий і вологий ґрунт, тим у меншу площу харчування потребують рослини. Часто густоту стояння пов'язують із вологозабезпеченістю. Так, якщо

площа харчування перцю у зоні достатнього зволоження дорівнює 2300 см$^2$ , то в зоні нестійкого зволоження – 2400 см$^2$, а недостатнього –2500 см$^2$.

Від площі живлення залежить спосіб та схема посіву овочевих культур рис. (рис. 1.1)[5].

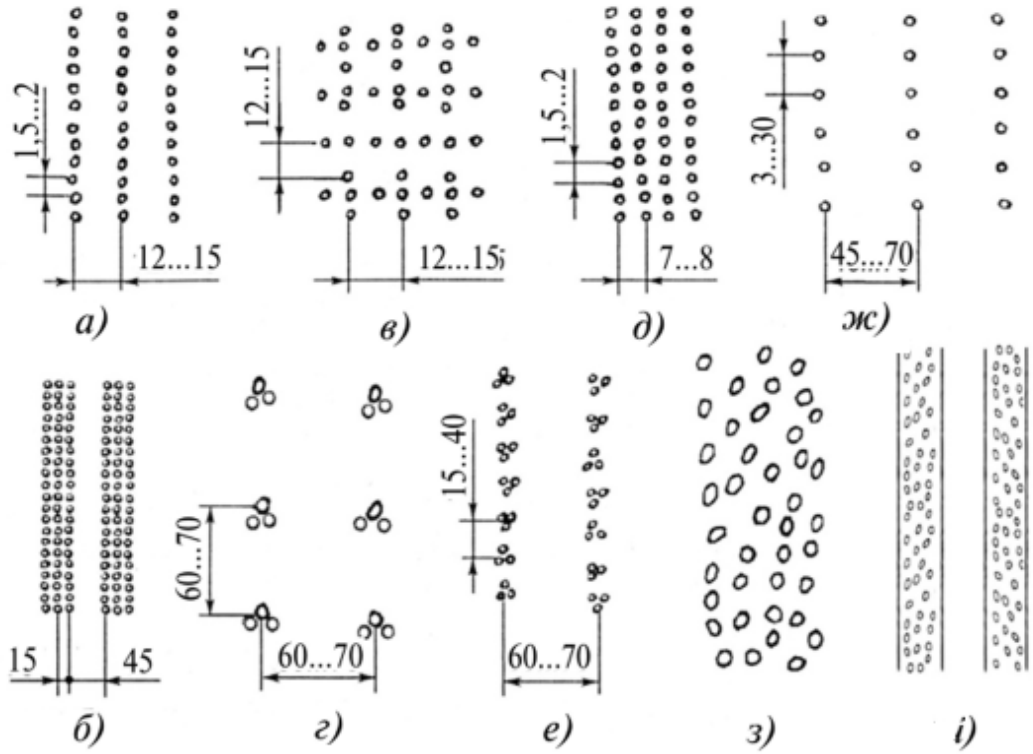



Рисунок 1.1 – Способи та схеми посіву овочевих культур

а – рядковий; б – стрічковий; в – перехресний; г – квадратно-гніздовий;

д – вузькорядний; е – гніздовий; ж – широкорядний пунктирний;

і – смуговий; з – розсівний

Овочеві культури можуть висіватися широкорядним, пунктирним, гніздовим чи стрічковим методами. При цьому необхідної ширини міжрядь досягти відносно неважко шляхом перестановки посівних секцій по рамі сівалки, причому міжряддя повинно становити мінімум 30 см, оскільки машинні технології обробітку овочевих культур передбачають подальший догляд за рослинами, після появи сходів.

Вирішити питання з забезпеченням рівномірного розподілення насіння в рядку технологічно досить складно, проте доцільність такого точного розподілення насіння овочевих культур не викликає жодних сумнівів.

Сучасні овочеві сівалки дозволяють реалізувати однонасінний точний висів. Однак за значних робочих швидкостей більше 8 км/год і складних форм насіння погіршуються показники якості насіння збільшується кількість пропусків, знижується рівномірність розподілення насіння в рядку та по глибині не витримується площа живлення та знижується в результаті врожайність культур [6]. Удосконалення дозуючих частин овочевих сівалок, дозволяє підвищити ефективність роботи сівалок, а саме забезпечити однонасіннєвий висів насіння без двійників та пропусків.

В зв'язку з великим різноманіттям висівних апаратів овочеві сівалки розділено на класи класифікацію яких наведено на рисунку 1.2.

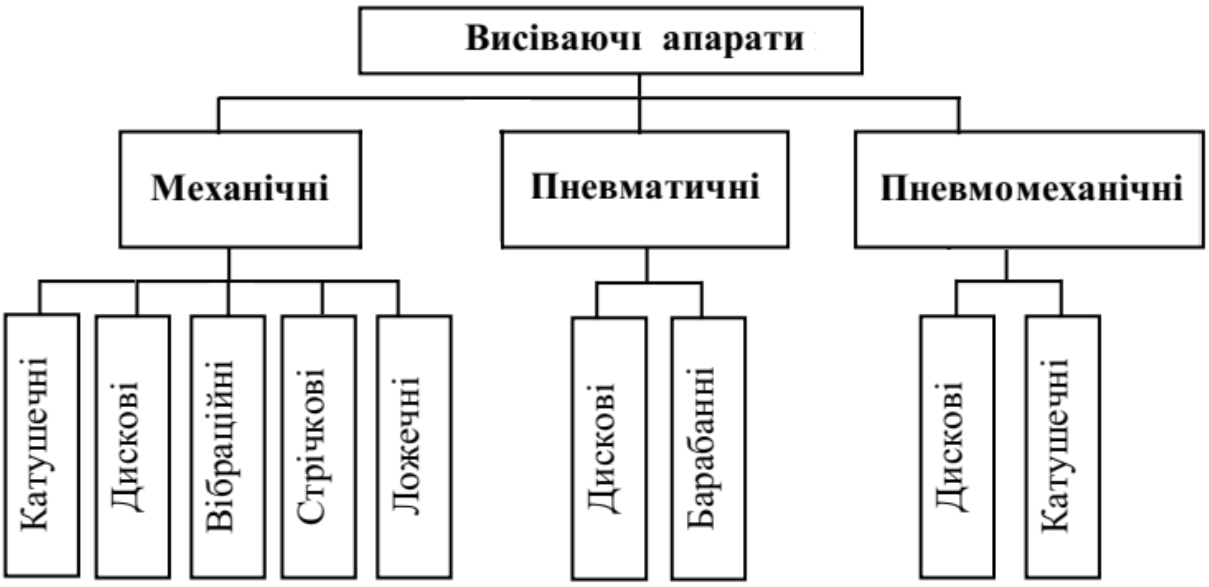



Рисунок 1.2 – Класифікація висівних апаратів

Найбільш перспективні овочеві сівалки точного висіву, що отримали поширення в Україні – це сівалки Gaspardo (Італія рис. 1.3) [7] та сівалки MONOSEM (Франція рис. 1.4).

Овочева сівалка Orietta компанії Гаспардо (Італія) (рис. 1.3) [7] отримала свою популярність завдяки відмінним експлуатаційним показникам точності посіву та надійності основних елементів сівалки. Сівалка досить універсальна тому забезпечує висів різнопланових культур. Вакуумний пилосос дозволяє

швидко виконати очищення бункера від насіння. Завдяки використання системи контролю посів насіння здійснюється без двійників та пропусків.

Рисунок 1.3 – Овочева сівалка точного висіву Orietta Gaspardo

Овочева сівалка Monosem (рис. 1.4) забезпечує точний посів овочевих культур за допомогою пневматичного висівного апарату.

Рисунок 1.4 – Овочева сівалка точного висіву MS A

Контроль за виконанням технологічно процесу посіву здійснює електронний блок Monosem. Висівні диски виготовляються з нержавіючої сталі. Запатентована система вакууму забезпечує висів без двійників та пропусків. В таблиці 1.1 наведено технічні характеристики овочевих сівалок Monosem.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика овочевих сівалок 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 добрив, л | 174 л/2-рядки | | | |
| Диски для висіву | по вибору | | | |
| Ширина | від 2 м | | | |
| Підготовка грунту | якісна | | | |

Основним недоліком розглянутих сівалок точного висіву являється неможливість висіву пророслого насіння, що особливо важливо в посушливих регіонах нашої країни, до яких належить і Дніпропетровська область.

Реалізувати посів пророслого насіння можливо використавши гідравлічні сівалки. Розробці сівалок даного типу належать роботи Бакума М.В., Улексіна В.О., Ящука Д.А., Бойко В.Б., та ін. Розглянемо процес посіву за допомогою гідравлічної сівалки (рис. 1.5) [9] конструкцію, якої розроблено на базі Інституту овочівництва і баштанництва НААН України. Робочий процес здійснюється за наступним алгоритмом, посівний матеріал разом з водою та засобами захисту подаємо до резервуару 7.

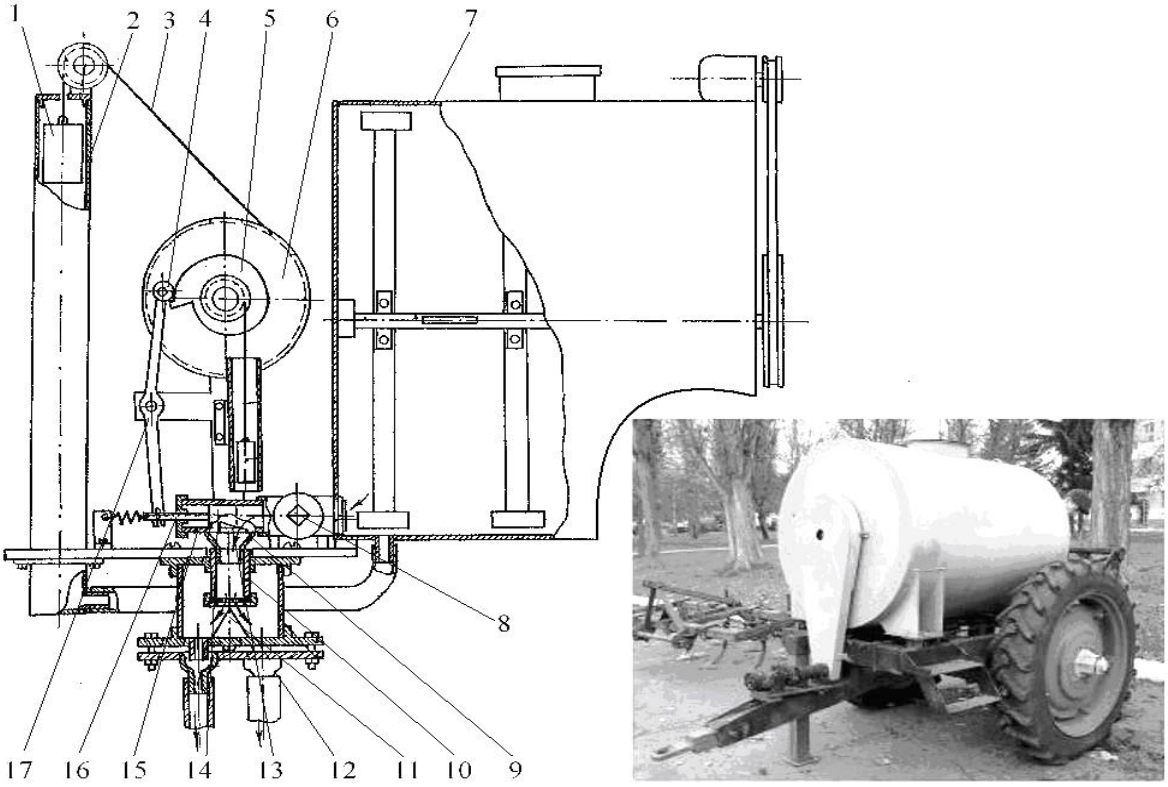



Рисунок 1.5 – Гідросівалка СГО-4,2

: 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 – вікно; 14 – поршень; 15 – циліндр дозатора; 16 – шток дозатора; 17 – важіль дозатора;

За допомогою мішалки в резервуарі проросле насіння переходить в зважений стан. При відкритті запірної арматури 8 відбувається одночасно з

рухом сівалки і проливання рідини з проростим насінням через сошник. Регулювання витрати рідини в залежності від рівня її в резервуарі здійснюється за допомогою поплавкового механізму 1 та виконавчих пристроїв дозатора 9. Перевагою такої сівалки являється можливість висіву пророслого насіння овочевих культур. До недоліків слід віднести ймовірний характер розподілення насіння в рядку, що різко підвищує перевитрату посівного матеріалу та погіршує розподілення площі живлення для нього.

Для вирішення проблем пов'язаних з нерівномірним розподіленням насіння в рядку на кафедрі тракторів і сільськогосподарських машин Дніпропетровського аграрно-економічного університету розроблено гідравлічну сівалку точного висіву ГСТВ-1 (рис. 1.6) [10] конструкція, якої дозволяє реалізувати висів пророслого насіння в задані точки на полі з дотриманням постійного інтервалу насіння в рядку. За результатами польових досліджень на посівах томатів коефіцієнт варіації розподілення насіння в рядку склав 14 %, енергія проростання насіння становила 95 %, а схожість насіння склала 98%.

Рисунок 1.6 – Польові дослідження гідравлічної сівалки ГСТВ-1

Але разом з перевагами сівалки було виявлено і недоліки в її роботі, так кількість двійників в посівах становила більше 7 %, що пов'язано з недосконалістю роботи дозуючого пристрою. Для вирішння даної проблеми

проведемо удосконалення процесу дозування насіння з розробкою системи керування гідросівалкою.

## 1.2 Аналіз відмов та показників роботи гідравлічних сівалок

Посів насіння овочевих культур здійснюється сівалками з висівними апаратами різної конструкції. Для забезпечення якісних показників роботи висівні апарати овочевих сівалок повинні відповідати основним вимогам: забезпечувати рівномірність висіву по глибині та в рядку, пошкодження насіння не повинно перевищувати 0,5 %.

Дослідженню та підвищенню якісних показників роботи сівалок присвячені роботи 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 з основних показників, які досліджуються для встановлення ефективності роботи сівалок являється точність висіву, яка залежить від злагодженої роботи всіх елементів посівного агрегату, а особливо дозуючих пристроїв. Тому більшість наукових робіт присвячені дослідженню та удосконаленню роботи дозуючих пристроїв.

Також відповідальною частиною, від ефективності якої буде залежати якісна робота сівалок являються ємності для насіння. Основною вимогою, яка до них ставиться являється вільне витікання насіння до дозуючих пристроїв без утворення сводів та тромбування насіння перед входом до насіннєпроводу . Дані негаразди виникають із-за поганої сипучості насіння та високої концентрації його в рідині (гідравлічні сівалки)

Усунути появу даних проблем можливо за рахунок використання систем контролю основних параметрів посівних агрегатів. Застосування автоматики дозволяє вчасно попередити механізатора про відхилення в технологічному

процесі посіву, особливо коли візуально не можливо виявити дані проблеми [17, 18].

Для встановлення контролю основних параметрів гідросівалки розглянемо поетапно технологічний процес висіву насіння. На першому етапі відбувається перемішування насіння в рідині тобто формування псевдозрідженого шару. На другому етапі відбувається відбір насіння до насіннєпроводу. На третьому етапі насіння рухається по насіннєпроводу до ствола (процес заряджання), на останньому четвертому етапі відбувається висів насіння до насіннєвого ложе. На виникнення відмов в роботі висівного апарата сівалки впливають випадкові фактори, що знижують якісні показники посіву (рис. 1.7).

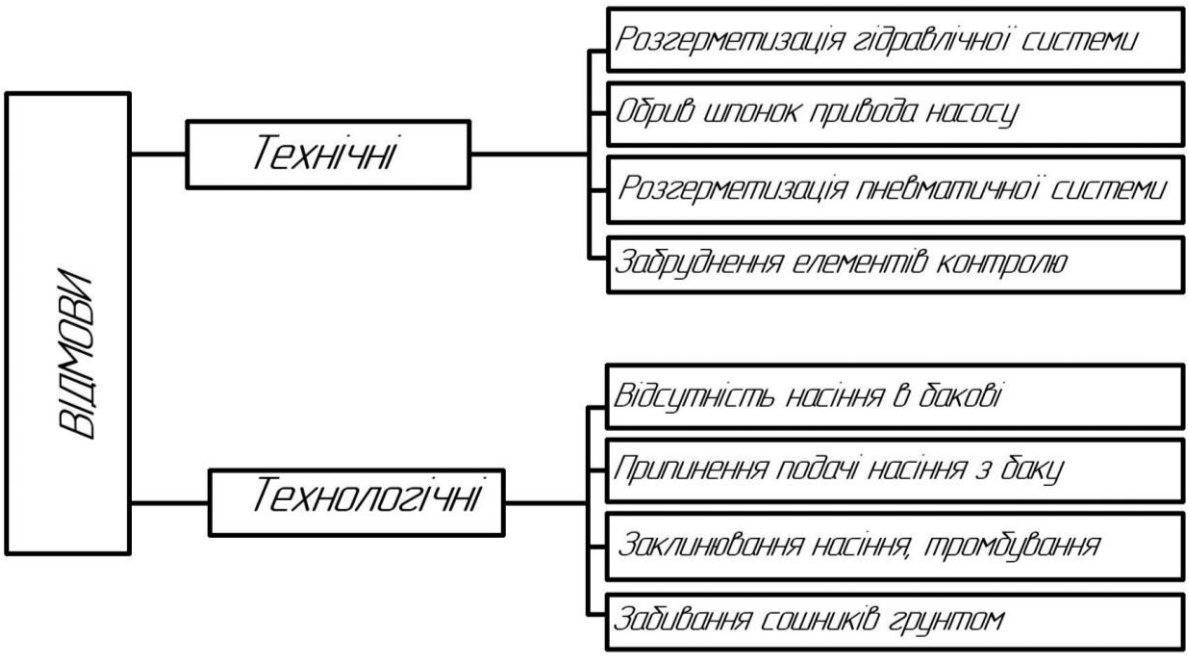



Рисунок 1.7 – Відмови в роботі гідравлічної сівалки

На першому етапі це може бути бруд, який потрапив разом з насінням до баку, відсутність насіння в бакові, сводоутворення . На другому етапі відмови в роботі сівалки пов’язані з тромбуванням входу до насіннєпроводу, яке пов’язано занадто великою концентрацією насіння в псевдозрідженому шарі. Це викликає значні пропуски посівів, візуально виявити вчасно без використання оптичних датчиків такі негаразди в роботі, як на першому етапі так і на другому

неможливо. Вирішити питання з тромбуванням і сводоутворенням можливо за рахунок регульованого приводу насоса призначеного для формування псевдозрідженого шару.

На третьому етапі відхилення в роботі пов'язані з двійниками тобто з переміщенням по насіннєпроводу поруч двох насінин до ствола. Усунути дану проблему можливо розробивши дозатори з системою контролю проходження насіння. Дане відхилення призводить до перевитрати посівного матеріалу та послідуючих операцій з прорідження двійників [19, 20].

Основними відмовами на четвертому етапі роботи сівалки є проблеми, що пов'язані з утворенням заторів в сошнику із-зі забивання грунтом його внутрішньої частини та відсутністю подачі насіння після дозуючого пристрою. Забивання сошника пов'язане з перезволоженим шаром грунту в якому формує борозну сошник і становить до 65 % від загальної кількості відмов при посіві. Відсутність подачі насіння до сошника виникає в результаті зависання його в дозуючих пристроях, або на вході перед ними. Використання датчиків контролю проходження насіння до насіннєвого ложе дозволяє вчасно проінформувати тракториста про дану проблему.

За результатами проведеного аналізу відмов нарізних етапах роботи гідравлічної сівалки до основних показників, які необхідно контролювати можна віднести: рівень насіння в бакові, оптична щільність (концентрація) в зоні його відбору з бака, рівномірність розподілу в дозаторі, кількість двійників і пропусків, розгерметизація гідравлічної і пневматичної системи, переміщення сівалки. Крім того можна автоматично контролювати і інші показники роботи гідравлічної сівалки, які можуть впливати на якість посіву [21].

### 1.3 Аналіз систем керування та контролю роботи сівалок

Більшість сучасних машин для посіву просапних культур обладнано електронними системами керування та контролю якості їх роботи. Прикладом

може бути прилад системи електронного контролю німецької фірми «Miller Electronic» (рис. 1.8). Електронні засоби керування і контролю для посівних машин дозволяють проводити вимірювання і контроль норми висіву насіння, пропуски, двійники, виробіток за зміну. На сьогоднішній день серійно налагоджено виробництво засобів керування сівалками відомими зарубіжними фірмами Dicky-John, John Deere» (США), RDS (Великобританія), «Hessel» (Німеччина), Record (Україна), Нива (УКраїна) [22] і т.д.

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

Дана групи електронного обладнання включає в себе і посівний монітор типу М 7000 фірми «John Deere», призначений для комплектації багаторядних сівалок точного висіву просапних культур. Прилад забезпечує одночасне керування і контроль роботи до 12 секцій. До його складу входять фотоелектричні датчики висіву насіння, що встановлюються в насіннєпроводах сівалки, магнітно-індукційний датчик вимірювання пройденого шляху, пульт контролю та управління, який розміщують в кабіні трактора. На лицьовій панелі пульта є світлові сигналізатори порядкового номера сошника, через який припинився висів насіння; цифровий трирозрядний індикатор фактичної норми висіву насіння; перемикачі режиму роботи монітора та задатчика норми висіву;

чотиризначний лічильник засіяної площі з вимикачем; звуковий сигналізатор порушень технологічного процесу

Фахівці фірми Becker (Німеччина) розробили електронно-інформаційний пристрій BMS 1500 для контролю та оптимізації управління режимами роботи сівалок точного висіву. За допомогою пристрою здійснюється контроль швидкості руху агрегату та норма висіву насіння по рядкам. Якщо значення норми висіву насіння, швидкості руху агрегату чи частоти обертання вентилятора знижуються від заданої величини більш ніж на 15%, то включаються звуковий та світловий сигнали. Використовуючи електромагнітну муфту BMS 1500 керує включенням або відключенням посівних секцій. Також пристрій BMS 1500 за допомогою електромагнітного клапану переводь посівні секції в транспортне або робоче положення та піднімає та опускає маркер.

На німецьких сівалках «Easy Rider» використовується система керування та контролю норми висіву, фактичної витрати насіння на 1 га із застосуванням дозуючого пристрою, що приводиться гідромотором, частота обертання якого регулюється за допомогою електронного блоку. Мікропроцесор обробляє дані про пройдений шлях, кількість висіяного матеріалу, визначає фактичну норму висіву та порівнює її з заданою, при її розбіжності здійснює автоматичне коригування дозатора. Крім того, він забезпечує висів насіння на однакову глибину за рахунок зміни тиску у гідравлічній системі керування положенням сошників.

Фахівці фірми KINZE розробили систему керування та контролю, яка складається з набору датчиків, кабелів електронного блока та монітора КРМ II та КРМ III (рис. 1.9) [23].

На моніторі КРМ II у формі гістограми відображаються середня норма висіву насіння та норма висіву насіння кожним апаратом окремо, у разі виникнення неполадок звуковий сигнал попередить тракториста про проблеми в роботі посівної машини. На моніторі КРМ III відображаються норми висіву насіння та відхилення від середньої норми, ширина міжрядь, середня відстань

між насінням в рядку, площа обробленого поля, швидкість руху сівалки і т.д. Результати можуть видаватися як у гістограмній, так і в цифровій формі.

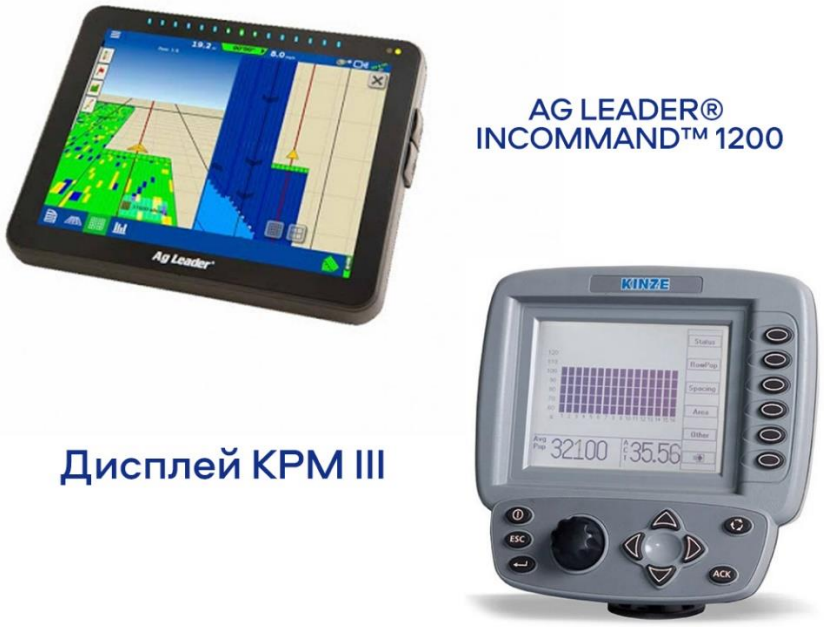



Рисунок 1.9 – КРМ III – електронна система контролю KINZE

Вітчизняний виробник посівної техніки компанія «Elvorti» розробив систему керування та контролю роботи своєї лінійки сівалок під назвою «Sputnik» (рис. 1.10) [24]. Система дозволяє відслідковувати відкази в роботі основних вузлів машини. На моніторі розміщеному в кабана трактора виводиться інформація по інтервалам висіву насіння в рядку, швидкість руху машини, коефіцієнт варіації розподілення насіння на полі.

Рисунок 1.10 – Система керування та контролю «Sputnik»

Також на особливу увагу заслуговує система керування і контролю роботи «Нива 23 від компанії «Yeni» (Україна)» (рис. 1.11), вона включає в себе ємкісні датчики, закріплені перед сошниками кожної посівної секції, та індукційні датчики, встановлені на опорно-привідних колесах. На екрані відображаються показники висіву насіння кожною посівною секцією, швидкість руху агрегату, засіяна площа [25].

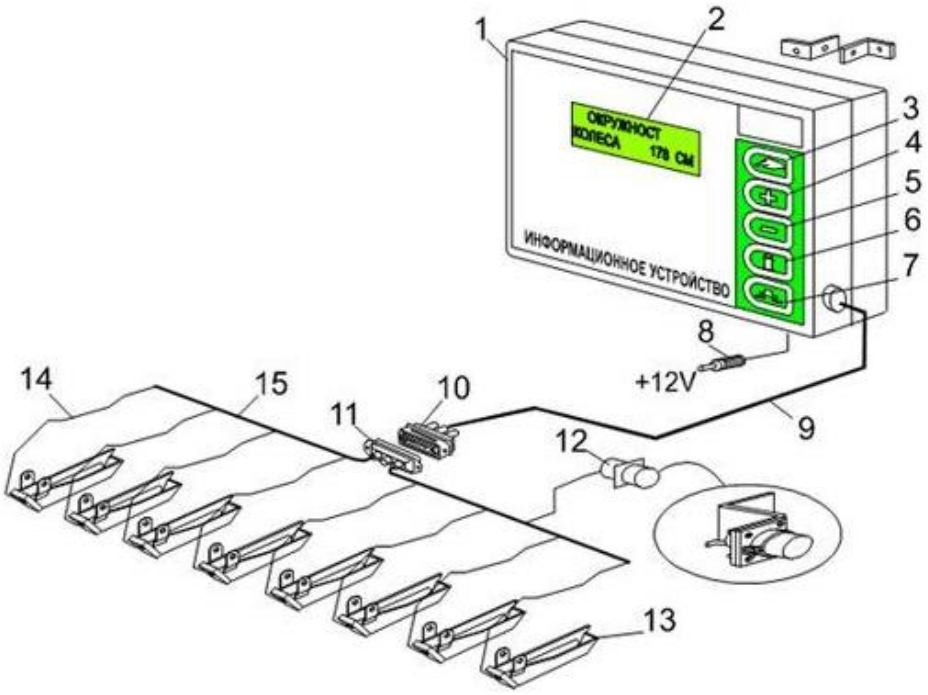



Рисунок 1.11 – Система керування і контролю «Нива 23»

1 – корпус; 2 – інформаційне табло; 3 – кнопка включення меню; 4 – кнопка «+»; 5 – кнопка " – "; 6 – кнопка включення інформація; 7 – кнопка включення/виключення; 8 – штекер живлення «12В»; 9 – дріт; 10, 11 – комутаційна розетка та вилка; 12 – датчик руху; 13 – датчик контролю висіву. 14 – дріт датчика висіву. 15 – мережа кабелів підключення датчиків

Система контролю відслідковує також кількість пропусків та двійників та відображає інформацію на табло у відсотках. За допомогою датчика руху відслідковується пробуксовування привідного колеса, що враховується при калібруванні системи перед початком роботи сівалки. Накопичена інформація по роботі кожної посівної секції зберігається в пам’яті системи протягом п’яти років.

## 1.4. Аналіз датчиків систем керування та контролю роботи сівалок

Аналіз датчиків проведемо за конструктивними особливостям, принципом дії та призначенням. За принципом дії датчики діляться на контактні і безконтактні [26]. В свою чергу контактні можна розділити на електромеханічні, п'єзоелектричні, акустичні та тензо-електричні. До безконтактних датчиків відносяться: фотоелектричні, ультразвукові та ємкісні.

За допомого контактних датчиків електромеханічного типу (рис. 1.12) здійснюється контроль за висівом зернових. Конструктивно такий датчик складається з шарнірно закріпленої пластини, яка розміщується на шляху потоку. Зерно ударяється по пластині та викликає її переміщення. Кожне переміщення передається на реле, яке формує імпульси, що надходять на логічно-обчислювальну частину електронного блока системи контролю та керування.

Рисунок 1.12 – Пластинчаті електромеханічні датчики

Акустичні датчики (рис. 1.13) – це датчики контактної і безконтактної реєстрації імпульсів. які виникають в процесі роботи механізмів при часткових розрядах в високовольтній апаратурі тощо. Хоча датчики і мають назву акустичні, але працюють вони за різних частот в діапазоні від 1 і до 300 кГц [26], що може виходити за поріг чутливості вуха людини. Датчики реагують на частотні коливання, які передаються на корпус обладнання через повітря або рідини. Робота акустичних датчиків побудована на вимірювання часткових розрядів за резонансного і резонансного типів. Основна перевага акустичних

датчиків це простота конструкції та монтажу. До недоліків можна віднести паразитні шуми в вихідному сигналі.

Рисунок 1.13 – Акустичний датчик

.П'єзоелектричні датчики (рис. 1.14)– призначені для перетворення механічного зусилля в електричний імпульс за рахунок п'єзоелектричного ефекту. П'єзоелектричні датчики отримали широке поширення в промисловості та інших галузях. Конструктивно виготовляються п'єзоелектричні датчики таких типів: волоконо-оптичні імпульсного тиску, вібраційні.

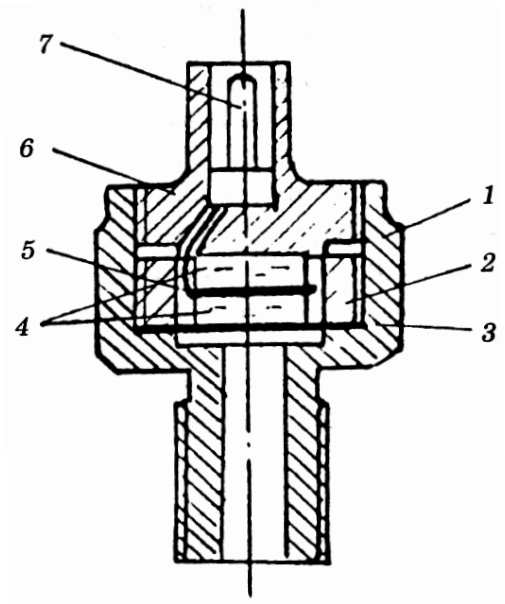



Рисунок 1.14 – П'єзоелектричний датчик

1 – корпус датчика ; 2,6 – гайка; 3 – еластична мембрана;

4 –шайба п'єзоелектрична; 5 –пластина металева; 7 – контактний вивід

Мембрана 3 разом з п'єзоелектричними шайбами 4 утворюють чутливий елемент, який затиснуто у корпусі датчика зовнішньою гайкою 6. Металева платина 5 за допомогою проводу з'єднана з виводом 7. Робота датчик відбувається наступним чином тиск рідини чи повітря передається на мембрану та п'єзоелектричні шайби. Коливання, які виникають в потоці викликають електричний заряд між шайбами 4. який надходить по дроту до виводу а далі на вимірювальну ланку.

Найдоцільніше п'єзоелектричні датчики використовувати при вимірюванні швидкоплинних змін тиску; за таких умов похибка в вимірюванні мінімальна. До переваг п'єзоелектричного датчика досить високу динамічність роботи і здатність сприймати зміни робочого тиску з частотою від 10 Гц до 10 МГц. Найбільше поширення отримали в вимірюванні вібрацій.

Оптичні або фотоелектричні датчики (рис. 1.15) призначені для безконтактного виявлення об'єктів. Оптичні датчики складаються з двох основних складових: випромінювача і приймача. Випромінювач забезпечує випромінювання в різних спектрах як видимому так інфрачервоному більше поширення отримав останній. Приймач складається з корпусу, фототранзистора або фотодіода [26].

За своїм конструктивом датчики поділяються на три види:

тип – Т «THRU-BEAM» (приймач і випромінювача встановлені один навпроти одного. Об'єкт, що проходить перетинає промінь між приймачем і випромінювачем тим самим змінює стан вихідного ключа;

тип – R «RETRO» (з відбиттям від світлоповертача / рефлектора). Оптичний промінь від випромінювача потрапляє на світлоповертач і далі на приймач, тіло що проходить між рефлектором і випромінювачем перериває промінь змінюючи стан вихідного ключа;

тип – D – «DIFFUSE» (з відбиттям від об'єкта). Відбиття променя відбувається від самого об'єкту виявлення.

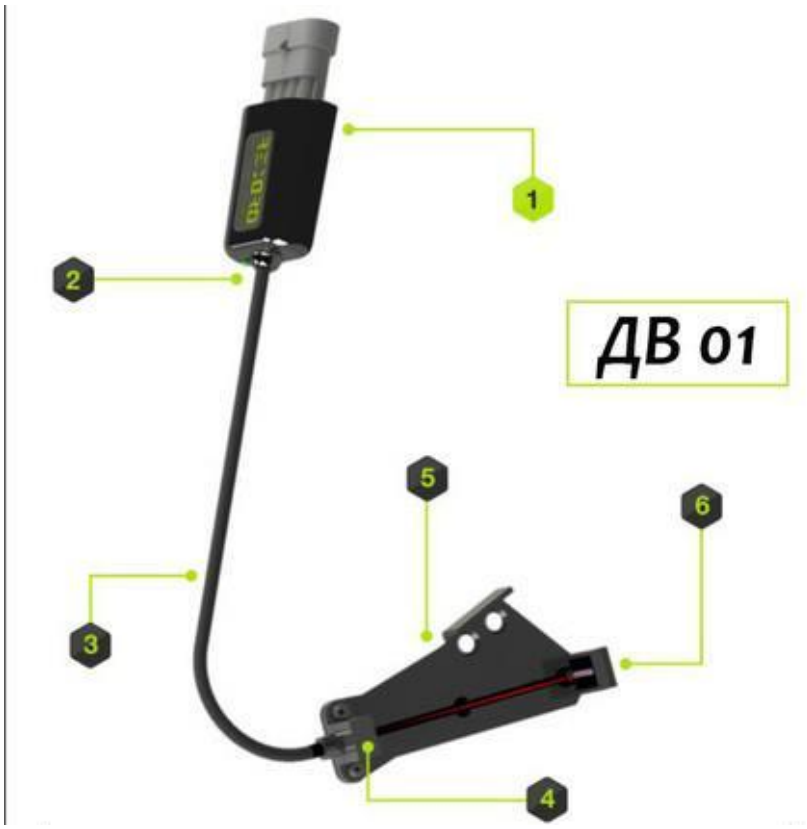



Рисунок 1.15 – Оптичний датчик системи контролю «Sputnik» сівалок Elvorti

1 – світлодіод контролю роботи датчика; 2 – з’єднувальний кабель;

3 – приймач; 5 – кронштейн; 6 – випромінювач

Ємнісні датчики (рис. 1.16) призначені для вимірювання зміни рівня об’єму, принцип дії якого заснований на зміні ємності на обкладинках конденсатора, якими служить поверхня порожнин та сам датчик, речовина рівень якої вимірюється являється діелектриком між цими обкладинками [27].

Рисунок 1.16 – Ємнісні датчики

Перевагою даних датчиків є простота конструкції та монтажу, що забезпечує високі показники міцності та надійності. На точність показань датчиків не впливають такі збурюючі фактори, як пил та температура.

Ємнісні датчики отримали широке поширення в найрізноманітніших галузях завдяки простоті при виготовленні та низькій собівартості. За допомогою датчиків найбільш часто вимірюють кутові та лінійні переміщення. В сільському господарстві датчики отримали поширення в вимірюванні рівня сипучих матеріалів та рідин, норми висіву, пройденого шляху як приклад застосування в системі «Нива 23» (рис. 1.11 ) та ін. Також за допомогою ємнісних датчиків вимірюють товщину діелектричного матеріалу, вологість повітря, кутові та лінійні прискорення.

Датчики Холла (рис. 1.12) призначені для вимірювання швидкості, позиціонування, електричного струму [28]. Робота датчика заснована на ефекті Холла за назвою автора, тобто зміни структури приймача датчика від впливу на нього магнітного поля. Датчики поділяються на цифрові та аналогові.

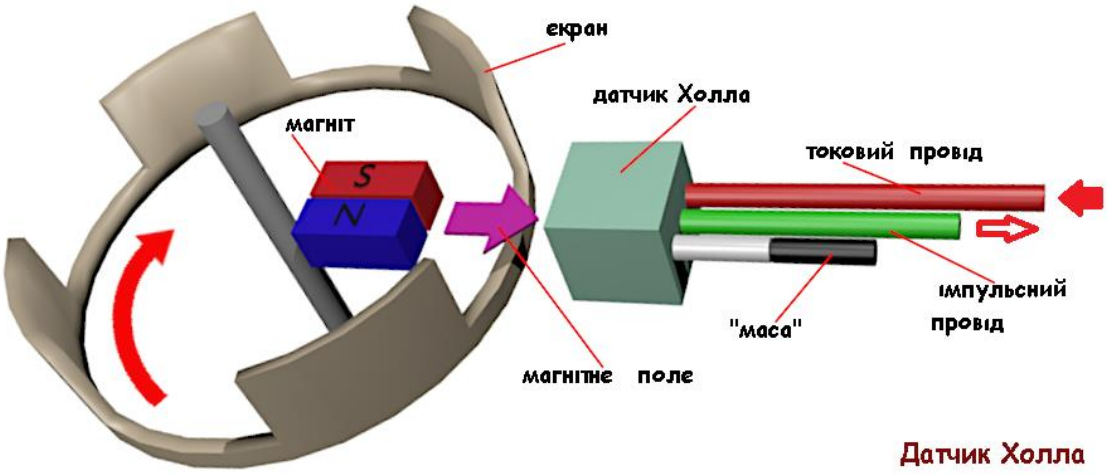



Рисунок 1.17 – Загальна бідова датчика Холла

Датчик Холла отримав широке поширення в вимірювальних приладах елементах, системах запалювання двигунів внутрішнього згорання, електродвигунах. Головним недоліком датчика являється підвищена чутливість до електромагнітних полів мереж живлення.

Індуктивні датчики (рис. 1.18) – безконтактні датчики що використовуються для позиціонування елементів деталей, вимірювання кутових швидкостей, контролю стану об'єкту з металів [29].

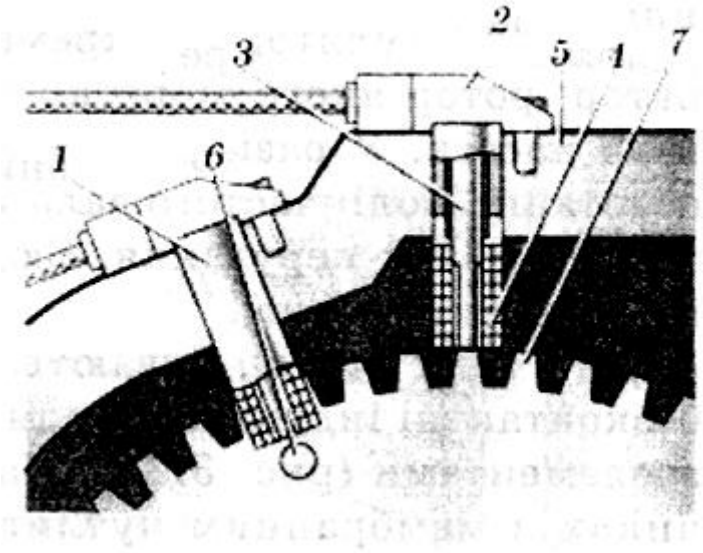



Рисунок 1.18 –Індуктивний датчик

1 – датчик положення ВМТ; 2 – датчик частоти колінчастого валу;

3–магнітний сердечник; 4 – обмотка; 5 – картер; 6– мітка маховика;

7 – зубчатий вінець;.

Обмотка 4 датчика розташовується на магнітному сердечнику 3, який своїм полюсом направлений в сторону зубці 7 на маховику з невеликим зазором.

Під час переміщення зубців відносно датчика 2 зміна величини зазору між магнітним сердечником датчика і зубцями постійно міняється, що призводить до зміни величини магнітної індукції це викликає формування двохполярного імпульсу в обмотці датчика.

На значення величини амплітуди сигналу з датчика впливатиме довжина зазору між магнітним сердечником і зубом вінця маховика та частота зміни електромагнітної індукції.

Перевагами датчику є досить висока надійність, проста конструкція, відсутність рухомих контактів, досить висока чутливість та спрацьовування тільки на метал.

## 1.5 Висновки

1. Найбільш актуальним для посушливих регіонів України являється гідравлічний висів насіння. Використання при посіві пророслого насіння дозволяє прискорити появу сходів від 2 до 9 днів.

2. За результатами проведеного аналізу систем керування та засобів контролю робочого процесу посівної техніки встановлено, що впровадження таких систем дозволяє уникнути втрати майбутнього урожаю завдяки своєчасному попередженню механізатора про аварійний режим роботи посівного агрегату. Основними показниками, які необхідно контролювати в процесі посіву, являється наявність насіння в бакові, оптична щільність, відсоток пропусків та двійників, норма висіву насіння, надходження насіння до сошника, розгерметизація гідро та пневмо мереж.

3. За результатами аналізу датчиків систем керування роботи посівних агрегатів найбільш актуальними є оптичні датчики, індуктивні та ємнісні завдяки їх роботи в умовах підвищеної запиленості.

## 1.6 Мета і завдання досліджень

***Мета роботи*:** підвищення ефективності точного посіву шляхом розробки електронної системи контролю та керування робочим процесом гідравлічної сівалки та дозуючого пристрою

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішення наступних задач:

***Задачі роботи:***

- провести аналіз показників роботи сівалки, які необхідно контролювати
- провести наліз систем контролю технологічних параметрів сівалок;

- розробити та дослідити систему керування та контролю роботи гідравлічної сівалки;

- розробити та провести дослідження дозуючого пристрою гідравлічної сівалки.

- провести економічне обґрунтування розробленої системи та дозуючого пристрою

# 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 2.1 Теоретичні передумови удосконалення гідравлічної сівалки точного висіву

Точність висіву завжди була одним з найважливіших критеріїв оцінки якості роботи сівалок і в узвичаєних технологіях повинна забезпечувати оптимальну густоту посівів. Для реалізації координатного гідравлічного висіву в Дніпровському державному аграрно-економічному університеті розроблено гідравлічну сівалку [10]. При проведенні експериментальних досліджень роботи висівного апарату гідравлічної сівалки було виявлено імовірний характер розподілу насіння по насіннєпроводу перед висівним дозуючим пристроєм.

Про наявність суттєвої нерівномірності розподілу насіння у рідині гідросівалок свідчать і результати досліджень інших науковців [9, 30-32]. Перш за все нерівномірність розподілення насіння при висіві пов'язана з процесом перемішування рідини з насінням в бакові, де насіння розподіляється в об'ємі за ймовірним законом. Теоретичними дослідженнями [33] встановлено, що ступінь неоднорідності рідини з насінням $\delta_н$ можна визначити за рівнянням, як відношення максимальної відстані $b_{max}$ між насінинами у насіннєпроводі до мінімальної $b_{min}$:

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

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

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

$\Delta$ – абсолютне відхилення відстані між насінинами від середнього значення:

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

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

Враховуючи, що $b_{min} \geq 3d_{\text{н}}$, знаходимо, тоді $b_{max} \leq \delta_{\text{н}} \cdot 3d_{\text{н}}$.

Середнє значення величини інтервалів між насінням, тоді визначимо за рівнянням :

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

Перехід насіння з бака до насіннєпроводу є випадковим процесом, за абсолютно рівномірного його перемішування в об'ємі рідини. На характер розподілу насіння впливають наступні фактори: парусність, форма, щільність, структура поверхні, швидкість потоку псевдозрідженого шару і т.д.

Основною задачею дозатора висівного апарата забезпечити однонасіннєвий відбір пророслого насіння з загальної маси для висіву з заданим інтервалом, з метою підвищення точності висіву гідросівалки. В загальному випадку точність висіву сівалки $\tau_в$ оцінюємо за числом пропусків висіву пророслого насіння.

$$\tau_в = \left( \frac{N_з - N_п}{N_з} \right) \cdot 100\% \qquad (2.4)$$

де $N_з$ – задана число висівів;

$N_п$ – число пропусків.

## 2.2 Конструкція дозатора висівного апарата гідравлічної сівалки

Вирішити проблему з ймовірним розподілом насіння намагалися покращенням конструкції мішалок [31], розробкою регуляторів витрати рідини з насінням [32], але великого успіху дані розробки не мали. Для вирішення даної проблеми ми пропонуємо удосконалити гідросівалку [10], шляхом розробки та установки на неї конструкції дозатора насіння з оптичними датчиками та електронною системою керуванням технологічним процесом гідровисіву. На

рисункові 2.1 представлено конструкцію розробленого дозатора насіння висівного апарату гідравлічної сівалки.

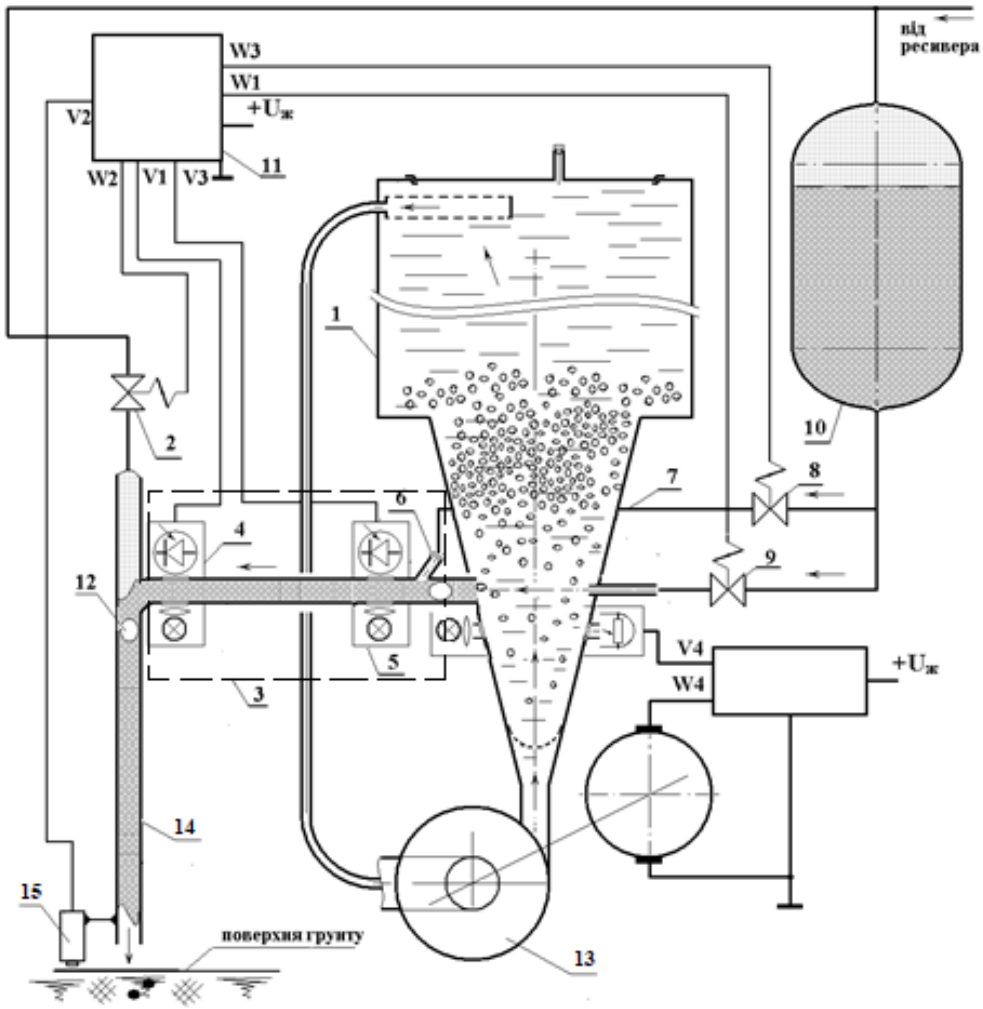



Рисунок 2.1 – Висівний апарат гідравлічної сівалки з дозатором

1 – бак для насіння; 2 – електричний пневмоклапан; 3 – дозатор насіння; 4, 5 – оптичні датчики; 6 – штуцер дозатора; 7 – магістраль подачі рідини; 8, 9 – електричний гідроклапан; 10 – резервуар для рідини; 11 – блок керування; 12 – насіння; 13– насос; 14 – висівний ствол; 15 – датчик переміщення.

Робота сівалки з запропонованою конструкцією дозатора 3 відбувається наступним чином. Після завантаження насіння та рідини до бака 1 електронний блок 11 запускає насос для підтримання псевдозрідженого шару насіння в зоні

забору до дозатора 3. Сигналом W1 з блока керування відкривається електрогідроклапан 9. Рідина з резервуару 10 через відкритий клапан 9 витісняє проросле насіння 12 з бака 1 до оптичного датчика 5 після чого клапан 9 закривається. В момент закриття клапана 9 сигналом W3 відкривається гідроклапан 8.

Під тиском рідина через відкритий клапан 8 і штуцер 6 надходить до дозатора та витісняє насіння що чекає в дозаторі далі до оптичного датчика 4 висівної частини. Висівний апарат заряджений і готовий до висіву. За сигналом V2 з датчика переміщення 15 блок керування відкриває електро-пневмоклапан 2, після чого насіння з висівного ствола 14 стисненим повітрям виштовхується до насіннєвого ложе сформованого сошником (на малюнку не вказано). Запропонований дозатор висівного апарату гідравлічної сівалки забезпечує підтримання постійних інтервалів. Запропонований алгоритм дозволить покращити коефіцієнт варіації розподілення насіння в рядку.

### 2.3 Розробка електронної системи керування гідросівалки

Використавши агрегатний метод [34, 35] проведено проектування та розробку електронної системи керування гідросівалкою (рис. 2.2), яка дозволяє забезпечити злагоджену роботу основних компонентів сівалки. Джерелом живлення 1 гідросівалки являється акумулятор гелевий Full Energy 9AH. В якості оптичних датчиків використовуємо оптопари 4, 5, 7, 8 – KTIR 0911S. Врахувавши параметри пневматичної та гідравлічної частини сівалки в якості запірних елементів обрано гідро та пневмоклапани 9-11 серії SV-F- DC12V розраховані на роботу, як з газами так і рідиною. За результатами попередньо проведених досліджень створення псевдозрідженого шару в якості насоса обрано помпу склоомивача автомобіля OEM 2110-5208009, яка має достатню продуктивність в межах 0,5-0,7 л/хв.

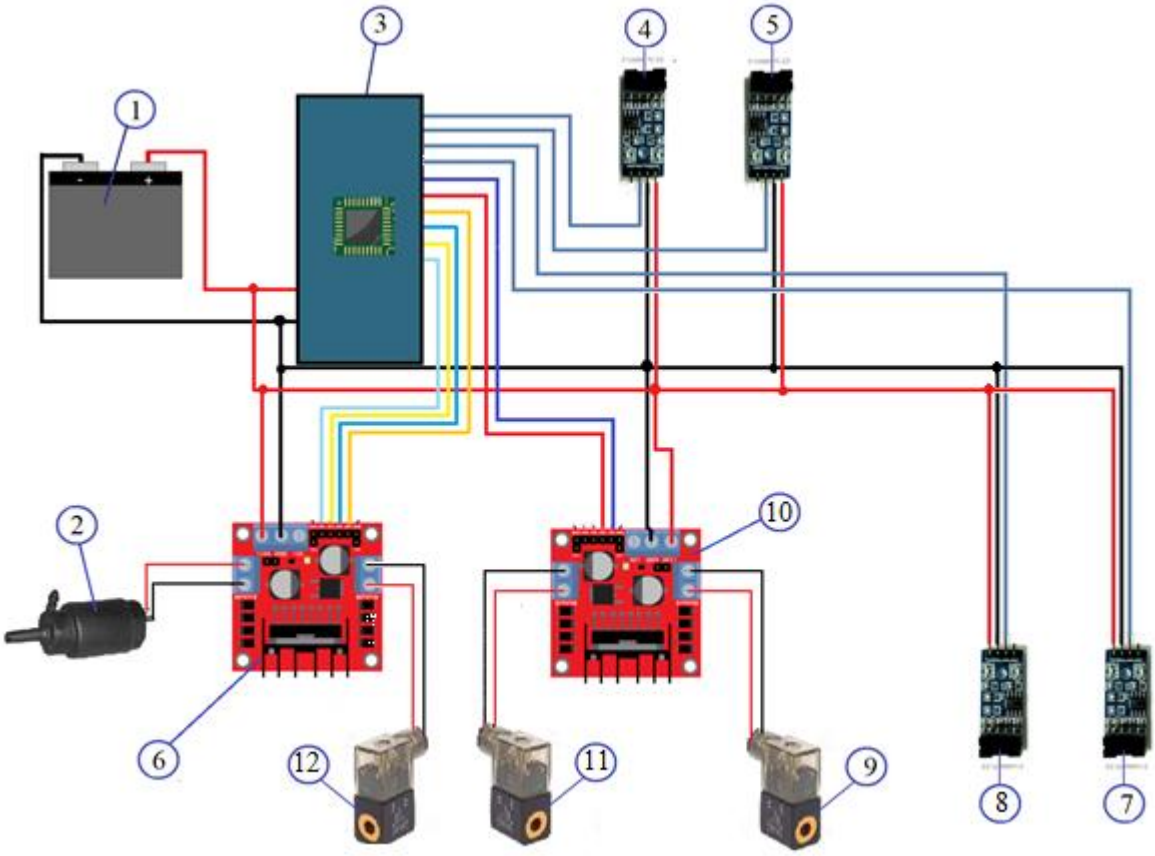



Рисунок 2.2 – Схема електронної системи керування гідросівалкою:
1 – акумулятор; 2 – електронасос; 3 – електронний блок керування;
4 – оптичний датчик концентрації насіння; 5 – оптичний датчик переміщення сівалки; 6 – драйвер керування насосом та пневматичним клапаном; 7, 8 – оптичні датчики дозатора; 9, 11 – електрогідравлічні клапани ; 10 драйвер керування клапанами; 12– електропневматичний клапан.

Задана концентрація насіння в камері дозатора сівалки підтримується за допомогою оптичного датчика концентрації насіння 4, драйвера-регулятора 6 та електронасоса 2 завдяки регулювання витрати насоса.

Електронний блок 3 забезпечує керування всіма складовими електричної частини сівалки. Електронний блок керування сівалкою (рис. 2.3) забезпечує:

- ручне керування гідравлічними та пневматичними електроклапанами;
- автоматичне керування гідравлічними та пневматичними електроклапанами з частотою 4…30 Гц;

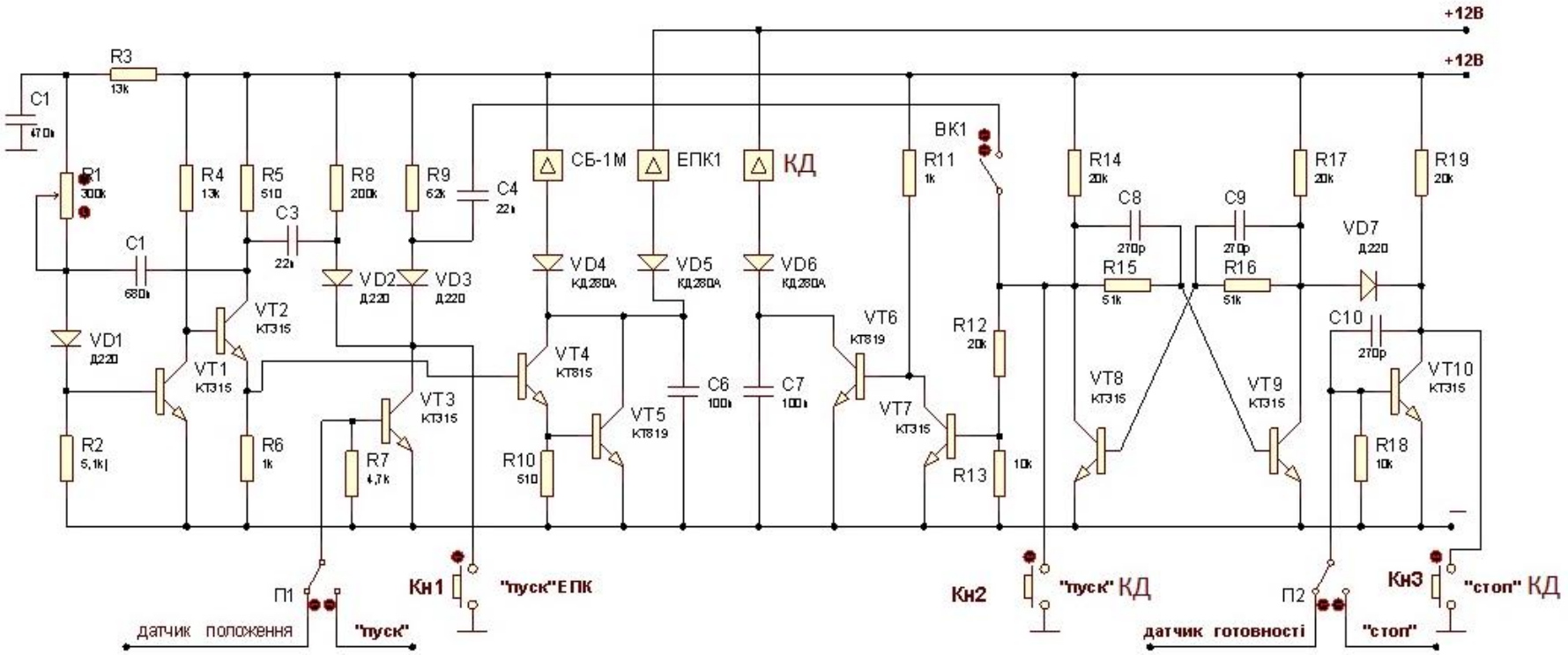



Рисунок 2.3 – Схема електронного блока керування гідросівалкою

- регулювання періоду відкривання електропневматичного клапану 5...45 мс і електрогідравлічного клапану 5...140 мс;

- керування гідравлічними клапанами використовуючи оптичні датчики дозатора насіння;

- керування пневматичним клапаном використовуючи оптичний датчик переміщення сівалки.

За допомогою транзисторів VT4, VT5 відбувається керування електропневматичним клапаном. Комутація електрогідравлічних клапанів здійснюється за допомогою ключа виконаного на транзисторі VT6 з інвертором виконаним на транзисторі VT7. Захист ключів транзисторів реалізовано за допомогою конденсаторів С5-С7 і діода VD6.

За допомогою тригера виконаного на транзисторах VT8 і VT9 відбувається керування ключем електропневматичного клапана за допомогою датчика переміщення сівалки, або в ручному режимі за допомогою кнопок Кн2 і Кн3.

Тривалість відкриття електропневматичного клапана регулюється резистором R1, конденсатором С2 та одновібратором на транзисторах VT1, VT2. За допомогою діодів VD2 і VD3 виконано розв'язку одновібратора та тригера.

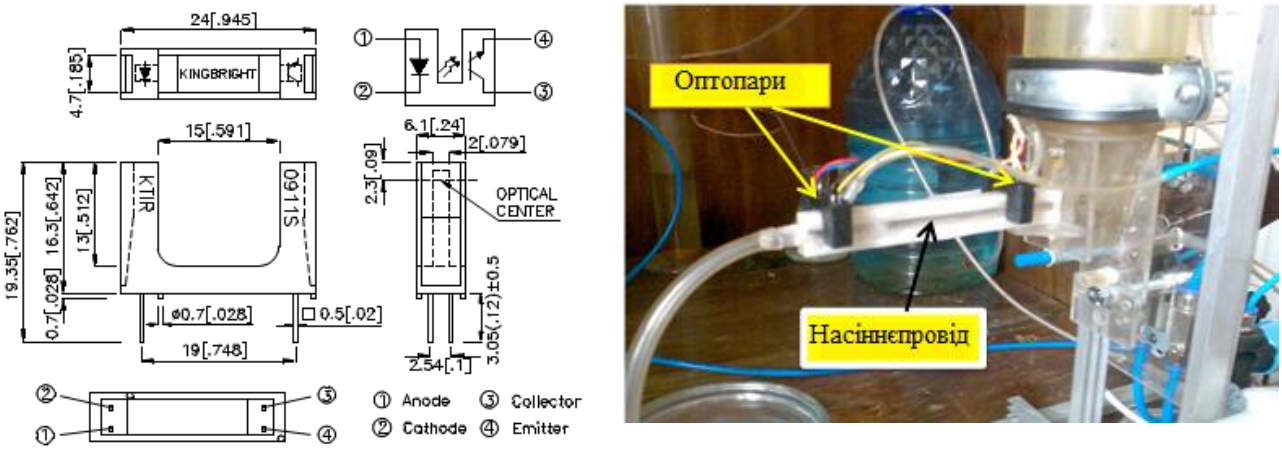
## 2.4. Дослідження особливостей роботи оптичних датчиків дозатора

В якості оптичних датчиків дозатора насіння висівного апарату гідросівалки обрано щільові оптопари відкритого типу KTIR0911S (рис. 2.4). Оптичні датчики підбиралися за геометричними розмірами насіннєвого каналу дозатора відповідно ширина 14 мм, висота 16 мм та зоною чутливості. Згідно попередньо проведених досліджень оптичні датчики добре бачать насіння діаметром від 1,5 мм і вище при роботі з меншим за розміром насіння трапляються пропуски, що знижує ефективність роботи дозатора. Вирішити дану проблему можливо доопрацюванням датчика за рахунок встановлення

розсіювачів. Детально доопрацювання та дослідження оптичних датчиків буде розглянуто в наступному розділі.

Основним параметром оптичного датчика, являється струм колектора $I_к$ приймача (фототранзистора), який складається з таких складових, як первинний фотострум $I_ф$, інжекційний струм $I_i$ і тепловий $I_{K0}$ струму

$$I_к = I_ф + I_{i+} I_{K0}, \tag{2.5}$$




а б

Рисунок 2.4 – Оптичні датчики дозатора

а – креслення відкритої оптопари KTIR 0911S;

б - розміщення оптичних датчиків на насіннєвому каналі дозатора.

Після проведеного удосконалення, оптичні датчики дозатора за рахунок розширеної зони чутливості 10 мм, та використання підсилювача сигналу надійно реєструють проходження насіння різних розмірів. Використання інфрачервоного спектру випромінювача датчика дозволяє суттєво знизити хибні спрацювання. Попередня перевірка роботи формуючої ланки доводить доцільність дослідження оптичних датчиків, а саме визначення зони їх чутливості та можливості її розширення в конкретних умовах роботи оптопари. Основні параметри оптопаре наведено в додатку А.

## 2.5 Визначення основних параметрів гідросівалки

До основних параметрів гідосівалки можна віднести швидкість руху насіння з рідиною по дозатору, величину, швидкість виштовхування насіння з висівного ствола, довжина ствола, довжина насіннєпроводу дозатора, величина тиску виштовхування насіння з ствола та ін.

Довжина ствола визначається за умовою:

$$L_C \geq (1+\delta_o)\cdot l_n = (1+\delta_o)\cdot \mathrm{n_z}\cdot 6\cdot d_н \cdot \left(\frac{d_c}{d_{нп}}\right)^2 \qquad (2.6)$$

$d_н$ – діаметр насіння, м;

$l_n$ – довжина водяного стовпа в стволі, м;

$d_c$ – діаметр висівного ствола, м;

$d_{нп}$ – діаметр насіннєпроводу дозатора, м;

$\mathrm{n_z}$ – кількість насінин, що висівається в одне гніздо, шт.

Величину тиску газу в стволі $P_г$ на початку виштовхування насіння з рідиною визначимо за рівнянням:

$$P_г = (\rho_p \cdot l_n)\cdot(\frac{d^2 s}{dt^2}), \qquad (2.7)$$

де $\rho_p$ – щільність рідини, кг/м$^3$;

$\mathrm{d^2s/dt^2}$ – прискорення насіння і рідини, м/с$^2$.

Величину тиску газу в стволі $P_г$ в кінці виштовхування визначимо за рівнянням:

$$P_г = \rho_p \cdot L_c \cdot (\frac{d^2 s}{dt^2}) \qquad (2.8)$$

де $l_г$ – довжина ствола, заповненого газом, м.

Час висіву насіння:

$$t_B = t_C + \frac{L_C}{v_{нс}}, c \tag{2.9}$$

де $t_c$ – час відкриття пневмоклапана, с;

$v_{нс}$ – швидкість руху пульпи з насіння та рідини в стволі, м/с.

Швидкість руху пульпи з насіння та рідини в стволі:

$$v_{нс} = \frac{P_г}{S_C} \tag{2.10}$$

де $S_c$ – переріз висівного ствола, м.

Час заряджання насіння за допомогою дозатора $t_З$ визначимо за рівнянням:

$$t_з = \left( \frac{n_z \cdot 12 \cdot d_н \cdot \rho_р \cdot L_н}{(P_B - \Delta P)} \right)^{0,5} . \tag{2.11}$$

де $P_B$ – тиск рідини, МПа;

$\Delta P$ – падіння тиску у насіннєпроводі, МПа;

$L_н$ – довжина насіннєпроводу дозатора, м.

Тоді загальний час циклу визначимо за рівнянням:

$$t_ц = t_з + t_в + t_о \tag{2.12}$$

де $t_о$ – час очікування, с.

Максимальну швидкість гідросівалки визначимо за рівнянням:

$$v_B = \frac{L_Г}{t_ц}, м/с. \quad (2.13)$$

де $L_Г$ – інтервал між висівами в рядку, м.

Інтервальне розміщення насіння в рядку та норма його висіву визначаються з умови руху овочевої сівалки.

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

$$H = \frac{Q}{L_к} \quad (2.14)$$

де $Q$ – кількість висіяного насіння, шт;

$L_К$ – пройдений шлях, м.

### 2.6. Визначення ймовірності відбору насіння з бака до дозатора

Висів насіння гідросівалкою можна розділити на чотири етапи: формування псевдозрідженого шару в бакові, відбір насіння з бака до дозатора, подача насінини дозатором до висівного ствола і останній етап висіву насіння.

Етап формування детально розглянуто в наукових роботах [10] ми ж приділимо більше уваги етапу відбору насіння до дозатора та дозування насіння дозатором. Відбір насіння має імовірний характер так, як він здійснюється з попередньо сформованого псевдозрідженого шару.

В зв’язку з наведеними особливостями процесу відбору насіння оптичний датчик повинен чітко контролювати входження насіння до дозатору.

Згідно з попередньо-проведеними дослідженнями відомо, що інтервали між насінинами, що надходять з баку до датчика за час $t_i$ мають випадковий характер, функцію якого можна описати законом:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \tag{2.15}$$

де $\lambda$ – інтенсивність руху насіння,

Ймовірність проходу насіння інтенсивністю руху насіння $\lambda$ для інтервалу $t_i > t$ визначимо за формулою (2.15):

$$P_O(t) = F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \tag{2.16}$$

Розкладемо рівняння (2.16) використавши ряд Тейлора при $t=0$, отримаємо:

$$P_O(t) = 1 - \lambda t + 0(t) \tag{2.17}$$

Позначимо, як $P_j(t)$ ймовірність проходження $j$ насіння, за час $t$ до оптичного датчика дозатора. Ймовірність проходження насіння $P_j(t + \Delta t)$ визначимо за формулою:

$$P_j(t + \Delta t) = \sum_{k=0}^{\infty} P_k(t) \cdot P_{j-k}(\Delta t) \tag{2.18}$$

де $P_{j-k}(\Delta t)$ – ймовірність факту проходження насінини повз оптичний датчик, за час $\Delta t$ у дозаторові пройде $j - k$ насіння.

Згідно умови однорідності потоку для $j > 1$, можна прийняти:

$$P_{j>0}(t) = o(\Delta t) \tag{2.19}$$

Врахувавши розглянуті рівняння (2.17), (2.18), (2.19) отримаємо:

$$P_j(\Delta t) = \lambda \Delta t + o(\Delta t) \tag{2.20}$$

Підставимо рівняння (2.17), (2.19) та (2.20) у формулу (2.18) отримаємо:

$$P_j(t+\Delta t) = P_{j-1}(t)\lambda \Delta t + P_j(t)(1-\lambda \Delta to) + o(\Delta t) \tag{2.21}$$

Провівши математичні перетворення рівняння 2.21 отримаємо диференційне рівняння:

$$\frac{dP_j(t)}{dt} = -\lambda P_j(t) + \lambda P_{j-1}(t) \tag{2.22}$$

За умови $j=0$ формула (2.22) матиме вигляд:

$$\frac{dP_o(t)}{dt} = -\lambda P_O(t) \tag{2.23}$$

Здійснемо заміни в рівняннях (2.22) та (2.23), :

$$P_j(t) = e^{-\lambda t} V_j(t) \tag{2.24}$$

Тоді

$$\left.\begin{aligned} V_j^{'}(t) &= \lambda V_{j-1}(t) \\ V_0^{'}(t) &= 0 \end{aligned}\right\} \tag{2.25}$$

За умови $t=0$ отримаємо наступні рівняння:

$$V_0(0) = P_0(0) = 0;\ \ V_j(0) = P_j(0) = 0;\ \ (k \geq 1)\,, \tag{2.26}$$

За таких умов за нульового часу до оптичного датчика дозатора не пройде жодна насінина.

Підставимо по черзі їх у рівняння (2.25) отримаємо:

$$V_0(t)=1;\ V_1(t)=\lambda t;\ V_2(t)=\frac{(\lambda t)^2}{2!}$$

для будь-яких значень $j$ отримаємо:

$$V_j(t)=\frac{(\lambda t)^j}{j!} \tag{2.27}$$

Повернемося до отриманої функції $P_j(t)$ з рівняння (2.24) отримаємо:

$$P_j(t)=\frac{(\lambda t)^j}{j!}e^{-\lambda t} \tag{2.28}$$

Оптичний датчик, що знаходиться у дозаторі, контролює прохід насінини з бака за ймовірним законом. Розглянемо випадок ймовірності проходження двійників повз датчик $(k<j)$ тоді:

$$P_{j,k}(t)=C_j^k\rho^k(1-\rho)^{j-k} \tag{2.29}$$

Де $C_j{}^k$ – число ймовірності поєднань з $j$ по $k$, $p$ – ймовірність індикації датчика. Імовірність двійників $P_k(t)$ , за час $t$ з урахуванням виразу (2.28) визначимо за формулою повної ймовірності:

$$P_k(t)=\sum_{j=k}^{\infty}P_j(t)C_j^k\rho^k(1-\rho)^{j-k} \tag{2.30}$$

Проведемо математичні перетворення підставимо значення $Pj(t)$ з рівняння (2.28):

$$P_k(t) = \sum_{j=k}^{\infty} \frac{(\lambda t)^j}{j!} e^{-\lambda t} \cdot \frac{j!}{k!(j-k)!} \cdot \rho^k (1-\rho)^{j-k}$$
$$= \frac{(\lambda \rho t)^k}{k!} e^{-\lambda t} \sum_{j=k}^{\infty} \frac{(\lambda t)^{j-k}}{(j-k)!} (1-\rho)^{j-k} = \frac{(\lambda \rho t)^k}{k!} e^{-\lambda t} e^{\lambda(1-\rho)t} = \frac{(\rho \lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda \rho t} \quad (2.31)$$

Отримане рівняння дозволяє визначити точність реєстрації надходження насіння до оптичного датчика дозатора.

За умови $k = 0$ отримаємо вираз:

$$P\{t_c > t\} = P_{k=0}(t) = e^{-\lambda \rho t} \quad (2.31)$$

Тоді функція розподілу $F_{tc}(t)$ визначимо за рівнянням:

$$F_{tc}(t) = 1 - P(t_c > t) = 1 - e^{-\lambda \rho t} \quad (2.32)$$

Отже можна твердити, що інтервали між сигналами від оптичного датчика розподілені по показовому закону із параметрами $p\lambda$.

## 2.7 Висновки

1. Теоретичними дослідженнями встановлено, що ступінь неоднорідності рідини з насінням $\delta_н$ можна визначити за рівнянням (2.1), а точність висіву (2.4) за кількістю пропусків підчас посіву в рядку.

2. Запропоновано конструкцію дозатора дозволить вирішити питання неоднорідності подачі насіння до висівної частини гідросівалки. Розроблена електронна система дозволить реалізувати алгоритм роботи дозатора з складовими запірного обладнання (клапанами) гідросівалки.

3. Теоретичними дослідженнями встановлено зону чутливості оптичного датчика, проведено його удосконалення, яке дозволило розширити її до максимальне значення в 10 мм. За таких можливостей датчик може індифікувати різне за розміром насіння.

4. Визначено основні параметри гідросівалки, врахувавши особливості кожного з них отримано рівняння, які дозволяють досить точно їх визначити.

5. Провівши математичний аналіз визначено ймовірність відбору насіння з бака до дозатора та ймовірність пропусків насіння оптичним датчиком.

# 3 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 3.1 Програма досліджень

Використавши загальноприйняті методики проведення експериментальних досліджень [36] з метою перевірки отриманих теоретичних положень, та встановлення бажаних значень конструкційних та режимних параметрів розробленої електронної системи керування сівалкою розроблено програму та методику експериментальних досліджень.

Програма досліджень передбачає наступні етапи:

1. Лабораторні дослідження оптичних датчиків дозатора насіння.

2. Дослідження роботи дозатора висівного апарата гідравлічної сівалки.

3. Лабораторні дослідження висівного апарату з удосконаленим дозатором подачі насіння. Встановлення бажаних значень конструктивно-технологічних параметрів гідросівалки з розробленою електронною системою керування.

4. Польові дослідження гідросівалки з розробленою електронною системою керування

## 3.2 Методика та результати досліджень оптичних датчиків дозатора подачі насіння

Фотодатчики являються важливими елементами електронної системи керування сівалкою, так від їх точної роботи залежать точність висіву самого посівного агрегату. Попередньо проведеними дослідженнями встановлено, що за ширини насіннєпроводу в 10 мм стандартні оптичні датчики за умови проходження насіння побіля стінок не бачать його, що пов’язано з їх вузькою зоною чутливості (рис. 3.1, а). Вирішити дану проблему можливо використавши розсіювачі з обох боків датчика ( рис. 3.1, г ). Недоліком такого способу удосконалення оптичного датчика викликає зниження рівня вихідного сигналу, що зумовлює також необхідність встановлення підсилювача сигналу оптичного датчика розроблену принципову схему якого наведено на рисунку 3.2.

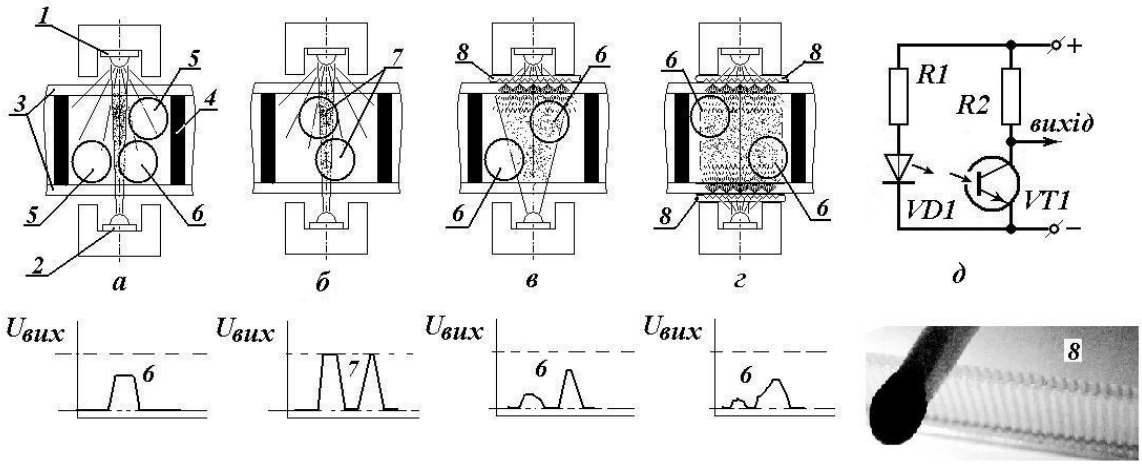



Рисунок 3.1 – Розподілення насіння в каналі дозатора:

а і б – без використання розсіювача; в – використання розсіювача з одного боку; г – використання розсіювача з обох боків; д – електрична схема оптичного датчика; 1 – LED випромінювач VD; 2 – приймач фото-транзистор VT; 3 – прозорі стінки; 4 – не прозорі стінки каналу дозатора; 5 – насінина в мертвій зоні; 6 – насінина при частковому затіненні оптичного каналу датчика; 7 – насінина при повному затіненні оптичного каналу; 8 –фільтр-розсіювач

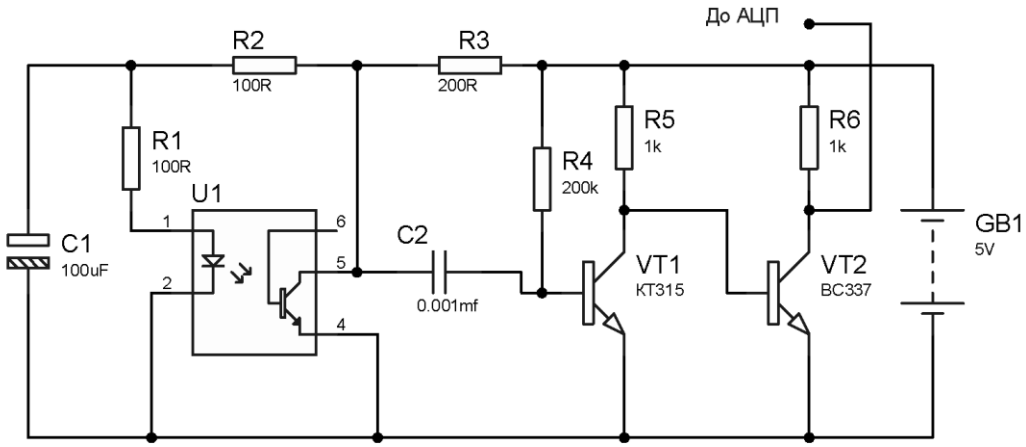



Рисунок 3.2. Підсилювач сигналу оптичного датчика

Для підвищення ефективності роботи оптичних датчиків проведемо дослідження їх сумісної роботи з розробленою конструкцією розсіювача та підсилювача вихідного сигналу, що дозволяють розширити зону чутливості датчиків.

На рисунку 3.3 наведено приклад розширення чутливості оптичного датчика. За рахунок встановлення фільтрів-розсіювачі з боку розташування фототранзистора та випромінювача оптичної пари дослідженнями встановлено, що зону чутливості можливо розширити з 2 мм до 10 мм.

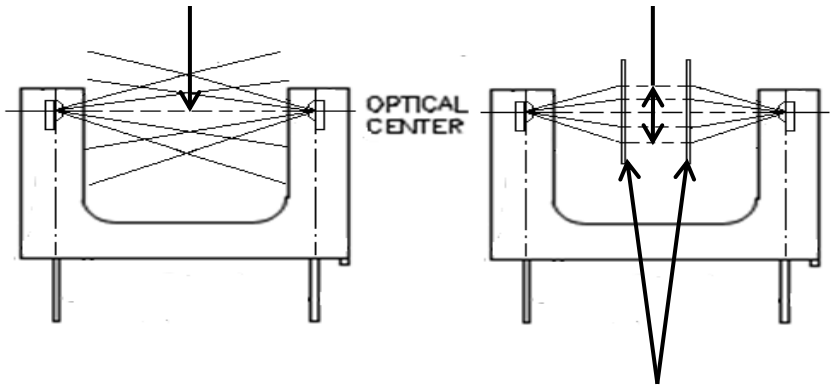



Рисунок 3.3 - Розширення зони чутливості датчика

В якості матеріалу розсіювачів досліджено фільтри з фторопласту, поліуретану та органічного скла з призматичною поверхнею. Найкращі властивості розсіювання має фільтр з оргскла з призматичною поверхнею (рис. 3.4.)

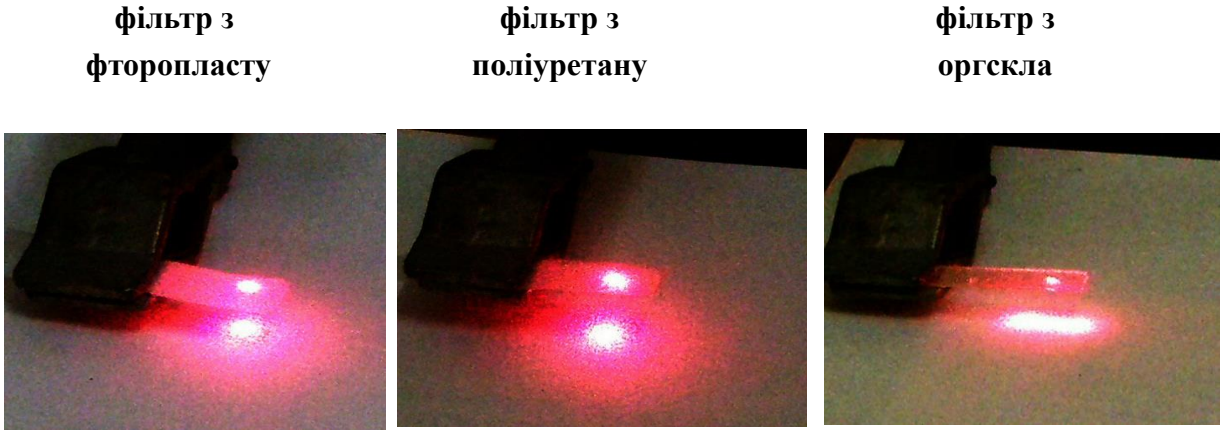



Рисунок 3.4 – Розсіювання променя світла за допомогою різних фільтрів

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

Для дослідження запропонованого удосконалення оптичних датчиків розроблено стенд (рис. 3.5), який складається з диска 1 виготовленого з прозорого

матеріалу, який приводиться за допомого колекторного електродвигуна. Ближче до периферії диска розміщуємо затінювачі А, які імітують ймовірне розміщення насінин в каналі дозатора шириною S, охопленого фотодатчиком 3. Використання електричного приводу дозволяє встановлення різної швидкості проходження насіння по каналу дозатора.

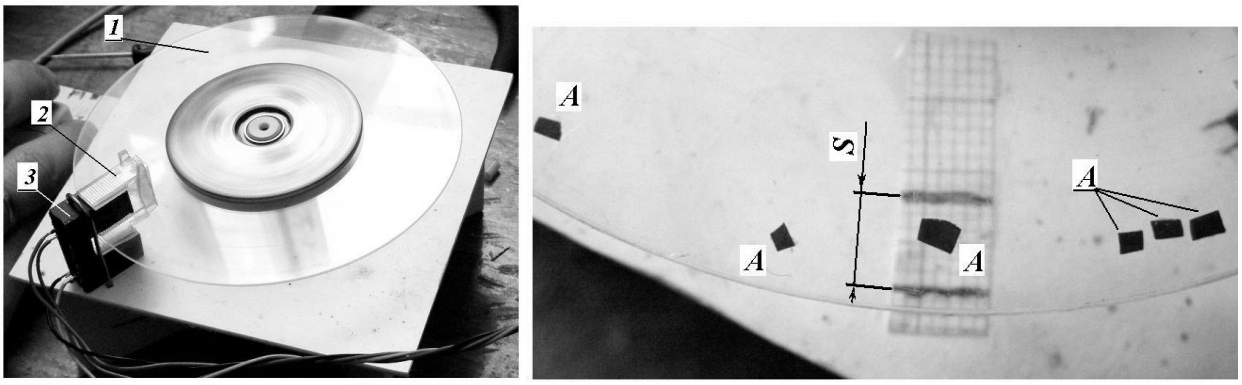



Рисунок 3.5 – Стенд діагностики роботи оптичних датчиків:
1 – диск з прозорого матеріалу; 2 – фільтр-розсіювач; 3 – оптичний датчик;
***A*** – затінювачі, імітатори насіння; ***S*** – ширина каналу дозатора

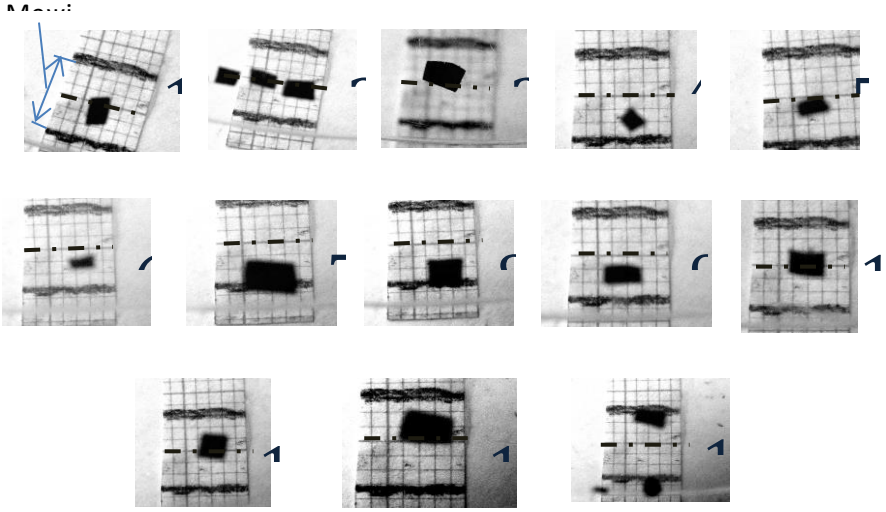
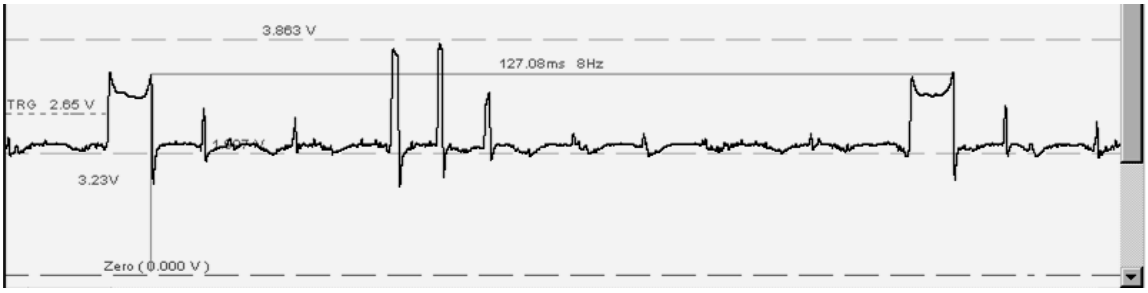


Рисунок 3.6 – Варіанти розташування насінин в каналі дозатора

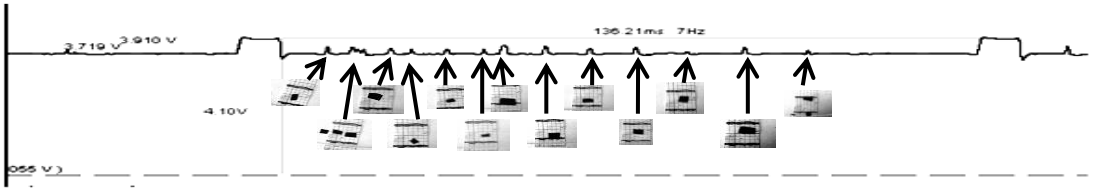
Дослідження проводилися в наступній послідовності. На стенді виконуємо фіксацію оптичного датчика з дослідним розсіювачем. Розсіювачі встановлюємо по черзі з різною ступеню коефіцієнта розсіювання після чого задаєм швидкісний режим проходження насіння в каналові відповідно 0,5 м/с, 1 м/с, 1,5

м/с. За допомогою осцилографа відбувається спостереження за рівнем сигналу з оптичного датчика з послідуючим аналізом.

За результатами проведених досліджень згідно запропонованої методики отримано наступні результати на різних швидкісних режимах. На рисунку 3.7 наведено одну із них за максимальної швидкості руху насіння по каналу дозатора 1,5 м/с. В першому варіанті (рис. 3.7, а) коефіцієнтом розсіювання становив 0% без розсіювача і в другому варіанті з використанням розсіювача з коефіцієнтом розсіювання близько 90 %. Провівши аналіз можна зробити висновок проте, що величина імпульсу, який формує оптичний датчик залежатиме від розташування насінини відносно зони його чутливості. З осцилограми видно, що зона чутливості датчика без використання розсіювача становить 2 мм. Враховуючи розміри пульпопроводу (10 мм) і розміри насінини в перерізі мінімум 2 мм, виникає вірогідність проходження насінини повз датчик не поміченою.




а




б

Рисунок 3.7 – Порівняльні осцилограми досліджень оптичного датчика

а – без використання розсіювача; б – з використанням розсіювача

Вирішити дану проблему можливо використовуючи фільтри розсіювачі. З застосуванням фільтра кожна насінина не залишена поза увагою оптичного датчика. Це обумовлено розширенням зони чутливості оптичного датчика. Рівень кожного із відгуків (рис. 3.7, б) на проходження насінини повз датчик

практично однаковий, що доводить ефективність застосування фільтрів даного типу, а використання підсилювача сигналу реалізує чітку реакцію електронної системи на сигнали оптичного датчика.

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

Висівний апарат гідросівалки повинен забезпечувати точний посів пророслого насіння з одночасним внесення необхідної кількості рідини та засобів захисту і стимуляції росту. Як уже говорилося раніше поширеним недоліком гідравлічних сівалок являється нерівномірність посіву, що пов'язана з ймовірним характером розподілення насіння при його перемішуванні в бакові та послідуючому виливі в борозну сформовану сошником. На рисунку 3.8 представлено загальний вигляд висівного апарату з розробленим дозатором подачі насіння який дозволить вирішити питання з нерівномірністю розподілення насіння в рядку при використанні гідросівалок.

Формуюча ланка дозатора складається з двох оптичних датчиків 4 і 5 розміщених на початку каналу дозатора 3 та вкінці, гідроклапана з додатковою магістраллю 6 підведення рідини. Робота дозатора відбувається наступним чином, після висіву насіння електронний блок керування 10 відкриває електрогідравлічний клапан 9, під тиском рідина з резервуару 7 надходить до бака з насінням 1, витісняючи насіння до каналу дозатора 3.

Імпульсом, що надійде від датчика 5 в момент проходження насінини, закривається гідравлічний клапан 9 і відкривається електрогідравлічний 8. З цього моменту процес витіснення насіння до дозатору з бака припиниться а насінина продовжить рухатися за рахунок потоку рідини, що надходитиме по додатковій магістралі 6. Формування інтервалу завершиться після проходження насініною оптичного датчика 4, імпульс з якого закриє електрогідравлічний клапан 8 додаткової магістралі. Висівний апарат готовий до процесу висіву. Використання

запропонованого дозатора стало можливим завдяки розробленого електронного боку керування гідросівалкою.

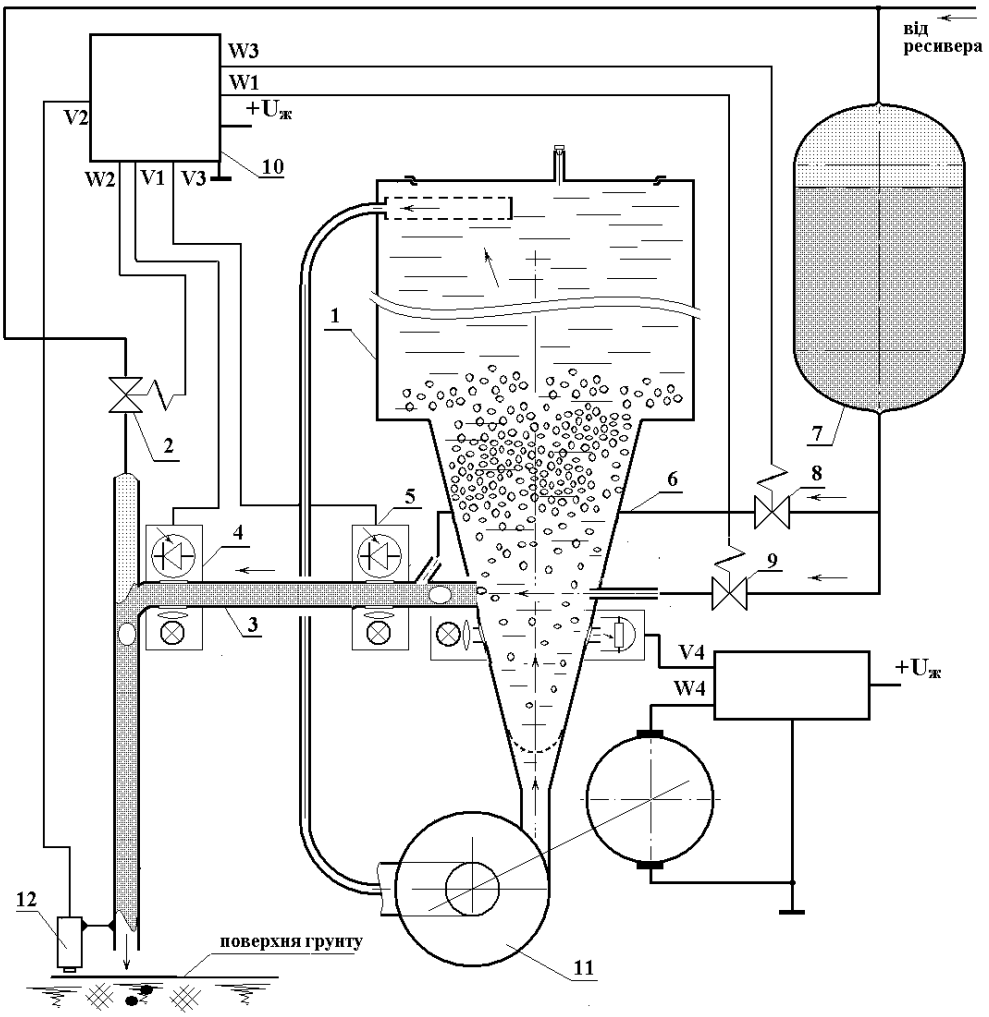



Рисунок 3.8 Удосконалений висівний апарат гідросівалки

1 – бак для насіння; 2 – електропневматичний клапан; 3 – дозатор;

4, 5 – оптичні фотодатчики; 6 – додаткова магістраль; 7 – бак для рідини;

8, 9 – електрогідравлічні клапани; 10 – електронний блок керування;

11 – електронасос; 12 – датчик руху сівалки.

Для дослідження впливу на точність посіву гідравлічної сівалки запропонованого дозатора розроблено лабораторну установку (рис 3.9)

До складу дослідної установки входить барабан 1, який імітує висівні гнізда на полі. На барабанові розміщено 12 насіннєвловлювачів виготовлених з пластикових стаканчиків (рис. 3.10, а). Барабан приводиться в дію за допомогою регульованого електричного приводу МЕ-241. Датчик переміщення 11 (геркон) сівалки реагує на магніти розміщені навпроти кожного гнізда. Імпульсом з датчика 11 електронний блок відкриває електропневматичний клапан та здійснює висівання зарядженого в ствол 4 пророслого насіння одночасно з порцією рідини. Рідина убезпечує ключку насінини від пошкодження при контакті з грунтом. Зміну частоти обертання барабану можна здійснювати від 0,5 до 120 $с^{-1}$ регулюючи напругу живлення двигуна електроприводу. Частота висівів при цьому буде змінюватися в межах від 0,1 до 24 Гц. Фактичну частоту висівів $f_в$ та лінійну швидкість руху гідросівалки $V_в$ насіннєвловлювачів визначаємо за часом вимірювання дослідження $T_д$ (с) та враховуючи кількість висівів насіння $n_в$. Врахувавши крок насіннєвловлювачів $S_н = 0{,}145$ м отримаємо:

$$f_в = \frac{n_в}{T_д}, \text{ Гц} \tag{3.1}$$

та

$$V_в = S_н \frac{n_в}{T_д}, \text{ м/с} \tag{3.2}$$

За допомогою секундоміра реєструвався час досліду. Використовуючи цифровий лічильник реалізований на PIC-контролері вимірювали кількість висівів насіння.

На початку досліджень виконувалися наступні установки: необхідна кількість висівів $n_в$ та частота висівів $f_в$. Після чого відбувався запуск висівного апарата використовуючи кнопку пуск електронного блока керування 9. Після висіву заданого числа пророслого насіння відбувалося автоматичне вимкнення

висівного апарату. Точність висіву насіння гідросівалкою визначали порівнявши встановлену кількість висівів з фактичною, підрахувавши кількість насіння в насіннєвловлювачах 2.

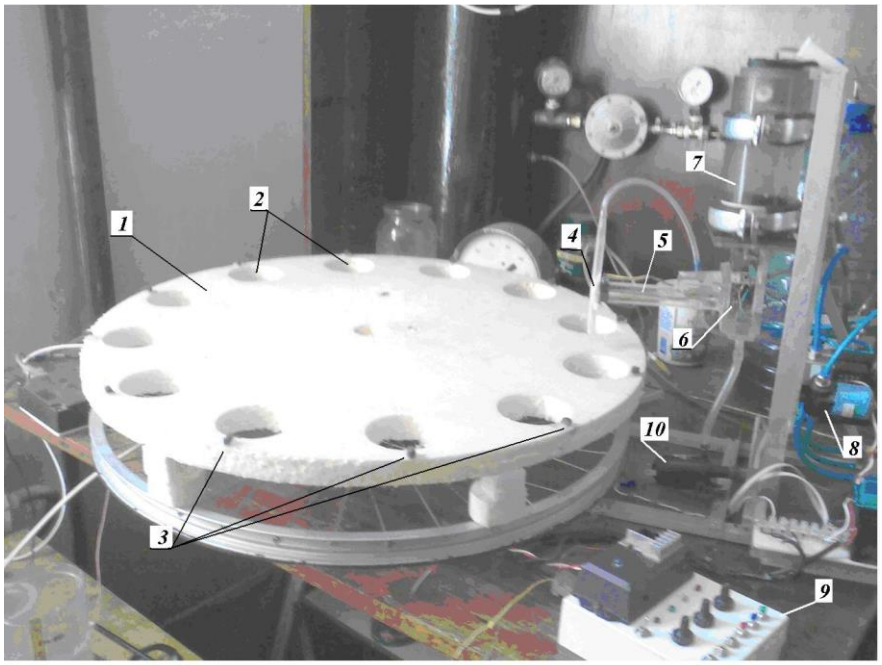



Рисунок 3.9 – Лабораторна установка для дослідження роботи висівного апарату гідросівалки :

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.

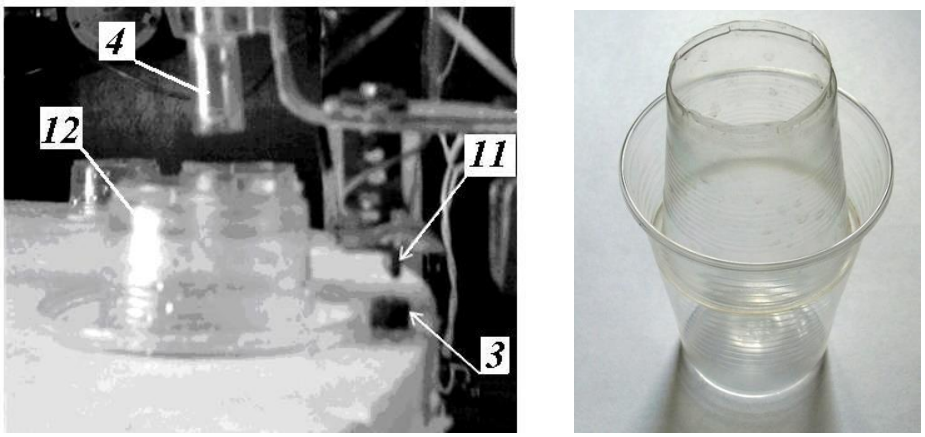



Рисунок 3.10 – Процес висіву насіння в насіннєвловлювач:

11 – датчик переміщення висівного апарату; 12 – насіннєвловлювач

Дослідження виконуємо з триразовим повтором за частоти висівів 3, 9, 15 Гц, за один дослід висіваємо 500 насінин.

Показником ефективності роботи висівного апарата гідравлічної сівалки являється точність висівів $\tau_в$, яку визначаємо за рівнянням:

$$\tau_в = \left( \frac{N_з - N_п}{N_з} \right) \cdot 100\% \qquad (3.3)$$

де $N_з$ – встановлена кількість висівів пророслого насіння;

$N_п$ – кількість пропусків пророслого насіння.

З метою визначення впливу конструктивно-технологічних факторів на точність висіву гідравлічної сівалки використовуючи запропоновану методику проведемомо дослідження з використанням багатофакторного плану 3х27 [36-38]. Враховуючи попередньо проведені теоретичні дослідження в якості основних вхідних факторів, що впливають на якісний вихідний показник точність висіву гідросівалкою обираємо: частоту висівів пророслого насіння, оптичну щільність насіння в насіннєвій камері, тиск в резервуарі для рідини (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Значення прийнятих 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 проведення багатофакторного експерименту наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати досліджень багатофакторного експерименту

| № досліду | Фактори | | | Показник оптимізації | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | Точність висіву, $\tau_в$ % | | | Пропуск $N_n$, % | Двійник $N_д$, % |
| | | | | 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 |

Обробка результатів багатофакторного експеременту виконувалася за допомогою математичного пакету Statistika-10 [39]. За допомогою даного пакету отримано рівняння регресії та визначено значимі коефіцієнти.

Рівняння регресії в закодованому вигляді:

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

де $x_1$, $x_2$, $x_3$ – закодовані фактори.

Розкодоване рівняння регресії:

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

Перевірку повторення досліду виконували за критерієм Кохрена [40]

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

де $S_i^2$ – дисперсія досліду;

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

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

Використавши лінійну інтерполяцію отримаємо значення критерію Кохрена [40] табличне значення критерія Кохрена $G_{таб}\left(0{,}05,\ 27,\ 2\right) = 0{,}227$

Розрахункове значення становить $Gp = 0{,}098 < G\left(0{,}05,\ 27,\ 2\right) = 0{,}227$ отже умова виконується, що підтверджує повторність відтворення досліду.

Адекватність математичної моделі перевіримо за критерієм Фішера [40]

Для цього порівняємо розрахункове значення критерію Фішера $F_p$ з табличним значенням $F_{таб}$. Розрахункове значення отримаємо за рівнянням

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_i^2} \le F_{таб} \tag{3.8}$$

де $S_{ad}^2 -$ дисперсія адекватності математичної моделі;

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (y_{ij} - \overline{y}_{im})^2}{N - k} \tag{3.9}$$

де $y_{ij} -$ значення вихідної величини отримане за регресійним рівнянням;

$k -$ кількість коефіцієнтів математичної моделі.

Отже за результатами розрахунків отримали значення критерію $F_р$=1,21, що не перевищує табличне значення $F_{таб}$=3,31, адекватність математичної моделі підтверджено.

Наступним етапом виконаємо оптимізацію точності висіву висівним апаратом гідросівалки для цього вирішимо компромісну задачу:

$$\begin{cases} N_n \to \min \\ N_\partial \to \min \Rightarrow \dfrac{\tau_в}{N_n \cdot N_\partial} \to \max \\ \tau_в \to \max \end{cases} \tag{3.10}$$

З рівняння видно що чим менше пропусків $N_n$ та двійників $N_\partial$ під час висіву тим вище точність висіву $\tau_в$ гідросівалки.

Використавши математичний пакет Statistika-10 вирішено компромісну задачу та отримано бажані значення конструкційно-технологічних факторів за яких точність висіву буде максимальна. На рисунку 3.11 та 3.12 наведено поверхні та функції бажаності конструкційно-технологічних факторів, які впливають на точність висіву гідросівалки.

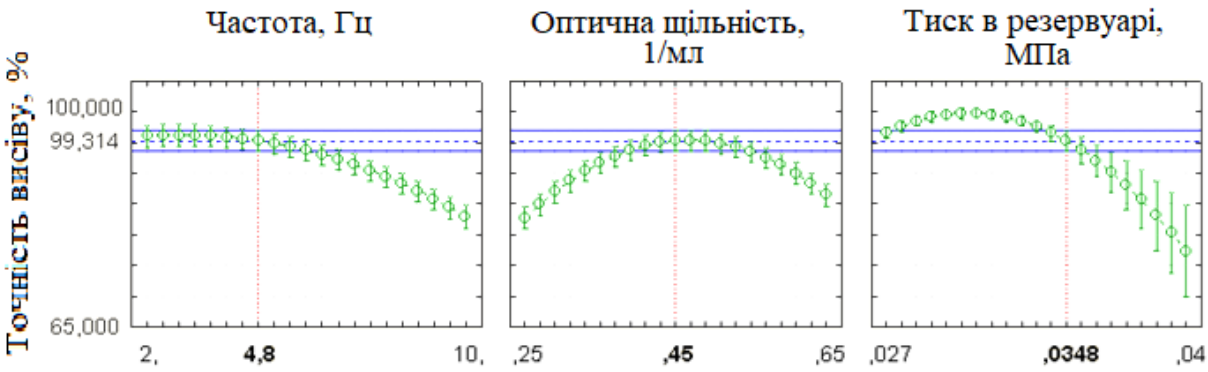



Рисунок 3.11 – Функції бажаності конструкційно-технологічних факторів

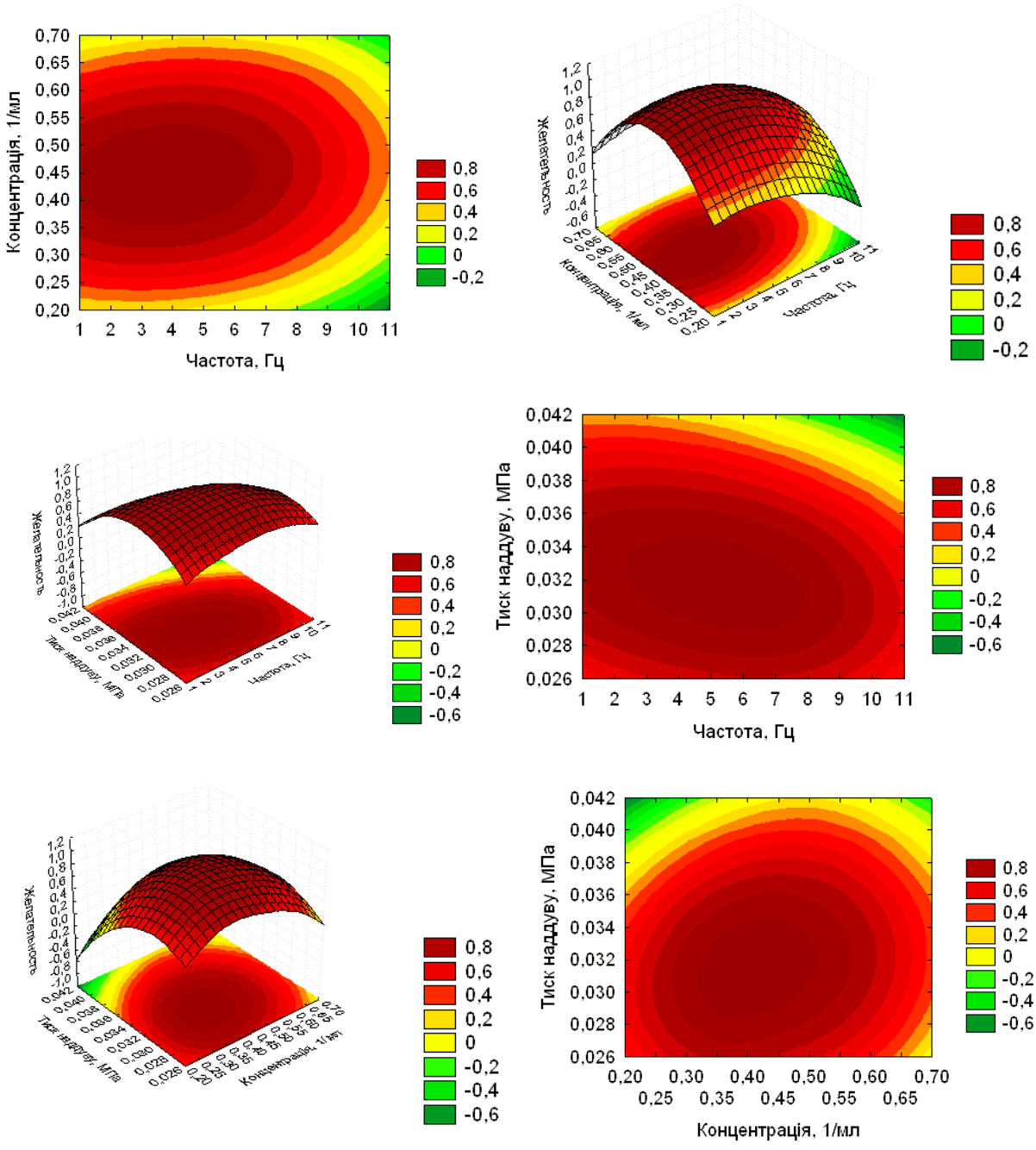



Рисунок 3.12 – Контури бажаності та поверхні відгуків факторів

За результатами проведеної оптимізації встановлено наступні бажані значення конструкційно-технологічних параметрів: частота висівів $f_в = 4{,}8\ Гц$, тиск в резервуарі з рідиною $P_{над} = 0{,}348\ МПа$, оптична щільність насіння $k_н = 0{,}45\ 1/мл$. За таких бажаних значень факторів точність висіву становитиме 99,3 %.

### 3.4 Польові дослідження роботи гідросівалки з розробленою електронною системою керування

Польові дослідження експериментальної гідросівалки з розробленим дозатором пророслого насіння проведено на посіві томату «Солероссо» в ТОВ «Зоря» Синельниківського району Дніпропетровської області. Посів здійснювався одночасно експериментальною гідросівалкою та посівною секцією сівалки Клен.

Рисунок 3.13 – Посів томату «Солероссо» експериментальною гідросівалкою та посівною секцією сівалки Клен

Задача польових досліджень перевірити працездатність удосконаленої гідросівалки та якісні показники її роботи: точність висіву, коефіцієнт варіації розподілення насіння в рядку.

Дослідження проводимо порівнянням якості посіву експериментальною гідравлічною сівалкою точного висіву ГСТВ та штатною на полі площею 6 га.

Точність висіву визначали відразу після посіву, коефіцієнт варіації розподілення рослин по рядкам на 35 день після виконання посіву .

а

б

Рисунок 3.14 – Розподілення сходів томатів «Солероссо»

а – при посіві експериментальною гідросівалкою ГСТВ

б – при посіві штатною посівною секцією Клен

За результатами досліджень отримано графічні залежності розподілення томатів «Солероссо» в рядку (рис. 3.15).

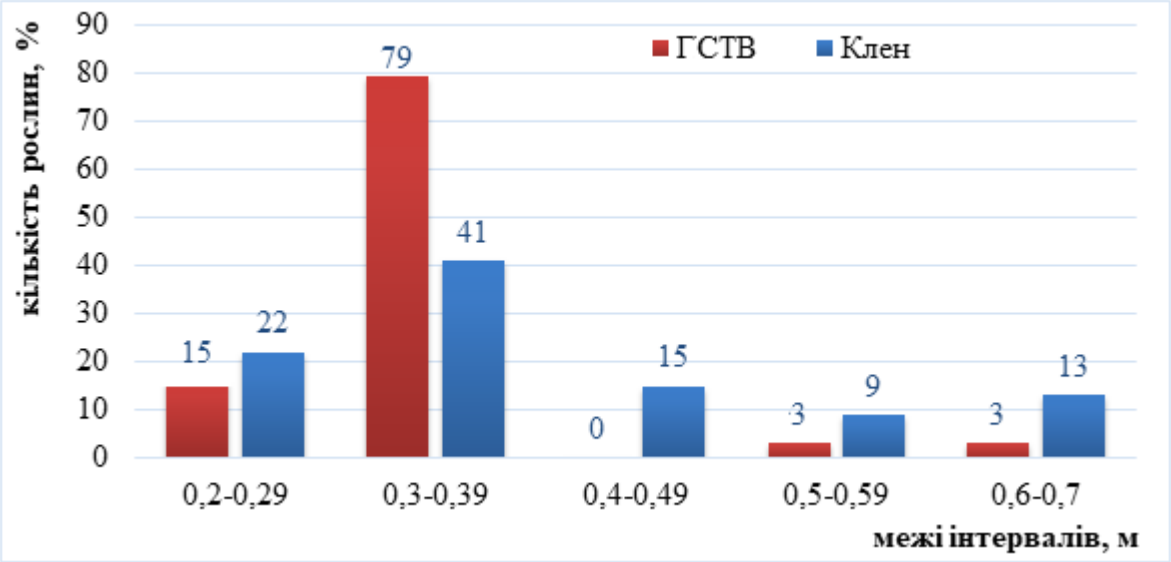



Рисунок 3.15 – Розподіл сходів томату «Солероссо» в рядку

При використанні на посіві гідравлічної сівалки ГСТВ 79 % сходів розміщені з заданим інтервалом посіву 0,3±0,02 м. Відхилення інтервалів від заданого значення свідчить про пропуски підчас посіву Використання гідравлічного посіву підвищило схожість насіння на 12 % в порівнянні з посівом базовою сівалкою і становить 98%. Коефіцієнт варіації розподілення томатів в рядку на посіві експериментальною сівалкою ГСТВ встановлено 14,5%, базовою сівалкою Клен 31,2%.

### 3.5 Висновки

1. Вирішити проблему пропусків насіння оптичним датчиком можливо використовуючи фільтри розсіювачі. Дослідженнями встановлено, що використання розсіювача з органічного скла з призматичною поверхнею дозволяє розширити зону чутливості оптичного датчика з 2 мм до 10 мм. При цьому вирішити проблеми з рівнем сигналу оптичного датчика можливо за рахунок використання підсилювача сигналу.

2. Запропонована конструкція дозатора насіння дозволяє вирішити питання рівномірності подачі насіння до насіннєвого ложе.

3. Проведений багатофакторний експеримент дозволив встановити бажані значення конструкційно-технологічних факторів, що впливають на якісну роботу гідросівалки: частота висівів $f_в = 4,8\ Гц$, тиск в резервуарі з рідиною $P_{над} = 0,348\ МПа$, оптична щільність насіння $k_н = 0,45\ 1/мл$. За таких бажаних значень факторів точність висіву становить 99,3 %.

4. За результатами польових досліджень доведено працездатність експериментальної гідросівалки. Гідравлічний посів пророслого насіння підвищив польову схожість насіння на 12 % в порівнянні з класичним посівом базовою сівалкою і становить 98%. Коефіцієнт варіації розподілення томатів в рядку на посіві експериментальною гідросівалкою становить 14,5%, базової сівалки Клен 31,2%.

# 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

## 4.1 Організація охорони праці

Посилаючись на закон України «Про охорону праці» [43] відповідальність за охорону праці в господарстві «Зоря» несе директор, по підрозділам відповідальність покладається на їх керівників а саме на головного агронома (рослинництво) та головного інженера (механізація).

Відповідальні повинні контролювати виконання та організовувати всі заходи по забезпеченню охорони праці по підрозділам. Всі заходи реєструються в відповідних журналах з охорони раці. Підрозділи повинні бути обладнанні куточками охорони праці (рис. 4.1) та засобами гасіння пожежі. При роботі в умовах агресивного середовища і запилення працівники повинні бути забезпчені засобами захисту (рукавички, респіратори, захисні костюми, взуттям ін.).

Рисунок 4.1 – Куточок з охорони праці

Виробничі підрозділи повинні бути забезпечені аптечками та вогнегасниками. На самому видному місці повинен розміщуватися куточок з

пожежної безпеки де наведена інформація  про план дій в випадку виникнення пожежі та план евакуації з приміщень (рис 4.2).

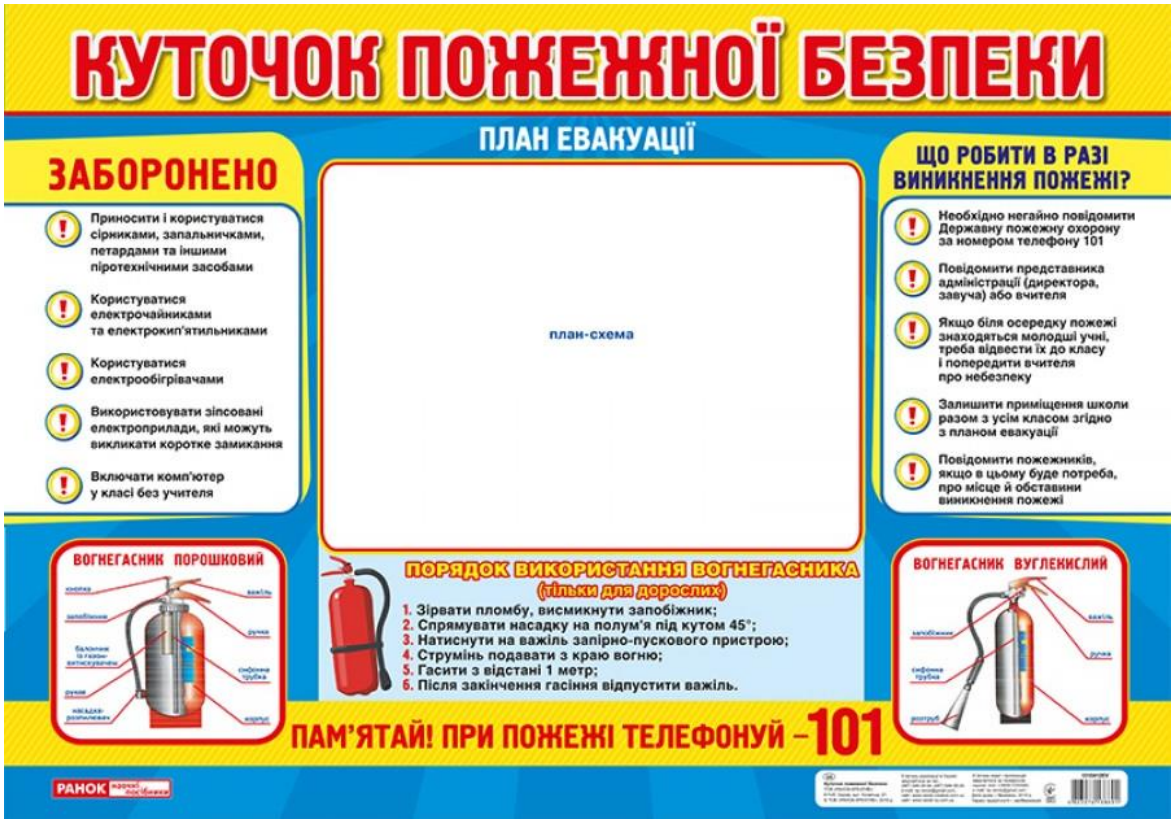



Рисунок 4.2 – Куточок пожежної безпеки

В центральній садибі господарства знаходиться медичний пункт де може бути надана первинна допомога та проводяться медичні огляди працівників. В цілому  стан охорони праці в господарстві знаходиться на належному рівні. Своєчасне фінансування та проведення профілактичних та організаційних заходів являється запорукою зниження травматизму в виробничих підрозділах.

Виробничі об’єкти та територія господарства добре освітлені. В ремонтних боксах і майстернях встановлена ефективна вентиляція.  Об’єкти підвищеної безпеки (нафто-господарство, машино-тракторний парк, центральна садиба, тік та ін.)  обладнано громовідводами та куточками пожежної безпеки з необхідним обладнанням для гасіння пожежі. Всі підрозділи мають  приміщення для дотримання санітарних норм та гігієни.

## 4.2 Стан охорони праці

Кожен працівник господарства проходить інструктаж з охорони праці при оформленні на роботу вступний інструктаж потім первинний на робочому місці, повторний, позаплановий та цільовий. Проведення інструктажа реєструється з відповідним записом в журналі інструктажів де ставлять свої підписи особа, яка провела інструктаж та особа, яку проінструктували.

Заходи з протипожежної безпеки. Як вже раніше говорилося всі виробничі місця обладнано куточками протипожежної безпеки та необхідними засобами для гасіння пожежі, розроблено інструкції які розміщені на видних місцях виробничих об'єктів з правилами ліквідації пожежі та заходами з пожежної безпеки.

Категорично забороняється допуск осіб до виконання службових обов'язків, які не пройшли інструктаж протипожежної безпеки. Даний інструктаж проводиться одночасно з інструктажем з охорони праці.

Висновки по аналіз стану охорони праці в господарстві:

- інструктажі з охорони праці виконуються вчасно з проведенням тестування для закріплення знань працівників. В журналах робиться відмітка про проведений захід.

- працівники повністю забезпечені необхідними засобами захисту (одяг, захисні окуляри, респіратори та ін.) енергетичні машини знаходяться в належному експлуатаційному стані.

- не всі електро щити керування обладнанням мають запірні елементи.

- відсутня інформація по діям працівників в випадку техногенної катастрофи на випадок витоку аміаку з магістралі, що проходить за 20 км від господарства.

- щастково на будівлях і ангарах відсутнє заземлення та громовідводи.

Підтримка охорони праці фінансами позитивно впливає зниження травматизму та ремонти виробничого обладнання. Господарство виділяє на охорону праці 3% від річного прибутку.

### 4.3 Аналіз виробничого травматизму

Причиною виробничих травматизмів і професійного захворювання являються причини організаційного, технічного, санітарно-гігієнічного, психофізіологічного характеру.

Часто виконання всіх заходів з попередження загрозливих ситуацій не дозволяють виключити виробничий травматизм. Не сконцентрованість та неуважність, хворобливий станом, поспіх в виконанні роботи та нехтування правилами при роботі з обладнанням та експлуатації енергетичних засобів провокує виробничий травматизм.

Згідно з формою Н-1 про нещасні випадки на виробничих ділянках ведеться облік виробничого травматизму. Розрахунки показників травматизму виконуємо згідно інформації наведеної в актах та звітів розслідування нещасних випадків. [41].

Частота травматизму:

$$K_{\text{ч}} = \frac{T \cdot 1000}{n_p}, \tag{4.1}$$

де: $n_p$ – середнє число робітників, чол.;

$T$ - кількість потерпілих що втратили працездатність, чол.

Коефіцієнт непрацездатності:

$$K_{\text{н}} = \frac{Д_{\text{н}} \cdot 1000}{n_{\text{р}}}, \tag{4.2}$$

де: $Д_н$ – кількість непрацездатних днів.

Тяжкість травматизму:

$$K_т = \frac{Д_н}{n_2}, \quad (4.3)$$

де: $n_2$ – кількість потерпілих що втратили працездатність, чол.

В таблиці 4.1 наведено результати витрати коштів на охорону праці

Таблиця 4.1 – Фінансове навантаження в ТОВ «Зоря»

| 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 |

Фінансова підтримака та проведення планових заходів по охороні праці дозволить зменшити рівень травматизму на виробничих ділянках господарства. Але не потрібно забувати і за людський фактор, в зв'язку з цим не забуваємо вести роз'яснювальну роботу працівникам задіяним на виробничих ділянках.

## 4.4 Вимоги з охорони праці під час експлуатації машино-тракторного агрегату на посіві

До виконання операції посіву допускаються особи яким виповнилося 18 років, мають відповідну категорію керування машино-тракторним агрегатом та не маю протипоказань за станом здоров'я.

Особи, які допущені до виконання операції посіву повинні мати відповідний кваліфікаційний рівень та пройшли відповідну підготовку.

Виконання операції посіву відбувається в умовах високої запиленості, в відповідності з цим механізатор повинен бути забезпеченим засобами захисту (окуляри, рукавички, пилонепроникний комбінезон, закрите взуття).

Всі операції по налагодженню посівної техніки виконуються за вимкненого двигуна внутрішнього згорання. Виконуються перевірка всіх з'єднань машино-тракторного агрегату, елементів сівалки. Виконуємо пробний заїзд з перевіркою норми висіву шляхом підрахунку кількості насіння висіяного на погонний метр. Роботи у нічний час проводяться за умови якісного освітлення робочої зони. В процесі посіву механізатор повинен контролювати робочу зону в випадку появи сторонніх предметів на полі вчасно зупинити трактор та прибрати їх. В випадку появи сторонніх шумів негайно зупинити трактор за необхідності вимкнути двигун та оглянути машино-тракторний агрегат для виявлення джерела походження шумів.

По завершенню роботи в транспортному положенні провести очистку робочих поверхонь сівалки.

За виникнення аварійних ситуацій необхідно негайно припинити роботу агегату. В результаті погіршення здоров'я чи виникнення нещасного випадку, необхідно зразу повідомити керівника, надати постраждалому першу медичну допомогу. Місце нещасного випадку зберегти без змін до повного розслідування, якщо це не загрожує життю і здоров'ю оточуючих.

### 4.5 Заходи по поліпшенню охорони праці та безпеки в НС

Для прогнозування впливу зараження території господарства в випадку надзвичайної ситуації проведемо розрахунки при розгерметизації магістралі подачі аміаку та його витоку в об'ємі 80 м$^3$. З швидкістю вітру 1,3 м/с, температура повітря 22 ºС. В таблиці 4.2 наведено основні властивості аміаку.

Таблиця 4.2 – Властивості аміаку

| Систематична назва | Azane |
|---|---|
| Властивості | |
| Густина<br>Розчинність | 0,6942<br>89,9 г/100 мл при 20 °C |
| Тпл | −77,73 °C (195,42 K) |
| Ткип | −33,34 °C (239,81 K) |
| Ризики | |
| Темп. самозаймання | 651 °C |

*Прогнозування хімічної обстановки в випадку надзвичайної події* – спрогнозуємо ймовірну хімічну обстановку, яка може виникнути в випадку надзвичайної події витоку аміаку з транспортної магістралі з поширенням на територію господарства (рис. 4.3).

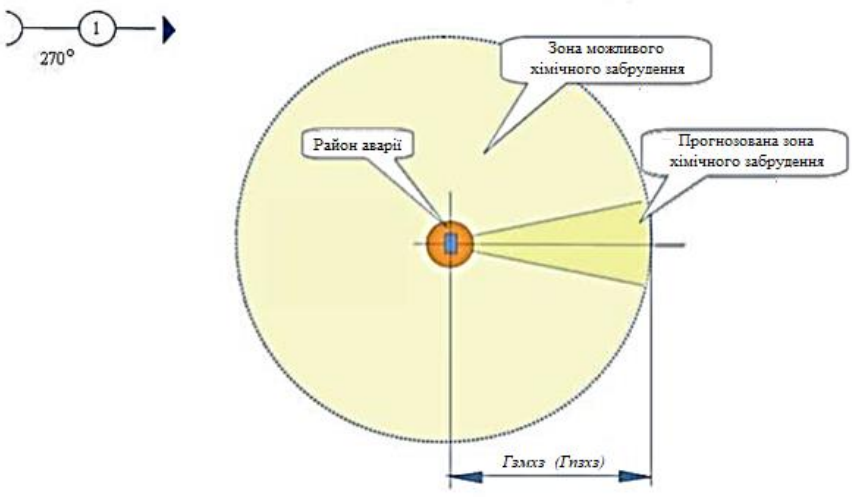



Рисунок 4.3 – Зона можливого та прогнозованого забруднення НХР

Визначимо розміри *(глибину, ширину* та площу зони хімічного зараження [41]. Глибину поширення хмари забрудненого повітря визначимо за рівнянням:

$$Г_р = \frac{Г_Т \cdot К_В}{К_{СХ}} = \frac{100 \cdot 1}{1} = 100 \text{ км}, \quad (4.4)$$

де $Г_Т$ – табличне значення глибини зони зараження приймаємо 100 км, згідно [41].

$К_В$ – поправочний коефіцієнт на вітер дорівнює 1 [41];

$К_{СХ}$ – коефіцієнт, що враховує тип захисту магістралі, $К_{СХ}$=1.

Прогнозовану зону хімічного зараження (ЗХЗ) для випадку інверсії визначимо за рівнянням:

$$Ш_{зхз} = 0,2 \cdot Г_р = 0,2 \cdot 100 = 20 \text{ км}. \quad (4.5)$$

Значення площі ЗХЗ визначаємо за рівнянням (рис):

$$S_{ЗХЗ} = 0,5 \cdot Ш_{зхз} \cdot Г_р = 0,5 \cdot 20 \cdot 100 = 1000 \text{ км}^2 \quad (4.6)$$

Визначимо час коли хмара підійде до території господарства ($t_{підх}$):

$$t_{підх} = \frac{R_0 \cdot 1000}{W_x \cdot 60} = \frac{20 \cdot 1000}{1,5 \cdot 60} = 222,2 \text{хв} \quad (4.7)$$

де $Wx$ – швидкість руху забрудненої хмари, $Wx = 1,5$ *м / с*;

$R_0$ – відстань від місця аварії до території господарства, $R_0 = 20$ *км*.

Визначимо тривалість зараження господарства

$$t_{ур} = t_{ур.табл} \cdot К_{шв} = 1,8 \cdot 0,56 = 1,008 \text{ год} \quad (4.8)$$

Використавши таблицю 2.3 [41] отримаємо $t_{ур.табл}$ = 1,8 год. Врахувавши, що швидкість становить 1 м/с, згідно таблиці 2.4 [41] $К_{шв}$ = 0,56.

*Визначимо можливі втрати людей,* що працюють в господарстві. Використавши табличні дані [41] встановили, що можлива кількість уражених може становити: 12% працівників в закритих приміщеннях; 28% працівників, що працюють на відкритій території. Знизити відсоток враження можливо за рахунок засобів захисту протигазів ППФМ-92 (рис. 4.4).

Рисунок 4.4 – Протигаз ППФМ-92

*Загальні висновки*: Згідно розрахунків встановлено, що $\Gamma_p > R_0$, тобто господарство потрапляє під вплив ЗХЗ. Отруйна хмари підійде через 3,5 години цього достатньо, щоб оперативно виконати евакуації персоналу.

## 4.6 Висновки

За результатами проведеного аналізу охорона праці в господарстві встановлено, що охорону праці в господарстві організовано належним чином. Розроблені заходи з охорони праці при експлуатації овочевої гідросівалки точного висіву знизять травматизм підчас посіву сільськогосподарських культур. Проведені розрахунки в випадку виникнення надзвичайної ситуації дозволили визначити вплив отруйної хмари та встановити час її приходу.

# 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ

З метою оціни економічного ефекту від проведеного удосконалення гідравлічної сівалки точного висіву виконаємо порівняльні розрахунки техніко-економічних показників базового варіанту та проектного. Експериментальні випробування проводилися на посіві томату Солероссо в господарстві «Зоря». Посів здійснювали експериментальною гідросівалки ГСТВ та серійною сівалкою Клен.

Для проведення розрахунків економічних показників в таблиці 5.1 наведено вихідні дані.

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 | 90Х30 | 90Х30 |
| 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 визначимо за рівнянням [44]:

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

де $V_p$ – швидкість руху сівалки, км/год;

$\tau$ – коефіцієнт використання часу зміни становить 0,83;

$B_p$ – 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:

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

Річне завантаження на посіві овочевої сівалки:

$$t_p = \frac{W_p}{W_\tau}, \text{ год}, \tag{5.2}$$

де $W_p$ – завантаження овочевої сівалки протягом року, га.

Базовий варіант:

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

Проектний варіант:

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

Для встановлення економічної ефективності за рахунок зниження експлуатаційних витрат використаємо загально прийняту методикою [43].

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

де: $B_{екс}$ - витрати на експлуатацію овочевої сівалки, грн/га

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

$A$ - амортизаційні відрахування на овочеву сівалку, грн/га;

$B_{рес}$ - вартість енергоресурсів при експлуатації сівалки, грн/га;

$T$ - відрахування на поточні ремонти овочевої сівалки, грн/га.

$IB$ – інші витрати на овочеву сівалку грн/га;

Витрати, що надходять на оплату праці:

$$B_{оп} = З + H_з, \text{ грн/га} \tag{5.4}$$

де: З – фонд заробітної оплати праці задіяних робітників, грн/га.;

$H_з$ – відрахування в фонд оплати праці задіяних робітників, грн/га.

Відрахування в фонд оплати праці задіяних робітників становить 22%:

$$H_з = 0,22 \cdot З. \tag{5.5}$$

Розрахунки фонду оплати праці задіяних робітників проведемо за формулою:

$$З = \frac{н_{тр} \cdot C_{тр}}{W_\tau} \text{ , грн/га} \tag{5.6}$$

де $н_{тр}$ - кількість робітників, що обслуговують овочеву сівалку, чол.;

$C_{тр}$ - годинна ставка робітника задіяного на посіві, грн/год.

Базовий варіант:

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

Проектний варіант:

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

Розрахунки нарахувань на фонд оплати праці приведено нижче:

Базовий варіант:

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

Проектний варіант:

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

Тоді:

Базовий варіант:

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

Проектний варіант:

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

Амортизаційні відрахування на овочеву сівалку :

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

де: $t_{pc}$ – тривалість роботи овочевої сівалки за рік, год ;

$Б_c$ – балансова вартість овочевої сівалки, грн.;

$W_\tau$ – продуктивність овочевої сівалки, га/год.

$a_c$ – річні амортизаційні відрахування на овочеву сівалку, 12 %.

Базовий варіант:

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

Проектний варіант:

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

Розрахунок витрат на поточний ремонт і обслуговування овочевої сівалки:

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

де: $b_c$ – відрахування на технічне обслуговування і поточний ремонт, овочевої сівалки 10 %.

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 при експлуатації агрегату визначимо за формулою:

$$B_{рес} = B_{пмм}, \text{ грн/га} \quad (5.9)$$

де $B_{пмм}$ - вартість пального, грн/кг;

Вартість пального $B_{пмм}$ визначимо за рівнянням:

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

де $З_{пмм}$ - витрати пального на посіві томатів, кг/га;

$Ц_{пмм}$ – вартість пального, становить 48 грн/кг.

Базовий варіант:

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

Проектний варіант:

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

Тоді:

Базовий варіант:

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

Проектний варіант:

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

Проведемо розрахунок інших витрат, що становитимуть 5% від суми витрат на фонд оплати праці, відрахувань на амортизацію і ремонти, відрахувань на енергоресурси:

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

Базовий варіант:

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

Проектний варіант:

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

Підставимо отримані значення витрат в рівняння (5.3) та отримаємо сумарне значення експлуатаційних витрат:

Базовий варіант:

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

Проектний варіант:

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

Проведемо розрахунки для визначення річного економічного ефекту від зменшення витрат на експлуатацію овочевої сівалки:

$$E_{ЕР} = B^{Б}{}_{екс} - B^{E}{}_{екс}, \text{ грн}, \qquad (5.12)$$

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

За рахунок розробленого дозатора пророслого насіння та електронної системи керування гідросівалкою приріст врожаю склав 3 т/га.

Розрахунок економічного ефекту з урахуванням зростання урожайності на посіві томатів проведемо за рівнянням:

$$E_{Р} = (E_{ЕР} + E_{Вр}) = 49,63 + 14000 = 14049,63, \text{ грн/га}, \qquad (5.13)$$

де $E_{Вр}$ – прибуток від приросту урожаю томатів «Солероссо» склав 14000 грн/га;

Проведемо розрахунок загального річного економічного ефекту для всієї площі посіву:

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

де $S_o$ – загальна площа посіву томатів, га.

Термін окупності удосконаленої гідросівалки:

$$T_o = \frac{Б_c}{E_{ЗР}} = \frac{56000}{112397,04} = 0,5 \text{ року} \qquad (5.14)$$

Зведемо всі значення проведених розрахунків економічних показників в таблицю 5.2

Таблиця 5.2 – Економічні показники проекту

| 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 |

Продовження табл. 5.2

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| Експлуатаційні витрати , грн/га | 650,32 | 600,7 | -49,62 |
| У тому числі:<br>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:**

За результатами проведеного розрахунку встановлено економічну ефективність запропонованого удосконалення гідравлічної сівалки точного висіву. Так розроблена електронна схема керування дозволила реалізувати установку дозатора пророслого насіння, що зменшило кількість пропусків та підвищило валовий збір томатів на дві тони більше ніж за базового варіанту посіву. Зниження ваги сівалки дозволило зменшити витрати палива при посіві гідросівалкою. Річний економічний ефект від застосування гідросівалки склав 14049,63 грн з гектара, а термін окупності 0,5 року.

# ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Використання при посіві пророслого насіння дозволяє прискорити появу сходів від 2 до 9 днів, що являється актуальним для посушливих регіонів України;

- за результатами проведеного аналізу систем керування та засобів контролю робочого процесу посівної техніки встановлено, що основними показниками, які необхідно контролювати в процесі посіву, являється наявність насіння в бакові, оптична щільність, відсоток пропусків та двійників, норма висіву насіння, надходження насіння до сошника, розгерметизація гідро та пневмо мереж:

- за результатами аналізу датчиків систем керування роботи посівних агрегатів найбільш актуальними є оптичні датчики, які дозволяють контролювати такі параметри, як наявність насіння, швидкість насіння, швидкість переміщення сівалки та ін.

2. За результатами теоретичних досліджень:

- встановлено досить високу ступінь неоднорідності насіння в рідині, що пов’язано з ймовірним характером його розподілення в бакові;

- встановлено, що запропонована конструкція дозатора дозволить вирішити питання неоднорідності подачі насіння до висівної частини гідросівалки. Розроблена електронна система дозволить реалізувати алгоритм роботи дозатора з складовими запірного обладнання (клапанами) гідросівалки;

- встановлено ймовірність відбору насіння з бака до дозатора та ймовірність пропусків насіння оптичним датчиком.

3. За результатами експериментальних досліджень:

- вирішено проблему пропусків насіння оптичним датчиком за рахунок використання фільтрів розсіювачів, які дозволяють розширити зону чутливості оптичного датчика з 2 мм до 10 мм. При цьому вирішити проблему з пониженням

рівня сигналу оптичного датчика можливо за рахунок використання підсилювача сигналу;

- встановлено бажані значення конструкційно-технологічних факторів, що впливають на якісну роботу гідросівалки: частота висівів $f_в = 4{,}8\ Гц$, тиск в резервуарі з рідиною $P_{над} = 0{,}348\ МПа$, оптична щільність насіння $k_н = 0{,}45\ 1/мл$. За таких бажаних значень факторів точність висіву становить 99,3 %;

- доведено працездатність експериментальної гідросівалки. Гідравлічний посів пророслого насіння підвищив польову схожість насіння на 12 % в порівнянні з класичним посівом базовою сівалкою і становить 98%. Коефіцієнт варіації розподілення томатів в рядку на посіві експериментальною гідросівалкою становить 14,5%, базової сівалки Клен 31,2%.

4. За результатами проведеного аналізу охорона праці в господарстві встановлено, що охорону праці в господарстві організовано належним чином. Розроблені заходи з охорони праці при експлуатації овочевої гідросівалки точного висіву знизять травматизм підчас посіву сільськогосподарських культур.

5. За результатами проведеного розрахунку встановлено економічну ефективність запропонованого удосконалення гідравлічної сівалки точного висіву. Річний економічний ефект від застосування електронної системи керування та дозатора пророслого насіння гідросівалки склав 14049,63 грн з гектара, а термін окупності 0,5 року. Отримані результати розрахунків дозволяють рекомендувати сівалку до впровадження в 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. Обгрунтування 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. Крекот. 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. Солона 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., ei 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/seyalka-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 вимірювальної 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 A01C7/00. Бюл. № 3. 2000.

32. Гідравлічний висівний апарат. Патент України № 82281 A01C7/00. 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 допомого 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.

45. Сичова М.О. Методичні рекомендації по економічному обґрунтуванню дипломних проектів. Дніпр, держ. агр. ун-т.; уклад. М.О. Сичова, Н.О Шевченко. - Дніпропетровськ: ДДАУ, 2008. -24 с.