

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ 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:

Розробка мехатронної системи контролю точності роботи висівних апаратів сівалки для просапних культур

Виконав: студент 2 курсу, групи МГМ-1-21
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____Шевченко Віталій Олександрович

Керівник: _____Пугач Андрій Миколайович

Рецензент: _____

Дніпро 2022

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ _____

(назва кафедри)

доцент _____

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2022 р.

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

Шевченку Віталію Олександровичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка мехатронної системи контролю точності роботи висівних апаратів сівалки для просапних культур

керівник роботи Пугач Андрій Миколайович, д.н. держ. упр., к.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«18» жовтня 2022 року № 3008

2. Строк подання студентом роботи 25.11.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи Огляд стану питання в галузі машинобудування та існуючих машин. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання та завдання дослідження 2. Теоретичні дослідження 3. Програма і методика проведення експериментальних досліджень 4. Результати експериментальних досліджень 5. Охорона праці та захист в надзвичайних ситуаціях. 6. Економічна ефективність Висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. 2. Аналіз літературних і патентних джерел. 3. Теоретичні дослідження. 4. Програма і методика досліджень 5. Результати досліджень. 6. Економічні показники. 7. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пугач А.М., професор		
2	Пугач А.М., професор		
3	Пугач А.М., професор		
4	Пугач А.М., професор		
5	Деркач О.Д., доцент		
6	Вінніченко І.І., професор		
нормоконтроль	Теслюк Г.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 20.09.2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 18.04.2022 р.	Виконав
2	Теоретичний	до 20.06.2022 р.	Виконав
3	Експериментальний	до 12.09.2022 р.	Виконав
4	Охорона праці	до 17.10.2022 р.	Виконав
5	Економічний	до 07.11.2022 р.	Виконав
6	Демонстраційна частина	до 14.11.2022 р.	Виконав

Студент

_____ .
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ .
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Шевченко В.О. Розробка мехатронної системи контролю точності роботи висівних апаратів сівалки для просапних культур / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» - ДДАЕУ, Дніпро, 2022.

У першому розділі представлено аналіз сучасних технологічних процесів контролю процесу висіву.

У другому розділі проведено теоретичні дослідження технологічного процесу подачі насіння на насінневе ложе.

У третьому розділі представлено програму та методику експериментальних досліджень.

У четвертому розділі приведено результати експериментальних досліджень елементів системи контролю висіву насіння.

У п'ятому розділі приведено аналіз стану охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

У шостому розділі приведено оцінку економічної ефективності від впровадження

Ключові слова: посівні машини, контроль висіву, процес подачі, траєкторія польоту насіння, датчик висіву.

Шевченко В.О. Значення контролю процесу висіву для вирощування просапних культур / В.О. Шевченко // Modern of VIII International Scientific and Practical Conference - Lviv, Ukraine, 29-31 October 2022. С. 45-47.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
1.1 Значення контролю процесу висіву для вирощування просапних культур.....	10
1.2 Висівні апарати посівних машин.....	13
1.3 Вибір і обґрунтування показників роботи посівних машин, що підлягають контролю.....	17
1.4. Огляд систем контролю висіву насіння.....	21
1.5. Огляд елементів системи контролю висіву насіння.....	26
Висновки.....	35
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	37
2.1 Агротехнічні вимоги до посіву насіння просапних культур.....	37
2.2 Технологічний процес подачі насіння на насінневе ложе.....	39
2.3 Визначення траєкторії польоту насіння для механічного висівного апарату.....	41
2.4 Визначення траєкторії польоту насіння для пневматичного висівного апарату.....	45
2.5 Порівняння траєкторії польоту насіння для різних апаратів і різних культур.....	46
2.6 Дослідження електричних параметрів датчиків висіву.....	47
2.7 Розрахунок роздільної здатності датчиків висіву.....	48
2.8 Взаємозв'язок параметрів і режимів роботи висівних систем з показниками якості роботи.....	48
Висновки.....	50
3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	51
3.1 Методика експериментальних досліджень параметрів висіву.....	51
3.2 Методика техніко-економічної оцінки.....	52
Висновки.....	52

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	53
4.1 Результати лабораторних досліджень елементів системи контролю висіву насіння.....	53
4.2 Результати досліджень системи контролю висіву насіння у виробничих умовах.....	59
4.3 Можливі відмови в роботі сівалок, оснащених системою контролю, причини їх виникнення і способи усунення.....	63
Висновки.....	67
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	69
5.1 Організація охорони праці.....	69
5.2 Стан охорони праці.....	69
5.3 Аналіз виробничого травматизму та причин нещасних випадків.....	70
5.4 Заходи безпеки при використанні модернізованої конструкції.....	70
5.5. Заходи по покращенню умов праці.....	71
Висновки.....	73
6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.....	74
Висновки.....	79
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	83
ДОДАТКИ.....	88

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. У комплексі технологічних операцій при вирощуванні сільськогосподарських культур важливу роль займає процес посіву, від якості виконання якого суттєво залежить майбутня врожайність.

Головне завдання закладки насіння– отримати максимальний урожай при мінімальних витратах на вирощування культури. Цю проблему намагаються вирішити за допомогою сівалок точного висіву, які мають забезпечити рівномірний розподіл заданої кількості насіння по поверхні поля. Отже, для забезпечення конкурентоспроможності виробленої продукції необхідно використовувати техніко-технологічне забезпечення, яке характеризується мінімально можливою витратою насінневого матеріалу, при цьому забезпечуючи проведення посіву згідно з усіма агротехнічними стандартами стає дедалі актуальнішим.

Питання використання систем контролю висіву безпосередньо під час виробничих процесів піднімалися в роботах багатьох дослідників, проте, застосування даних отриманих для параметрів зернових культур не можуть використовуватися для просапних культур.

Мета дослідження. підвищення ефективності посіву насіння просапних культур за рахунок розробки пристрою і методів контролю роботи висівних апаратів.

Завдання дослідження:

- провести аналіз елементів системи контролю для забезпечення надійної і якісної роботи просапних сівалок;
- провести теоретичні розрахунки геометричних і електричних параметрів датчиків;
- обґрунтувати місце розташування елементів системи контролю, які реєструють і відображають параметри висіву.

Об'єктом дослідження є процес переміщення насіння просапних культур від висівних апаратів і їх взаємодії з датчиком місткості висіву.

Предметом є закономірність реєстру насіння просапних культур

датчиком місткості після їх відриву від диска висівного апарату.

Методи дослідження. Використано методи фізико-математичного моделювання, теорію подібності, метод системного дослідження, теорію планування експерименту, математичного аналізу.

Наукова новизна отриманих результатів.

- розроблена математична модель руху насіння в порожнині сошника після відриву насіння, виведені рівняння траєкторії польоту насіння з урахуванням факторів, що впливають;

- визначено електричні параметри насіння різних культур, що впливають на роботу ємнісних датчиків висіву;

- обґрунтовані параметри ємнісних датчиків висіву системи контролю та їх розташування в сошниках.

Практичне значення отриманих результатів.

За результатами теоретичних досліджень визначені траєкторії руху насіння в сошниках механічних і пневматичних висівних апаратах після відриву насіння від висівного диска та електричні параметри датчиків висіву.

Отримані результати досліджень послужили основою для створення системи контролю висіву насіння, що дозволяє підвищити якість посіву, розроблено рекомендації щодо вдосконалення висівних апаратів сівалок просапних культур.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Значення контролю процесу висіву для вирощування просапних культур

Посів, в технології вирощування сільськогосподарських культур, займає провідне місце. Саме від посіву залежить більшою мірою ефективність технології. Головне завдання посіву полягає в оптимальному розміщенні насіння, що забезпечує отримання максимального врожаю. При цьому до посіву, як до технологічного процесу, пред'являються три основні вимоги: висів заданої кількості насіння на одиницю площі поля; рівномірне розміщення їх по площі поля; закладення їх на певну глибину. Мета посіву - створення оптимальної густоти стеблостою рослин, тобто забезпечення таких умов, при яких рівнозначні, але взаємозамінні фактори життєдіяльності агрофітоценозів були в рівній мірі доступні всім рослинним організмам. Від якості та своєчасності виконання операції посіву в значній мірі залежить формування агрофітоценозів на самих ранніх етапах органогенезу, що визначає подальший розвиток, формування структури та заданого морфологічного типу рослин, якості врожаю [9, 26].

Спосіб посіву насіння та схема їх розміщення впливають на основні технологічні прийоми, пов'язані з обробітком ґрунту, посівом, доглядом за рослинами, та їх збиранням. В даний час широко використовуються сівалки точного висіву. Термін «точний посів», виник в 50-х р, у зв'язку з появою висівних апаратів однозернового і групового дозування, що використовувалися для посіву кукурудзи та соняшнику. Незважаючи на те, що минуло чимало років з тих пір, дослідження даного способу посіву знаходяться на ранньому етапі. Однак не можна заперечувати успіхи в розвитку науки про посіви, в основі яких лежить розуміння геометрично точного розміщення насіння і рослин. Фахівці часто висловлюють думку про те, що з появою сучасних пристроїв, що забезпечують однозерновий висів, максимум можливого практично досягнуто і подальше підвищення якості посіву залежить тільки від якості висівання

насіння.

Таким чином, в пошуку формулювання точності посіву повинні бути відображені наступні вимоги: відповідне ставлення до основних завдань посіву; облік біологічних вимог і особливостей культур, сортів, гібридів; надання можливості для обґрунтування необхідних допусків на відхилення від вихідних параметрів; забезпечення порівняння результатів роботи різних висівних пристроїв [2, 5, 11, 27, 36, 38].



Рисунок 1 – Характерні втрати при посіві технічних культур

Втрати при посіві обумовлені припиненням висіву, відхиленнями середньої глибини загортання насіння та її рівномірності від настановних значень, рис. 1.1. При всіх інших рівних умовах (погодні умови, сорт культури, схожість насіння, термін посіву і т. д.) на врожайність просапних культур істотний вплив роблять важливі технічні і технологічні чинники, в тому числі просіви, коли частина площі поля, в результаті порушення висіву залишилася не засіяною [1, 2, 13, 27, 39, 40]. Відхилення глибини загортання насіння усувається додатковими налаштуванням посівного агрегату.

Просіви поділяються на суцільні просіви і мікро просіви. Суцільні просіви характеризуються відсутністю висіву одним або декількома висівними апаратами або всієї сівалкою під час руху агрегату. Просіви проявляються тільки після появи сходів. Також можливе усунення просівів при додаткових посівах, але рослини в цьому випадку відстають у розвитку

від загальної маси і, відповідно, втрачається врожайність. Просіви також виникають при механічних поломках, неправильному регулюванні, відсутності вакууму, відсутності насіння або склепіння утворенню в бункері, присутності сторонніх предметів в масі насіння, забиванні сошника ґрунтом і становить 1,5-4,5% від площі поля [2, 21, 32, 40].

Мікро просіви - відсутність одного або декількох насінин на їх розрахунковому місці. Виявляються лише після появи сходів. Мікро просіви виникають при неправильному регулюванні, невідповідності розмірів осередків (отворів) в дисках з розміром насіння, частковому забиванні осередків (отворів), засміченості насіння, при наявності сторонніх предметів в масі насіння, недостатньому вакуумі, пробуксовці приводного колеса і складають 1,5-8% засіяної площі.

Двійники - дві, і більше насінин, розташованих в одному «гнізді» ґрунту (розрахунковому). При точному висіві кожен «двійник», в цілому, не отримує вологи і поживних речовин через зменшення площі живлення. У цьому випадку кожна рослина приблизно на 20-35% є меншою. Після появи сходів необхідно усунути одну рослину. Прополка ручна або механізована призводить до додаткових витрат. Кількість двійників при точному посіві до 4% [36].

Для зниження кількості двійників проводиться більш точне налаштування положення «знімача» двійників, при підготовці до посіву, в тому числі з урахуванням швидкості руху посівного агрегату.

Для підвищення якості посіву в останні роки ведуться дослідження і розробка пристроїв контролю процесу висіву, застосування яких дозволяє значно скоротити витрати праці, підвищити якість посіву і продуктивність машинно-тракторних агрегатів, а також дає можливість вивільнити для інших робіт велику кількість робітників, більш ефективно використовувати сучасні енергонасичені трактори та різко скоротити терміни проведення посівних робіт. Системи контролю просапних сівалок призначені для виконання поточного контролю за процесом технологічної операції посіву при роботі просапних сівалок точного висіву і своєчасного повідомлення про відхилення від заданих параметрів функціонування машино-тракторного агрегату [14, 23]. Функціями системи

контролю є збір інформації про роботу кожної посівної секції, відбір, аналіз перебігу процесу, висновок на монітор поточної інформації про якість, швидкості руху та ін., а також повідомлень про порушення процесу висіву і місця порушення.

Автоматичний контроль роботи посівних машин є одним з основних резервів підвищення продуктивності праці, поліпшення якості посіву, а отже, і збільшення врожайності сільськогосподарських культур. Підтримка заданих параметрів процесу висіву є складним завданням з огляду на проявлення ряду випадкових факторів на посівний агрегат, обумовлених гетерогенністю середовища і умовами роботи посівного агрегату. Це вимагає від оператора постійної підвищеної уваги, і дуже скоро викликає втому. В міру ускладнення конструкцій сівалок, збільшення ширини захвату і робочих швидкостей руху ці обставини посилюються на стільки, що контроль за протіканням технологічного процесу стає неефективним, а в деяких випадках і неможливим [1, 7, 11, 16].

Порушення процесу висіву призводять до непоправних втрат врожаю, додаткових витрат праці та коштів при висадці рослин на ділянках просіву або порушення якості висіву. За даними ННЦ ІМЕСГ використання засобів автоматичного контролю на посівних машинах знижує кількість просівів в 50 разів. Техніко-економічні розрахунки, проведені провідними вченими, показали зниження витрат праці на виконання посівів на 50% при виконанні висіву сівалкою Horsch Maestro CV, обладнане системою контролю на посіві буряків [5, 9, 35].

Таким чином, автоматичний контроль роботи посівних машин є одним з основних резервів підвищення продуктивності праці, поліпшення якості посіву, а, отже, збільшення врожайності сільськогосподарських культур.

1.2. Висівні апарати посівних машин

За принципом дії розрізняють механічні та пневматичні висівні апарати. В Україні поки переважають висівні апарати першого типу, головним чином катушкові і дискові. Катушкові дозують насіння безперервним потоком, дискові

- одиничним відбором насіння.

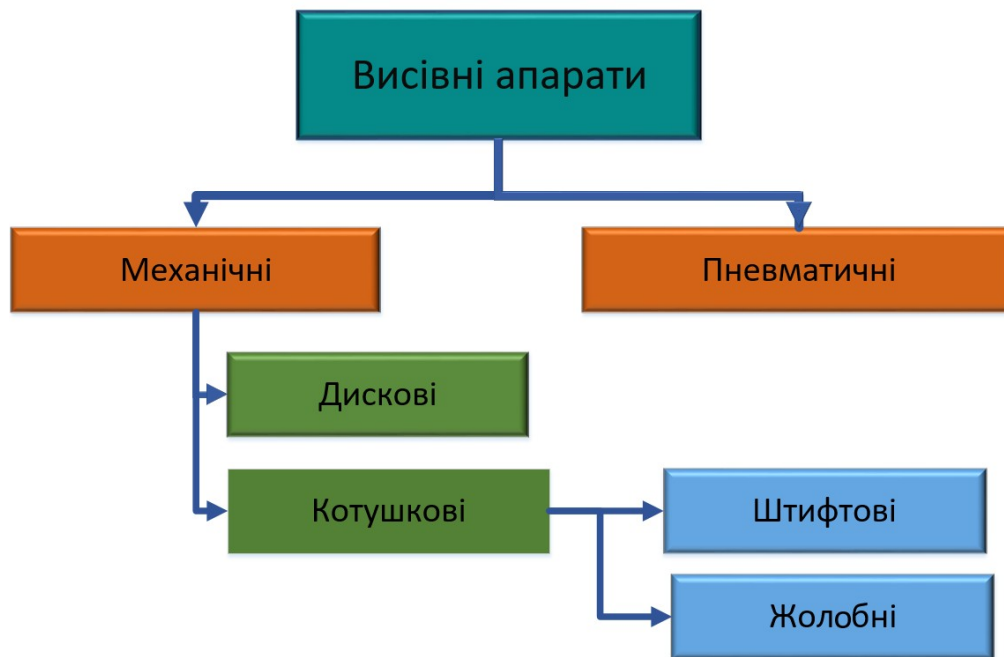


Рисунок 1.2 – Класифікація висівних апаратів

В даний час все більшого поширення набувають механічні і пневматичні висівні апарати [39].

У катушкових висівних апаратах розрізняють штифтові і жолобні типи. Перші використовують переважно для висіву гранульованих мінеральних добрив, другі досить універсальні. У механічних системах їх застосовують для індивідуального дозування насіння зернових, зернобобових, круп'яних, технічних, овочевих, плодових і лісових культур, в пневматичних - для загального (централізованого) та групового дозування насіння [13, 14].

Основний принцип висіву насіння катушковими висівними апаратами полягає в наступному. Кількість посівного матеріалу залежить від частоти обертання і довжини робочої, або активної частини катушки, яка знаходиться всередині корпусу і вигрібає насіння [13]. Для збільшення кількості посівного матеріалу катушку всувають в корпус, а для зменшення висувають з нього [13,14,15]. Частоту обертання катушки регулюють, змінюючи передавальне відношення коробки передач (між валом висівних апаратів і приводним колесом).

Дискові висівні апарати поділяються за наступною класифікацією: з горизонтальним диском, вертикальним і похилим. Найбільш широко застосовують апарати з вертикальними і горизонтальними осями обертання. Перші встановлюють на кукурудзяних і бавовняних (для висіву оголених насіння) сівалках. Крім того, вони можуть бути застосовані і для висіву насіння соняшнику, рицини, арахісу, баштанних та інших культур. Апаратами з горизонтальною віссю обертання обладнують бурякові сівалки. Але їх можна використовувати і для висіву проса, гречки, сої [26].

Диск з вертикальною віссю обертання, встановлений на днище циліндричної насінневої банки, приводиться в обертання від опорно-приводних коліс сівалки. Насіння западає в осередку диска і переміщається ним до отвору в дні насінневої банки. На шляху руху насіння знаходиться підпружинений відбивач, який своїм зубом зчищає насіння, що повному обсязі осіло в осередку диска. Коли осередок з насінням знаходиться над отвором насінневої балки, то підпружинений виштовхувач виштовхує його в розтруб сошника. У диску виконані осередки, в кожному з яких може бути розміщено тільки одне зерно. Сівалка забезпечена набором дисків для висіву різних культур і фракцій насіння. Норму висіву насіння регулюють, змінюючи частоту обертання дисків і застосовуючи спеціальні накладки, які перекривають частину осередків диска.

Диск з горизонтальною віссю обертання розміщений під бункером з насінням і приводиться в обертання від опорно-прикочуючими колеса сівалки. Насіння з бункера заповнюють осередку і перемішуються диском до відбивача у вигляді рифленого капронової ролика, який видаляє зайві насіння. У нижній частині висівного апарату насіння викидаються з осередків пластинчастими клиновими виштовхувачами, що входять в вузькі канавки, проточними по центрам осередків. Апарат забезпечений комплектами дисків для висіву насіння різних фракцій. При виборі посівного диска необхідно враховувати умову: в осередок має укладатися тільки одне зерно [40].

Норму висіву насіння встановлюють, змінюючи частоту обертання пористих дисків і число працюючих осередків на них. Частоту обертання коректують, змінюючи передавальне відношення між валом висівних дисків і

валом приводного колеса. Число працюючих комірок можна зменшити, використовуючи спеціальні накладки, які перекривають один ряд осередків диска [37].

Пневматичні висівні апарати більш універсальні і при заміні висівних дисків і сошників можуть висівати насіння буряків, кукурудзи, соняшнику, сої та інших культур. Якість розподілу насіння буряка в рядку покращують, наприклад, за допомогою диференційного підбору висівних дисків пневматичних апаратів з діаметром отворів 1,5; 1,75 і 2,0 мм і більш ретельної калібруванням насіння на фракції 3,0-3,5; 3,5-4,0; 4,0-4,5; 4,5-5,0; 5,0-5,5 мм.

Якість висіву насіння цукрових буряків покращують також за рахунок уточнення параметрів сошника, доопрацювання вузла очищення отворів диска, забезпечення плавності ходу знімача зайвого насіння, оснащення датчиками контролю процесу висіву насіння [2, 5, 9, 11, 15]. Для оцінки технологічного рівня висівних апаратів необхідне дотримання вимог до насіння при його заготівлі.

Пневматичні висівні апарати за характером дозування можуть бути з одиничним відбором насіння (сівалки точного висіву) і з дозованим потоком (рядові сівалки) [39].

В апаратах для одиничного відбору насіння використовують як вакуум, так і надлишковий тиск. Конструкції їх вельми різноманітні, але всі їх можна розділити на дві групи: дискові і барабанні. Всмоктувальні отвори в дискових апаратах розташовані на площині диска, в барабанних - на циліндричній поверхні.

У вітчизняних пневматичних сівалках застосовують дисковий всмоктуючий апарат з горизонтальною віссю обертання.

Пневматичні апарати укомплектовують кількома комплектами вакуумних дисків з різним числом і діаметром отворів. Що дозволяє висівати різні культури і дотримуватися встановленої норми висіву.

Технологічний процес роботи висівного пневматичного апарату полягає у відділенні насіння із загальної маси бункера, присмоктування насіння до отворів диска, зняття насіння з отворів спеціальним вкладишем і вільному падінні в паз

корпусу, а потім в канал сошника.

1.3. Вибір і обґрунтування показників роботи посівних машин, що підлягають контролю

Аналіз існуючих методів і засобів автоматичного контролю роботи посівних машин свідчить про те, що успішне використання їх багато в чому залежить від правильного вибору параметрів, що підлягають контролю технічної та експлуатаційної надійності самих пристроїв. Нерідко застосування автоматики не дає потрібного ефекту, що призводить до збільшення цін на сівалки і вимагає від механізатора спеціальних інженерних знань. Щоб уникнути цього, автоматичному контролю повинні піддаватися в першу чергу процеси, якість яких, внаслідок специфічних умов експлуатації, не можуть бути забезпечені самою конструкцією робочого елемента, який здійснює цей процес, тобто технологічні процеси і робочі органи, що виконують їх мають найбільшу ймовірність відмов, своєчасне візуальне виявлення яких або практично не представляється можливим, або викликає певні труднощі [1, 3, 9, 23].

Крім того, слід враховувати, що установка на сівалку будь-яких додаткових функціональних пристроїв і механізмів може привести до значного зниження надійності посівного агрегату в цілому, тим більше що самі прилади контролю представляють, як правило, складні системи, що володіють визначеною і нерідко вельми невисокою надійністю.

Тому основою при використанні існуючих в розробці нових конструкцій пристроїв автоматичного контролю роботи сівалок точного висіву, а також інших сільськогосподарських машин повинні бути надійність, можливість експлуатації в звичайних умовах виробництва і рядовим складом механізаторів.

З метою спрощення аналізу і визначення основних показників, що підлягають автоматичному контролю, процес розподілу насіння, що виконується посівною машиною, може бути розглянутий як процес руху їх на шляху від бункера до розташування в борозні.

Стосовно до сівалок точного висіву рух насіння при посіві може бути

розділений на п'ять взаємопов'язаних етапів: рух в бункері, висіваючому пристрої апарату, насіннепроводі, сошнику і по дні розкритої і підготовленої сошником борозни.

В результаті впливу ряду випадкових факторів на кожному етапі виникають різного роду відмови, які значно знижують якісні показники, як самих етапів, так і всього процесу розподілу насіння в цілому, рис. 1.3. На першому етапі висіву більшою мірою проявляються поступові відмови і збої [13, 14].

Основними причинами їх виникнення є склепіння утворення, обумовлене, як правило, слабкою сипучістю насіння, і нерівномірністю висіву окремими висівними апаратами, що досягає нерідко 15% і вище (агротехнічними вимогами на овочеві сівалки точного висіву допускається 15%). Останній фактор викликає неодночасне спорожнення бункерів, яке в процесі посіву своєчасно виявити візуальним шляхом, особливо при обслуговуванні посівного агрегату одним трактористом, практично не представляється можливим, що призводить до значних просівів.

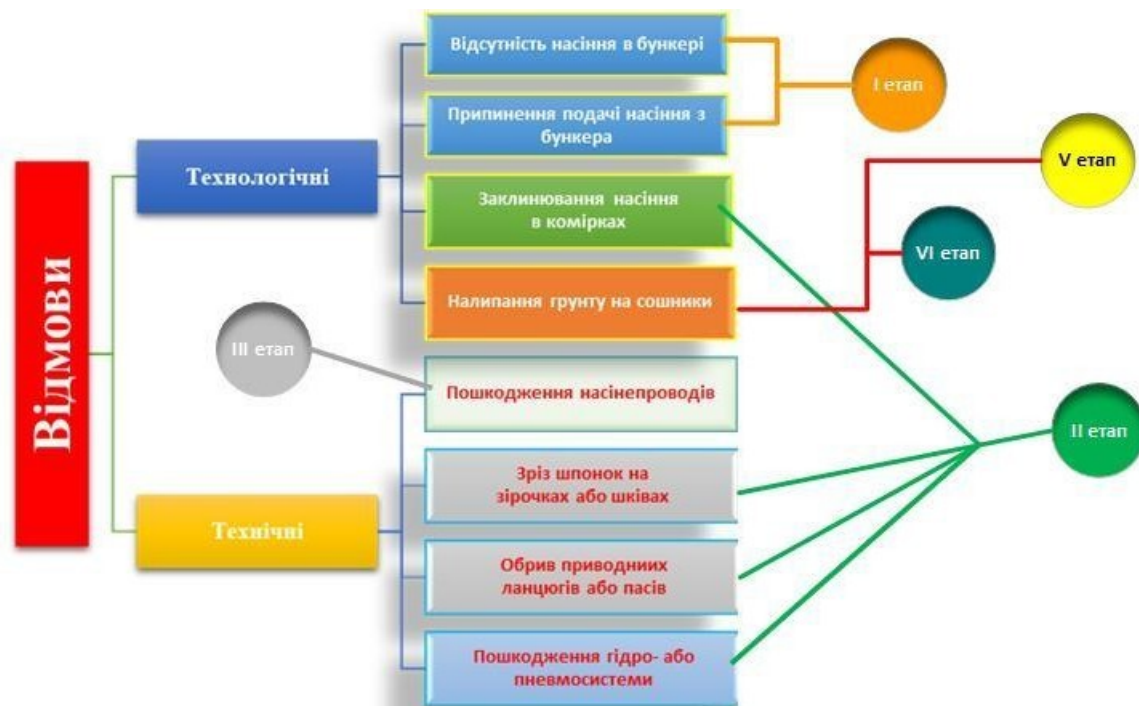


Рисунок 1.3 – Відмови, що виникають при роботі посівного агрегату

Для усунення зазначених небажаних явищ в деяких конструкціях сучасних

сівалок використовуються активні зворушувачі і спеціальні дозатори, що забезпечують більш рівномірну подачу посівного матеріалу до висівних пристроїв і обмежують негативний вплив шару насіння на процес забору і виведення його з бункера.

У зв'язку з цим основним параметром, що підлягає автоматичному контролю на першому етапі висіву, повинна бути витрата посівного матеріалу (рівень насіння в бункерах). При цьому необхідно контролювати наявність насіння в бункері кожної посівної секції, так як при контролі в одному або двох бункерах, як це нерідко здійснюється в ряді сівалок, може значно знизитися ефективність застосування засобів автоматики.

На другому етапі процесу висіву проявляються всі види відмов. Раптові відмови, як правило, призводять до припинення обертання дисків апаратів, отже, висіву насіння, і є в більшості випадків результатом поломок деталей і вузлів системи приводу.

Поступові відмови і збої на другому етапі відбуваються по-різному, а виникнення їх багато в чому залежить від конструктивних особливостей висівних апаратів. У механічних апаратах пористого типу порівняно часто спостерігається заклинювання насіння в осередках, а в пневматичних - забивання вакуумних отворів, що нерідко є однією з основних причин просівів, особливо у апаратів останнього типу.

Виходячи з характеру відмов і значного впливу їх на якість посіву, слід враховувати, що на другому етапі процесу висіву необхідно автоматично контролювати обертання дисків апаратів і подачу ними насіння в насіннепроводи, а при відсутності останніх - в сошники або безпосередньо в борозни. Наявність такого контролю дозволить своєчасно виявити появу відмов у системі висіву і значно підвищити якість посіву [13, 21, 37].

Характерною особливістю відмов на третьому етапі процесу висіву (рух насіння в насіннепровід) є забивання насіннепроводів посівним матеріалом. Основна причина цього - «непрохідність» самих насіннепроводів, тобто низька пропускна здатність, обумовлена невідповідністю кутів установки і внутрішніх поперечних розмірів трубок, інтенсивності потоку насіння їх розмірним і

фрикційним показниками. Тому щоб уникнути зазначених явищ в ряді конструкцій сівалок точного висіву вони або взагалі виключаються зі схеми, або їм відводиться роль кожухів, що знижують вплив руху повітря при посіві на траєкторію падіння насіння від диска до сошника.

У зв'язку з цим контроль руху насіння на третьому етапі може бути поєднаний з контролем другого етапу процесу висіву і, зокрема, з подачею насіння диском апарату в сошник. В даному випадку датчики автоматичних пристроїв, в залежності від конструктивних особливостей висівного апарату і його приєднання до сошникової групи, можуть бути встановлені безпосередньо після висівного пристрою в горловині насіннепроводу (кожуха) або в кінці його перед подачею насіння в сошник [32, 35-40].

Найбільш частими відмовами і збоями на четвертому етапі процесу висіву є забивання і залипання сошників ґрунтом, які в загальній структурі відмов становлять від 50 до 70% і служать основною причиною просівів. Ці відмови обумовлені, головним чином, коливаннями вологості ґрунту, величина яких нерідко перевищує допустимі межі, наявністю на полі рослинних залишків і, до певної міри, недосконалістю конструкцій самих сошників.

Беручи до уваги дані обставини, можна зробити висновок, що основним об'єктом автоматичного контролю на четвертому етапі висіву повинен бути процес забивання сошників. Це дозволить своєчасно виявити забивання, зупинити агрегат і усунути відмову, не чекаючи виїзду на край поля.

Основними якісними показниками п'ятого етапу процесу висіву є горизонтальна і вертикальна рівномірність розподілу насіння. Тому поряд зі створенням простих і надійних засобів автоматичного контролю і регулювання глибини загортання насіння в процесі посіву, необхідно прагнути до того, щоб задане значення цього показника, а також показників інших етапів в першу чергу забезпечувалося конструкцією висівних систем і сошникових груп самої сівалки, надійністю їх функціонування, відповідної передпосівної підготовкою ґрунту і посівного матеріалу.

Таким чином, в результаті аналізу роботи посівних машин, характеру відмов, причин і наслідків їх виникнення можна зробити висновок про те, що

основними показниками, що підлягають автоматичному контролю на сівалки точного висіву, є рівень (рух) насіння в бункерах, обертання висівних пристроїв апаратів і подача ними насіння в борозну, забивання сошників і глибина загортання насіння. Залежно від конструктивних особливостей і принципу роботи висівних апаратів (механічний, пневматичний, пневмомеханічний, гідравлічний і т. д.) Додатково можуть автоматично контролюватися і інші параметри (показники) технологічного процесу, порушення яких або вихід за задані межі може призвести до погіршення якості посіву .

На пневматичних сівалках слід контролювати величину розрідження в вакуумних камерах і забивання вакуумних отворів. Необхідність цього обумовлена тим, що часткове забивання вакуумних отворів або зниження розрідження нижче заданих значень, в більшості випадків, як показують дослідження, призводять до зменшення кількості насіння, що висіваються в одне гніздо, тобто до зниження якості гніздового посіву [2, 5, 9, 18].

1.4. Огляд системи контролю висіву насіння

Для підвищення якості посіву в останні роки ведуться дослідження і розробка пристроїв контролю процесу висіву, застосування яких дозволяє значно скоротити витрати праці, підвищити якість посіву і продуктивність машинно-тракторних агрегатів, а так само дає можливість вивільнити для інших робіт велику кількість робітників, більш ефективно використовувати сучасні енергонасичені трактори та різко скоротити терміни проведення посівних робіт.

Функціями системи контролю є збір інформації про роботу кожної посівної секції, відбір (фільтрація отриманих значень за встановленим критерієм), аналіз перебігу процесу, висновок на монітор (індикатор) поточної інформації про якість, швидкості руху та ін.

Порівняльний аналіз системи, представлених на українському ринку вітчизняними виробниками і фірмами з країн ближнього зарубіжжя [36], наведено в таблиці 1.1, класифікація систем контролю представлена на рис. 1.4.

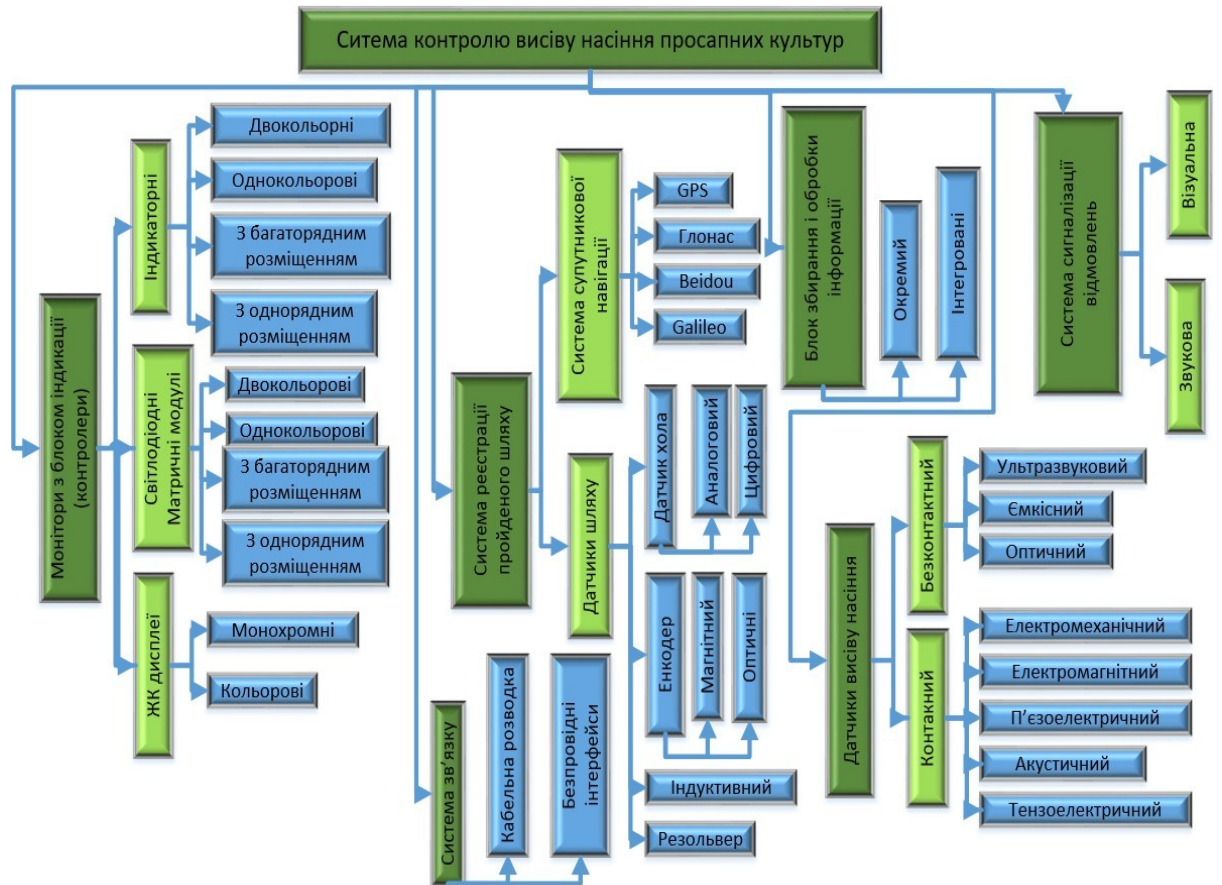


Рисунок 1.4 – Класифікація систем контролю висіву насіння

Таблиця 1.1

Порівняльний аналіз системи контролю висіву насіння

Назва СКВС	Тип блоку індикації	Датчик обертання вентилятора	Датчик рівня насіння	Тип датчика Висіву насіння	Датчик шляху (швидкості)
Impulse-1	Числовий	За згодою замовника	За згодою замовника	Ємкісний	Індуктивний
Факт	Графічний	+	-	Ємкісний	Індуктивний
СКІФ-04	Графічний	-	+	Оптичний	Індуктивний
Нива-23	Графічний	+	-	Ємкісний	Індуктивний
МК-8/12	Індикаторний	+	+	Оптичний	-
Record	Графічний	-	+	Оптичний	Індуктивний
EL SIS	Числовий	-	-	Оптичний	Індуктивний
МРІЯ-3	Індикаторний	+	-	Оптичний	GPS
SN DI-97	Індикаторний	+	+	Ємкісний	Індуктивний
Monada	Індикаторний	-	-	Оптичний	Індуктивний

Система контролю висіву «РИТМ» [13], містить з'єднані кабельною розводкою і закріплені за допомогою спеціальних кронштейнів на сівалці і тракторі ємнісні датчики висіву насіння, індуктивний датчик шляху і монітор з блоком індикації зі світлодіодним матричним модулем і блоком обробки даних, забезпечений швидкодіючим процесором і модернізованої операційної програмою.

Ця система має велику кількість проводів, що з'єднують датчики на сівалці з дисплеєм в кабіні трактора.

Зазначені недоліки системи контролю негативно впливають на надійність та інформованість. Крім того, система контролю має вузьконаправлене застосування, обмежене кількістю висівних апаратів на сівалці.



Рисунок 1.5 – Монітор СКВН «Ритм»

Системи контролю посіву «Факт», Нива – 23, СКІФ Т04, рис. 1.6 , містять датчики контролю висіву насіння, датчик шляху з'єднанні кабельною розводкою з дисплеєм, що включає монітор і блок обробки даних.

При роботі системи важко зчитувати інформацію на моніторі дисплею через недостатньою контрастності рідкокристалічних індикаторів. Система оснащена слабким звуковим сигналом, який може бути не почутий під час роботи трактора. Блок обробки даних має високу інформаційну чутливість. Дисплей незручний з експлуатації і незахищений від пошкоджень.



Рисунок 1.6 – Система контролю посіву насіння СКІФ – Т04

Система контролю «МК - 8/12» містять датчики висіву насіння, встановленні в сошниках висівних апаратів сівалки і з'єднання кабельної розводки з блоками обробки даних і індикації, рис. 1.7.



Рисунок 1.7 – Блок індикації СКВН « МК - 8/13»

Блок індикації пристрою виконаний у вигляді сигнальних світлодіодів, які висвічуються тільки при припиненні висіву з будь-якої висівної секції.

Система « Мрія – 3» служить для контролю процесу висіву насіння просапних культур. Містить датчики висіву насіння, блок обробки інформації, монітор. Визначення швидкості руху агрегату і норми посіву за допомогою вбудованого GPS модуля, рис. 1.8 [42].



Рисунок 1.8 – Монітор СКВН «Мрія – 3»

СКВН «RECORD» містить з'єднання кабельною розводкою і кріплення за допомогою спеціальних кронштейнів на сівалці і тракторі оптичні датчики висіву насіння, рис. 1.7, індуктивний датчик шляху і панель висіву, що представляє собою промисловий TFT кольоровий монітор.

Недоліком систем з оптичними датчиками є те, що при забрудненні, під час роботи, знижується чутливість датчика при прольоті насіння, тим самим погіршується якість роботи СКВН.

На українському ринку так само представлено безліч іноземних фірм, які виробляють системи контролю висіву насіння (Horsch, Ultima та ін.), схожих за принципом роботи з розглянутими вище, але їх ціна перевищує аналоги в 5-10 раз.

Основною вимогою, що пред'являються до пристроїв автоматичного контролю роботи сівалок, є надійність їх функціонування в звичайних польових умовах незалежно від змін параметрів зовнішнього середовища (вологість, температура і запиленість повітря, вібрація сівалки та ін.), простота конструкції та зручність в експлуатації.

Вимоги до блоку обробки інформації датчиків диктуються в основному видом і обсягом вихідної інформації, оптимальні значення яких повинні визначатися з урахуванням наступних умов: обсяг інформації повинен бути достатнім для своєчасного виявлення відмов у роботі сівалки; вид інформації (система сигналізації) повинен бути зручним для сприйняття трактористом. Оптимальним є варіант, коли світлова та звукова сигналізації спрацьовують

тільки при порушенні процесу висіву, а у всіх інших станах (крім сигналу включення самих пристроїв контролю) залишається відключеними.

Для підвищення ефективності роботи автоматичної системи контролю сівалок точного висіву, секційного виконання, датчики рівня насіння в бункері, контролю висіву, забивання насіннепроводів і сошників необхідно встановлювати на кожній посівній секції, тобто відповідно в кожному бункері, висіваючому апараті, сошнику (насіннепроводі).

Блок обробки інформації від датчиків в цьому випадку доцільно будувати за схемою паралельної обробки сигналів. Така схема, в порівнянні з послідовною поканалною, є менш складною і забезпечує досить високу надійність і швидкодію. Недоліки цієї схеми - громіздкість, підвищена потреба в електроживленні, у великій кількості комплектуючих елементів і проводів, а також підвищена вартість. Однак завдяки високій швидкодії пристрою, зібрані за схемою паралельної обробки сигналів, дозволяють до мінімуму скоротити просіви, а, отже, пов'язані з ними втрати врожаю, що окупає зазначене підвищення вартості.

Системи автоматичного контролю роботи сівалок точного висіву повинні мати режими автоматичної перевірки справності пристроїв, які входять до них, що дозволить з мінімальними витратами часу перевірити їх працездатність безпосередньо перед посівом і в процесі роботи.

Конструкція блоку подання вихідної інформації повинна враховувати наявність вібрації і значний діапазон коливань рівня освітленості в кабіні трактора, а також зручність спостереження за системою сигналізації.

Важливою вимогою, що пред'являються до систем автоматичного контролю, є максимальна уніфікація їх окремих функціональних вузлів, з застосовуваними на інших за призначенням сівалках, а також елементів різних пристроїв, що входять в дану систему [6, 7, 21, 41, 45].

1.5. Огляд елементів системи контролю висіву насіння

Аналіз наявних конструкцій пристроїв автоматичного контролю процесу

висіву-подачі насіння висівними пристроями показує, що в більшості випадків вони різняться принципом дії датчиків, конструктивним виконанням і місцем розташування щодо висівних пристроїв, тобто об'єктів контролю. Тому огляд цієї групи пристроїв можна вести по конструкціях датчиків висіву із зазначенням їх особливостей і області застосування, рис. 1.4 [44].

По виду взаємодії (зіткнення) чутливих елементів з потоком насіння наявні в даний час датчики контролю висіву можна розділити на контактні і безконтактні.

За принципом дії контактні датчики діляться на електромеханічні (реле), акустичні, п'єзоелектричні і тензоелектричні; безконтактні - на ультразвукові, оптичні (фотоелектричні) і ємнісні.

Контактні датчики переважно використовуються в пристроях контролю висіву зернових і інших сівалок звичайного рядового посіву. Найбільшого поширення набули датчики електромеханічного типу. Їх відмітною особливістю є конструктивне виконання чутливих елементів. У більшості вітчизняних і зарубіжних конструкцій датчиків як чутливі елементи

використовуються шарнірно закріплені пластини, один кінець яких встановлюється на шляху потоку насіння, інший пов'язаний з контактними пристроями, що формують електричні імпульси для подальшої передачі їх в блоки обробки інформації [7, 21]. Першим типом контактних датчиків є електромеханічний тип (реле). Про роботу реле судять по його характеристиці управління. Вона має релейний характер: стрибкоподібне збільшення вихідної величини Y при деякому значенні вхідної електричної впливає величини X (струм, напруга, частота і т. п.) і таке ж стрибкоподібне зменшення вихідної величини. При всіх інших значеннях діючої вхідної величини вихідна величина не змінюється або змінюється незначно. Реле - це автоматичний апарат релейної дії, в основному призначений для комутації ланцюгів управління більш потужних апаратів (наприклад, ланцюги обмотки електромагнітного контактора), сигналізації, зв'язку і так далі, а також для підсумовування і розкладання сигналів [21, 41, 43].

Акустичні датчики призначені для контактної і безконтактної реєстрації

імпульсів часткових розрядів в високовольтному обладнанні. Датчики хоча і називаються акустичними, але основний частотний діапазон для них істотно вище порога чутності людського вуха - це ультразвукові коливання від 30 кГц і вище, у деяких датчиків навіть до 300 кГц.

При контактному вимірюванні часткових розрядів акустичними датчиками реєструються коливання конструкцій високовольтного обладнання, зазвичай поверхонь баків і корпусів. Найкращі результати при контактному вимірюванні часткових розрядів виходять в тому випадку, коли баки обладнання заповнені рідким середовищем, зазвичай ізолюючим і охолоджуючим маслом, яке є ідеальним середовищем для поширення акустичних імпульсів. При безконтактному вимірюванні часткових розрядів акустичним датчиком реєструються коливання, що передаються безпосередньо по повітрю. Оскільки повітря менш щільне, ніж рідини, то реальна чутливість акустичних вимірювань в цьому випадку виявляється істотно нижчою, ніж при контактному вимірюванні.

За принципом своєї роботи акустичні датчики для вимірювання часткових розрядів бувають двох типів – зарезонансні і резонансні. Різниця між цими датчиками однозначно визначена в їх назві: зарезонансні акустичні датчики дозволяють реєструвати сигнали на частотах, що перевищують частоту власного (механічного) резонансу п'єзокристала, що є частиною загальної конструкції датчика.

Для надійної реєстрації імпульсів часткових розрядів частота власного резонансу датчика повинна бути не більше $15 \div 20$ кГц, тоді за допомогою цього датчика можна реєструвати імпульси з частотою від 30 кГц і вище. Щоб повністю виключити вплив резонансних коливань п'єзокристала на виході датчика, всередину його обов'язково вбудовується електронний фільтр, що пригнічує коливання на резонансній частоті, і всі більш низькі частоти. Вихідний сигнал за резонансного датчика зазвичай має ту ж частоту, що і реєструються коливання конструкції обладнання.

Резонансні акустичні датчики для реєстрації імпульсів часткових розрядів працюють на частоті власного інсталяційного резонансу п'єзокристала,

оптимальне значення якого для таких датчиків зазвичай становить 40 кГц. Незалежно від частоти реєстрованого акустичного сигналу вихідний сигнал резонансного датчика завжди має цю частоту 40 кГц, тобто п'єзокристал імпульсно збуджується від зовнішнього акустичного впливу і «дзвенить» на власній частоті.

Тривалість загасання резонансних коливань на виході датчика майже повністю залежить від механічної добротності конструкції датчика і дуже мало пов'язана з параметрами акустичного імпульсу. Резонансний принцип роботи п'єзокристала забезпечує високу чутливість такого датчика при порівняно невисокій ціні. Однак при використанні резонансних датчиків відбувається втрата частини первинної інформації про контрольований імпульс - відсутня можливість аналізувати його частоту і деякі інші параметри.

Основною перевагою акустичних датчиків є порівняльна простота і оперативність монтажу на заземлених поверхнях високовольтного обладнання, особливо якщо в їх конструкції вже закладено використання магнітного кріплення [21, 37].

Найбільшим недоліком застосування різних акустичних датчиків для реєстрації часткових розрядів є наявність в їх вихідному сигналі великого рівня паразитного шуму, наведеного на датчик ззовні від якого зазвичай буває дуже важко позбутися.

П'єзоелектричний датчик, вимірювальний перетворювач механічного зусилля в електричний сигнал; його дія заснована на використанні п'єзоелектричного ефекту. П'єзоелектричні датчики широко використовуються в промисловості і в багатьох інших галузях. Існує велика кількість п'єзоелектричних датчиків, такі як п'єзоелектричні датчики серії Т, волоконо-оптичний п'єзоелектричний (кварцовий) датчик імпульсного тиску, п'єзоелектричні датчики вібрації, на основі п'єзоелектрики працюють і багато інших прилади, наприклад п'єзоелектричний гучномовець.

П'єзоелектричний датчик - вимірювальний перетворювач механічного зусилля в електричний сигнал; його дія заснована на використанні п'єзоелектричного ефекту. Під дією вимірюваного тиску на зовнішній і

внутрішній сторонах пари пластин п'єзоелектрика виникають електричні заряди, причому сумарна ЕРС (між виведенням і корпусом) змінюється пропорційно тиску. П'єзоелектричні датчики доцільно застосовувати при вимірюванні швидкоплинного тиску; якщо тиск змінюється повільно, то зростає похибка перетворення через «стікання» електричного заряду з пластин на корпус. Основні переваги п'єзоелектричних датчиків - їх високі динамічні характеристики і здатність сприймати коливання тиску з частотою від десятків Гц до десятків МГц. Застосовуються при вимірах вібрацій і деформацій і т. д. [11, 17, 18, 19, 43].

Принцип роботи оптичних датчиків (або фотоелектричних) схожий з ультразвуковими датчиками. Оптичний датчик складається з двох головних складових: випромінювач і приймач. Випромінювач, в свою чергу, складається з корпусу, випромінювача, підлаштування елемента, генератора і індикатора. Приймач складається з корпусу, фотодіода, підлаштування елемента, електронного ключа, тригера, демодулятора і індикатора [21].

В основній масі фотодатчики працюють в інфрачервоній області спектра.

Фотоелектричні датчики діляться на три основних типи:

T - тип або THRU-BEAM (рознесена оптика) або датчики на переривання оптичного променя. Складаються з приймача і випромінювача, які встановлюються один напроти одного. Об'єкт, проходячи між приймачем і випромінювачем, перериває оптичний промінь, що призводить до зміни стану вихідного ключа приймача.

R - тип або RETRO (з відбиттям від світлоповертач / рефлектора). Випромінювач і приймач знаходяться в одному корпусі. Оптичний імпульс, посланий випромінювачем, відбивається від рефлектора і потрапляє на приймач. Переривання променя об'єктом, розташованим між рефлектором і датчиком, призводить до зміни стану вихідного ключа датчика.

D - тип або DIFFUSE (з відбиттям від об'єкта). Відображення оптичного променя відбувається безпосередньо від об'єкта виявлення. При відсутності об'єкта оптична лінія розімкнута, при наближенні до датчика об'єкта, частина енергії (залежить від кольору об'єкта і його шорсткості) оптичного імпульсу

відбивається від об'єкта і потрапляє на приймач датчика розташований в одному корпусі з випромінювачем, що призводить до зміни стану вихідного ключа.



Рисунок 1.9 – Оптичний датчик СКВН «RECORD»

1 - корпус датчика з платою; 2 - світлодіод; 3 - кабель; 4 - приймач сигналу;
5 - кронштейн датчика; 6 - випромінювач.

На малих відстанях, в межах «мертвої зони» датчики R - типу сприймають об'єкт як відбивач, в результаті чого виявлення об'єкта не відбувається. Для виключення таких випадків слід застосовувати датчики з поляризаційним фільтром [7].

Перевагою датчиків даного типу є висока роздільна здатність, висока швидкодія, однак, надійність і точність їх спрацьовування в умовах високої запиленості різко знижується, на рис. 1.9 представлений приклад оптичного датчика СКВН «RECORD».

Принцип роботи датчиків ємнісного типу заснований на реєстрації зміни ємності конденсатора при попаданні діелектрика між обкладок конденсатора [21].

Принцип роботи електронного ємнісного сенсора відстані побудований на зміні ємності плоского або циліндричного конденсатора в залежності від переміщення однієї з обкладок. Також враховується такий показник як діелектрична проникність середовища між обкладок. Одна з переваг подібних пристроїв - проста конструкція, яка дозволяє досягти хороших показників

міцності і надійності.

Також вимірювачі цього типу не схильні до спотворень показників при перепадах температури. Єдино умова для точних показників при вимірюванні переміщення - захист від пилу, вологості і корозії. При якісній фіксації переміщення діелектрика між пластин конденсатора висока запиленість не впливає на точність фіксації, оскільки вимірювальна схема реагує на різку зміну ємності, що виникає при приміщенні діелектрика між обкладок.

Ємнісні датчики широко використовуються в найрізноманітніших галузях. Прості у виготовленні прилади відрізняються низькою собівартістю виробництва, при цьому мають тривалий термін експлуатації і високою чутливістю.

Залежно від виконання пристрою діляться на одно ємкісне і двох ємкісне. Другий варіант більш складний у виготовленні, але відрізняється підвищеною точністю вимірювань.

Найбільш часто ємнісні датчики використовують для вимірювання лінійних і кутових переміщень, причому пристрій розроблений таким чином може відрізнятися в залежності від методу вимірювання (змінюється площа електродів, або зазор між ними). Для вимірювання кутових переміщень використовують датчики зі змінною площею обкладок конденсатора.

Ємнісні перетворювачі використовують для вимірювання тиску. Конструкція передбачає наявність одного електрода з діафрагмою, яка під дією тиску згинається, змінюючи ємність конденсатора, що фіксується вимірювальною схемою. Ємнісні вимірювачі можуть використовуватися в будь-яких системах управління і регулювання. В енергетиці, машинобудуванні, будівництві зазвичай використовують датчики лінійних і кутових переміщень. Ємнісні перетворювачі рівня найбільш ефективні при роботі з сипучими матеріалами і рідинами, і часто використовуються в хімічній і харчовій промисловості.

Електронні ємнісні датчики застосовуються для точного вимірювання вологості повітря, товщини діелектриків, різних деформацій, лінійних і кутових прискорень, гарантуючи точність показників в самих різних умовах [34].

Даний тип датчиків є найбільш прийнятним для використання в системах

контролю висіву насіння просапних культур, оскільки має низьку чутливістю до пилу, високої перешкодозахищеністю, низькою собівартістю і високою надійністю.

Для визначення пройденого шляху, норми висіву в СКВН використовуються різні пристрої від датчиків обертання приводного колеса до системи супутникової навігації, рис. 1.5.

Енкодер - це пристрій для перетворення кутових або лінійних переміщень в аналоговий або цифровий сигнал. Перетворюватися може як саме переміщення, так і швидкість такого переміщення. Звідси впливають два основні класи енкодерів - абсолютні енкодери і інкрементальні енкодери. Крім того, енкодери класифікують за фізичним принципом дії: оптичні, магнітні та ін.

Оптичний енкодер - заснований на принципі оптичного сканування. В основі енкодера, знаходиться обертається, добре відцентрувати диск, з розташованої на ньому сіткою (кодовою малюнком), що складається з набору міток (рисок). Даний диск встановлений між світлодіодом і прийомним оптичним елементом [42].

Світловий потік спрямовується спеціальною нерухомою маскою через решітку обертового диска і, далі, потрапляє на приймальний фотоелемент, який створює сигнал пропорційний світлосилі. Обертання диска призводить форму сигналу до виду синусоїдальної хвилі.

Оптичні енкодери набули найбільшого поширення в промисловості. Головним плюсом оптичних енкодерів є досить суттєве розширення. У недорогих моделей цей показник дорівнює 500-1000-2000 фізичних рисок на оборот. У кращих зразках дозвіл доведено до 10000 рисок на оборот.

Магнітний енкодер - заснований на принципі сканування зміни магнітного поля. Це порівняно новий вид датчиків зворотного зв'язку, в якому обертається магнітний диск з кількістю пар полюсів типу північ - південь від 2 до 50.

Спеціальний датчик на відстані до 0,5-2 мм зчитує відповідні синусоїди. Далі сигнал інтерполюється, оцифровується і направляється на пристрій управління верхнього рівня.

Найбільшого поширення набули лінійні магнітні датчики переміщень. Це

пов'язано, в першу чергу з тим, що самі по собі лінійні датчики є приладами прямого, безпосереднього вимірювання переміщень, в порівнянні з датчиками обертання. Це дозволяє автоматично компенсувати люфти трансмісії та іншої механіки. По-друге, магнітні датчики набагато менш чутливі до забруднень зовнішнього середовища, ніж оптичні [39].

Енкодери є складними інструментами, застосовуваними в основному в сервоприводах, автоматичних багато осьових токарних і фрезерних верстатах, а також у випадках контролю точних лінійних (міліметри і мікрометри) і кутових (хвилини і секунди) переміщень. Зайва точність разом з високою вартістю і низькою стійкістю до вібрації роблять даний вид датчиків маловживаними в сільськогосподарській техніці.

Датчик Холла - магнітоелектричний пристрій, що одержав свою назву від прізвища фізика Холла, який відкрив принцип, на основі якого згодом і був створений цей датчик. Розрізняють аналогові і цифрові датчики Холла [35]. Цифрові датчики визначають наявність, або ж відсутність поля. Тобто, якщо індукція досягає певного порогу - датчик видає присутність поля у вигляді якоїсь логічної одиниці, якщо порогу не досягнуто, то датчик видає логічний нуль. При слабкій індукції і, відповідно, чутливості датчика - наявність поля може бути не зафіксовано. Недолік такого датчика - наявність зони нечутливості між порогами. Цифрові датчики Холла розділені на біполярні і уніполярні [35].

Уніполярні - спрацьовують при наявності поля певної полярності і відключаються при зниженні індукції поля.

Біполярні - реагують на зміну полярності поля, тобто одна полярність - включає датчик, інша - вимикає.

Аналогові датчики Холла перетворюють індукцію поля в напругу, величина, показана датчиком, залежить від полярності поля і його сили. При цьому потрібно враховувати відстань, на якому встановлений датчик.

Датчики Холла стали частиною багатьох приладів. В основному вони використовуються за прямим призначенням і вимірюють напруженість магнітного поля. Застосовуються в електродвигунах і навіть в таких інноваціях, як іонні двигуни ракет. Найчастіше датчики Холла використовуються в системі

запалювання автомобіля.

Принцип роботи датчика Холла заснований на ефекті Холла - якщо в магнітне поле помістити пластину під напругою з протікаючим по ній струмом, то електрони в цій пластині відхиляться перпендикулярно напрямку магнітного потоку. Напрямок такого відхилення залежить від полярності магнітного поля. Таким чином, щільність електронів на різних сторонах пластини буде відрізнятися, що створить і різницю потенціалів. Цю різницю і вловлюють датчики Холла [35].

Головним недоліком є висока чутливість до електромагнітних перешкод, що виникають у мережі живлення. Крім того, датчик Холла дорожче магнітоелектричного і менш надійний, оскільки містить електронну схему.

Індуктивний датчик - безконтактний датчик, призначений для контролю стану об'єктів з металу (до інших матеріалів не чутливий) [39].

Принцип дії заснований на зміні амплітуди коливань генератора при внесенні в активну зону датчика металевого, магнітного, феромагнітного або аморфного матеріалу певних розмірів. При подачі живлення на кінцевий вимикач в області його чутливої поверхні утворюється змінне магнітне поле, яке наводить у внесену в зону вихрові струми, які призводять до зміни амплітуди коливань генератора. В результаті виробляється аналоговий вихідний сигнал, величина якого змінюється від відстані між датчиком і контрольованим предметом. Тригер Шмітта перетворює аналоговий сигнал в логічний.

Переваги даного типу датчиків: простота конструкції, висока надійність, повна відсутність ковзних контактів, які швидко виходять з ладу, висока чутливість і спрацьовування тільки на метал, роблять даний тип датчиків найбільш прийнятним для використання в складі системи контролю висіву насіння.

Висновки

1. Проведено аналіз процесу висіву насіння механічними і пневматичними висівними апаратами, виявлені причини виходу з ладу висівних апаратів і

способи контролю цих факторів.

2. На підставі аналізу систем контролю висіву насіння, встановлено, що найбільш прийнятним для використання в системах контролю висіву насіння просапних культур є ємнісний тип датчиків, оскільки даний тип датчиків має низьку чутливість до пилу, високу перешкодозахищеність, низьку собівартість і високу надійність. Для реєстрації пройденої сівалкою відстані доцільно використовувати індуктивні датчики шляху, які відрізняються простотою конструкції, високою надійністю, повною відсутністю ковзних контактів, які швидко виходять з ладу, високої чутливості і спрацьовування тільки на метал.

3. Встановлено, що система контролю висіву насіння сівалками точного висіву повинна мати режим автоматичної перевірки справності блоків, які входять до неї, датчиків і каналів зв'язку з метою максимально оперативного реагування на можливі відмови в процесі її підготовки до роботи, а також безпосередньо в процесі експлуатації.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Агротехнічні вимоги до посіву насіння просапних культур

До посіву просапних культур пред'являються вимоги по рівномірному подовжньому розподілу заданої кількості насіння в рядках із закладенням їх на встановлену глибину і розташуванням прямими рядами з однаковою шириною міжрядь [45]. Якісний і своєчасний посів в значній мірі визначає подальший розвиток рослин і формування структури і якості врожаю [9, 39].

Основними і неодмінними умовами, супутніми якісному посіву, особливо при рядовому способі з однонасінневим і гніздовим розміщенням насіння, є передпосівний обробіток ґрунту і підготовка насіння, що відповідає агротехнічним вимогам.

Встановлено, що кращі умови для роботи сівалок точного висіву створюються, коли поверхня ґрунту ретельно розпушена на глибину загортання насіння і вирівняна до стану, при якому в шарі 0-5 см не міститься грудок і рослинних залишків розміром більше 30 мм при цьому грудки розміром від 1 до 10 мм повинні становити не менше 50%, пилоподібні частки (менш 0,25 мм) - не більше 10%.

Одним з важливих показників якості посіву є рівномірність розподілу насіння в рядку. Забезпеченню дружних і рівномірних сходів сприяє розташування насіння на щільному ложі, яке закрито вологим ґрунтом. При цьому в зоні розташування насіння ґрунт повинен бути ущільненим, а в поверхневому шарі пухким [12, 24].

Відхилення фактичної норми висіву насіння: кукурудзи - не більше $\pm 2\%$, сої - не більше $\pm 3\%$, соняшнику - не більше $\pm 5\%$, цукрових буряків - не більше $\pm 15\%$. Відхилення норми з одночасним внесенням добрив не більше $\pm 10\%$.

При пунктирному посіві відхилення від розрахункового інтервалу між насінням в рядку не більше $\pm 30\%$, а кількість насіння з зазначеним допустимих відхилень від загальної цифри не менше 85%.

При точному висіві не менше 80% одиночного насіння повинно розміщуватись на заданій відстані одне від іншого [13, 15, 39,]. Число пропусків не повинно перевищувати 2% від числа посіяного насіння.

Нерівномірність висіву насіння окремими посівними секціями допускається не більше $\pm 4\%$. Рядки повинні бути прямолінійними, відхилення від осової лінії рядка на довжині 50 м допускається не більше 4 см. Допустимі відхилення ширини основних міжрядь не більше $\pm 3\%$, а ширини стикових міжрядь не більше $\pm 7\%$.

Глибина посіву залежить від гранулометричного складу ґрунту і вологості його верхнього шару. Так, глибина посіву на важких ґрунтах не повинна перевищувати 4-5 см, на легких - 6-7 см. Відхилення від заданої глибини закладення - не вище 15%.

Оптимальна глибина загорання насіння більшості просапних культур знаходиться в межах від 2 до 5 см, а його розсіювання з коефіцієнтом варіації 20-25% не робить істотного впливу на основні параметри зростання. Відхилення глибини закладення окремого насіння від середньої, має бути не більше $\pm 15\%$, що при глибині загорання 3-4 см становить $\pm 0,5$ см, 4-5 см - $\pm 0,7$ см, при 6-8 см - ± 1 см. Рівномірність глибини загорання насіння при заданій глибині 3-4, 4-5 і 6-8 см середня глибина закладення може відхилитися від неї не більше ніж на $\pm 0,5$; $\pm 0,7$; см. $\pm 1,0$ відповідно [2, 5, 8, 36].

Овочеві сівалки повинні забезпечувати задану глибину висіву насіння; однаковий висів кожним висівним апаратом (відхилення не більше $\pm 4\%$); рівномірність закладення насіння на необхідну глибину (відхилення не більше ± 1 см); прямолінійність рядків (відхилення від ширини основних міжрядь - 2 см, а стикових ± 5 см); пошкодження насіння висівними апаратами не більше 0,3%.

При посіві просапних культур повинна дотримуватися прямолінійність рядків, і забезпечена рівна поверхня засіяного поля. Пошкодження насіння висівними апаратами не повинно перевищувати 1%.

Обробіток і оптимальна густина стеблостою рослин, при інших рівних умовах, залежать від польової схожості насіння. Створення оптимальної густоти

стеблостою дозволяє забезпечити рослинам рівнозначні чинники життєдіяльності, такі як світло, тепло, волога, елементи мінерального живлення.

Зазначені агротехнічні вимоги повинні дотримуватися при робочій швидкості посівних агрегатів, що не перевищує 2-2,5 м / с [42].

Складовою частиною агротехнічних вимог, що пред'являються до посівних машин, є техніко-експлуатаційні та виробничо-технологічні показники. Вони визначають основні параметри посівного агрегату: ширину захвату, робочу швидкість, споживану потужність, продуктивність, термін служби, коефіцієнти готовності і надійності технологічного процесу, умови техніки безпеки і зручності експлуатації.

2.2. Технологічний процес подачі насіння на насінневе ложе

Технологічний процес подачі насіння на насінневе ложе можна розділити на кілька основних етапів, на кожному з яких необхідно здійснювати контроль.

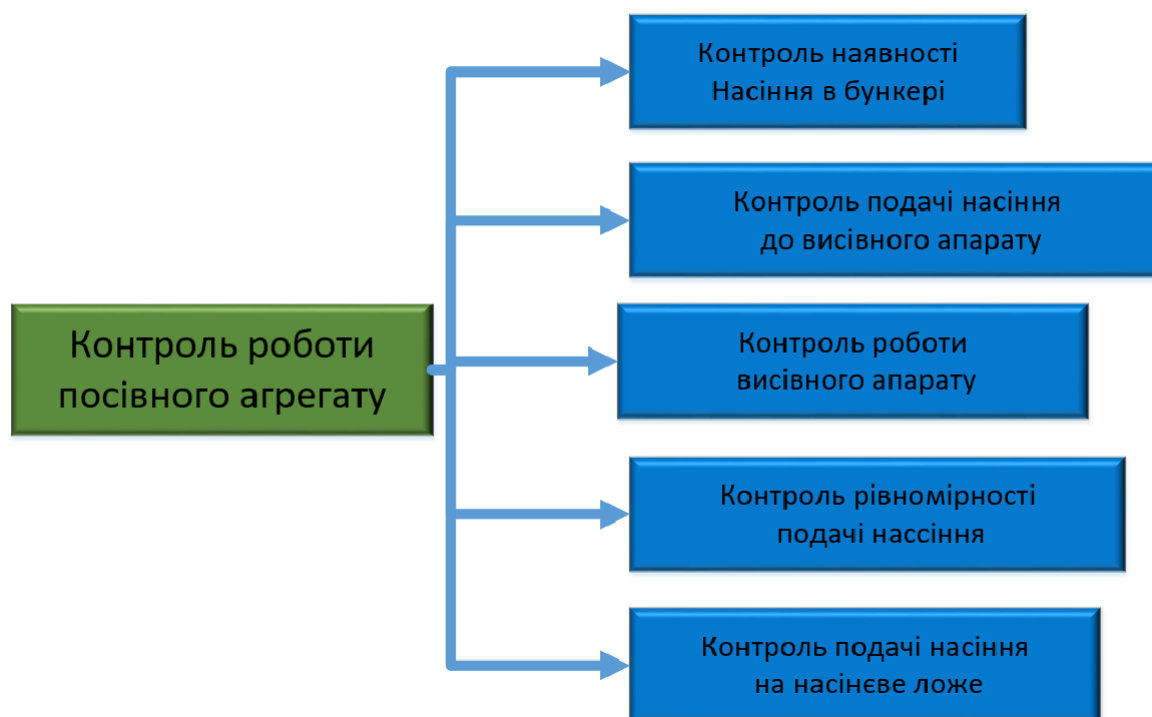


Рисунок 2.1 - Контроль процесу висіву на різних етапах

Контроль наявності насіння в бункері може здійснюватися за допомогою датчиків різних типів: ультразвукових, мікрохвильових, акустичних, ємнісних і т. д.

Контроль подачі насіння до висівних апаратів здійснюється для запобігання просівів через забивання насіннепроводів. Здійснювати контроль подачі насіння можна за допомогою датчиків висіву, в тому числі оптичних, ємнісних і т. д. [44].

Контроль роботи висівного апарату здійснюється по-різному для механічних і пневматичних висівних апаратів. Для механічних він полягає в контролі обертання диска висівного апарату. Для пневматичних, крім обертання диска, необхідно контролювати обертання вентилятора або розрідження в пневматичній системі. Для контролю роботи висівних апаратів підходить широке коло датчиків і вимірювальних систем: індукційні датчики, що встановлюються навпроти спеціальних міток, енкoderів, для визначення обертання, різних манометрів для визначення розрідження.

Контроль рівномірності подачі насіння здійснюється за допомогою датчиків висіву різних типів з урахуванням швидкості руху посівного агрегату для визначення кількості насіння на погонний метр.

Контроль подачі насіння на насіннєве ложе означає контроль на мінімальній відстані від розрахункової точки розміщення насіння в борозні. Здійснюється за допомогою датчиків висіву [39].

Контроль процесів роботи посівного агрегату доцільно здійснювати одночасно на декількох етапах одночасно, за умови сильної залежності процесів. Наприклад, контроль роботи посівного агрегату, контроль рівномірності розподілу насіння і контроль розміщення насіння на насінневому ложі доцільно поєднати, розміщенням датчика висіву після точки відриву насіння від висівного диска, оскільки порушення на будь-якому з етапів роботи посівного агрегату можна визначити на даному етапі.

2.3 Визначення траєкторії польоту насіння для механічного висівного апарату

Проведені аналітичні дослідження різних систем контролю висіву насіння показали, що оптимальне місце для установки датчиків висіву має бути максимально близьким до виходу з системи, а саме розташовуватися в сошнику, однак, щоб уникнути механічного пошкодження датчика, а також забивання датчика ґрунтом, має перебувати на відстані не більше 50 мм від точки відриву насіння від диска висівного апарату.

Оптимальним типом датчиків для систем контролю висіву насіння просапних культур є ємнісний тип, в силу його високої роздільної здатності, високої чутливості, працездатності в умовах сильної запиленості, нечутливості до перешкод, що виникають при роботі посівного агрегату [43]. Для визначення достатньої універсальної довжини чутливої зони датчика висіву було проведено аналітичне дослідження траєкторії польоту насіння з моменту їх відриву від диска висівного апарату до чутливих пластин датчика для механічного та пневматичного висівних апаратів.

При розрахунках були використані параметри диска механічного висівного апарату, виробництва ПРАТ «Калинівське РП Агромаш» [63].

Координати траєкторії польоту насіння без урахування сили опору повітря виражається відомими залежностями (1), графіки представлені на рис. 2.2:

$$\begin{cases} x = V_0 \cdot t \\ y = y_0 - \frac{g \cdot t^2}{2} \end{cases} \quad (2.1)$$

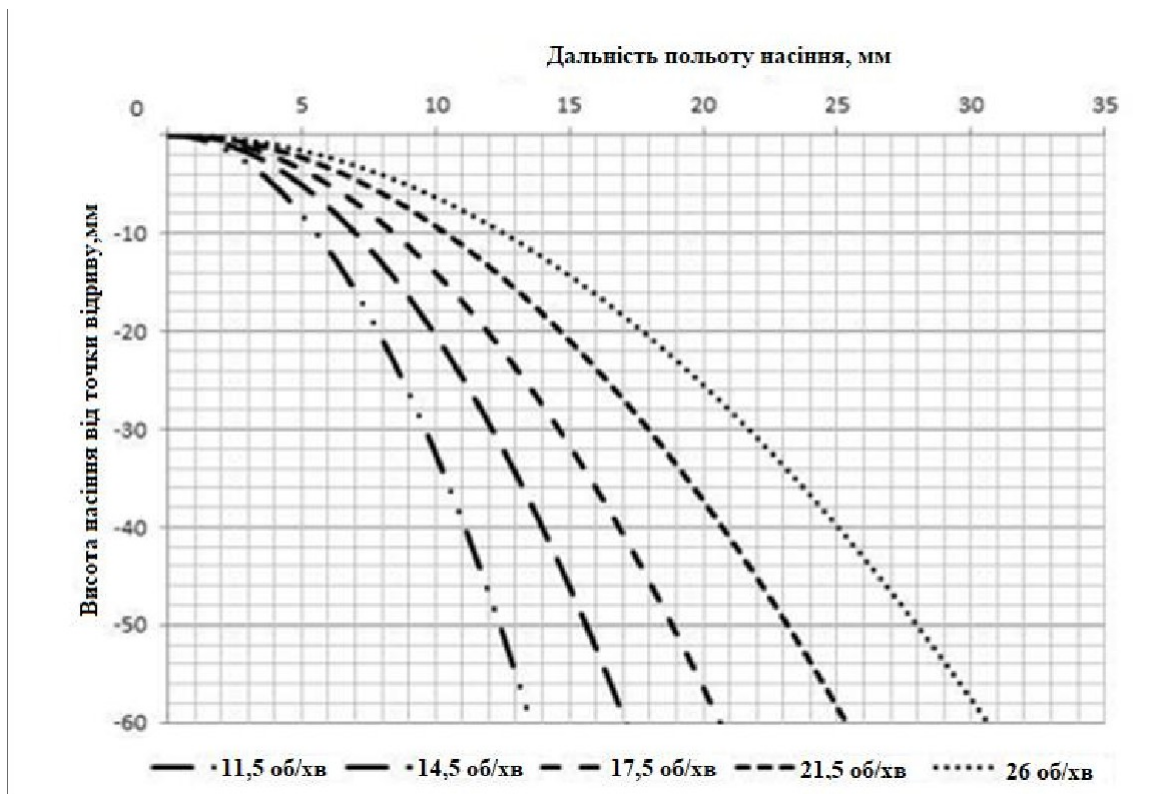


Рисунок 2.2 – Теоретична траєкторія польоту насіння в залежності від швидкості обертання диска механічного висівного апарату без урахування сили опору повітря

З урахуванням впливу на насіння сили опору повітря система рівняння (2.1) набуде вигляду:

$$\begin{cases} x = V_{0x} \cdot t - \frac{a_x \cdot t^2}{2} \\ y = y_0 - \frac{g \cdot t^2}{2} + \frac{a_y \cdot t^2}{2} \end{cases} \quad (2.2)$$

Сила опору повітря визначається за формулою:

$$F_{spor} = C_x \cdot \rho \cdot V^2 \cdot \frac{S_{mid}}{2} \quad (2.3)$$

де $C_x = 0,4$ - коефіцієнт лобового опору (для насіння кулястої форми);

ρ - щільність повітря, кг /м³;

V - швидкість польоту насіння, м / с;

S_{mid} - площа поперечного перерізу насіння, м².

Перетворюючи систему рівнянь (2.2) з урахуванням виразу (2.3), система рівнянь для визначення теоретичної траєкторії польоту насіння з урахуванням опору повітря набуває вигляду:

$$\begin{cases} x = V_{0x} \cdot t - \frac{C_x \cdot \rho \cdot V_x^2 \cdot S_{mid} \cdot t^2}{4 \cdot m} \\ y = \frac{C_x \cdot \rho \cdot V_y^2 \cdot S_{mid} \cdot t^2}{4 \cdot m} - \frac{g \cdot t^2}{2} \end{cases} \quad (2.4)$$

Висловлюючи початкову швидкість насіння через частоту обертання диска висівного апарату отримаємо:

$$\begin{cases} x = -\sqrt{\frac{V_{0x}^2 \cdot m^2 \cdot \frac{\omega^2 \cdot r^2 \cdot \pi^2}{900} - C_x \cdot m \cdot \rho \cdot V_x^2 \cdot S_{mid} \cdot x - \frac{m^2 \cdot \omega \cdot r \cdot \pi}{15}}{4 \cdot m}} \\ y = \frac{C_x \cdot \rho \cdot V_y^2 \cdot S_{mid} \cdot t^2}{4 \cdot m} - \frac{g \cdot t^2}{2} \end{cases} \quad (2.5)$$

В остаточному вигляді рівняння теоретичної траєкторії польоту насіння може бути представленим в

$$y = \frac{\left(\sqrt{V_{0x}^2 \cdot m^2 \cdot \frac{\omega^2 \cdot r^2 \cdot \pi^2}{900} - C_x \cdot m \cdot \rho \cdot V_x^2 \cdot S_{mid} \cdot x - \frac{m^2 \cdot \omega \cdot r \cdot \pi}{15}} \right)^2 (C_x \cdot \rho \cdot V_y^2 \cdot S_{mid} - 4 \cdot m \cdot g)}{128 \cdot m^3} \quad (2.6)$$

В результаті чисельного експерименту з використанням виразу (2.6) були отримані теоретичні траєкторії польоту насіння різних культур.

Виходячи з аналізу теоретичних траєкторій польоту насіння на різних швидкісних режимах висівного диска, можна визначити довжину чутливої зони емнісного датчика, що забезпечує надійну реєстрацію прольоту окремих насінин, яка повинна бути не менше 30 мм при установці датчика висіву на висоті 50 мм від точки відриву насіння від диска висівного апарату [39].

На рис. 2.3 траєкторії насіння сої з урахуванням і без урахування сили опору повітря, при фіксованих значеннях частоти обертання висівного диска і різними висотами установки датчика висіву насіння щодо його бічної поверхні.

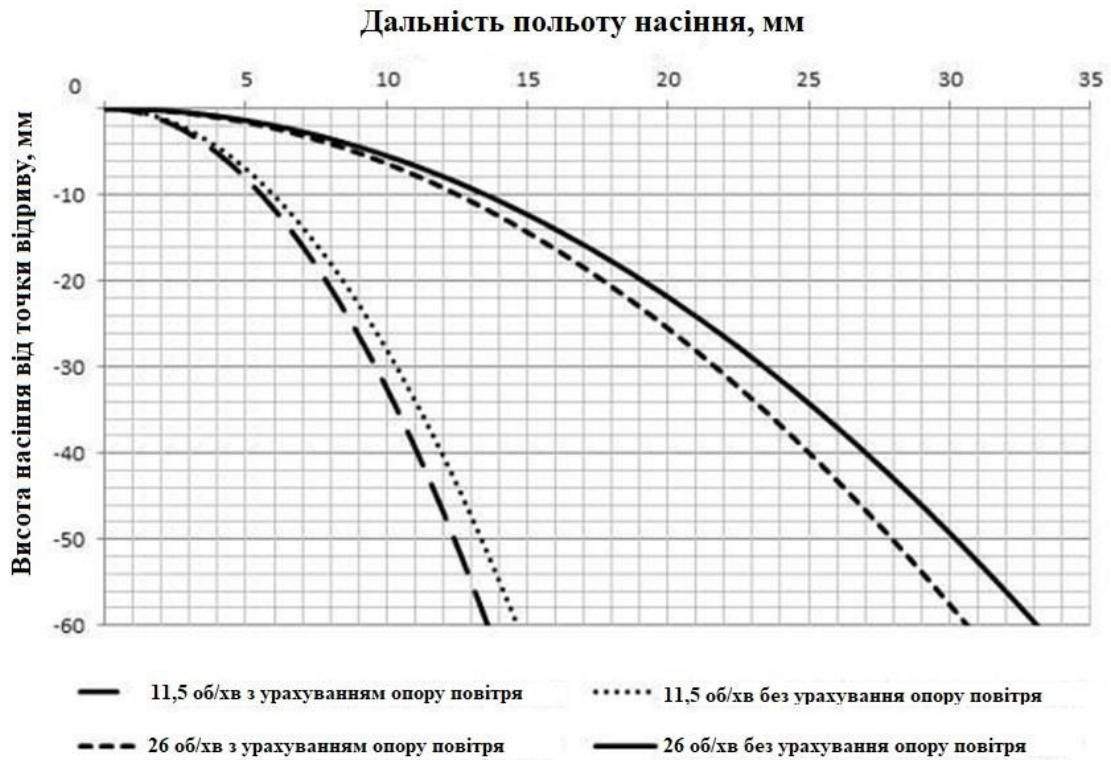


Рисунок 2.3 – Порівняння теоретичних траєкторій польоту насіння з урахуванням і без урахування сили опору повітря

Аналізуючи отримані траєкторії польоту насіння сої, можна зробити висновок про наступне. Довжина чутливої зони датчика висіву в більшій мірі залежить від частоти обертання диска. Так, при висоті установки датчика в сошнику на відстані від висівного диска в 50 мм, довжина його чутливої зони варіює від 12 до 13 мм при частоті обертання диска 11,5 об/хв з урахуванням і без урахування сили опору повітря відповідно.

При збільшенні частоти обертання диска до 26 об/хв при тій же установці датчика, довжина його чутливої зони варіює від 28 до 30 мм з урахуванням і без урахування сили опору повітря, відповідно. Збільшення частоти обертання висівного диска з 11,5 до 26 об/хв, тобто в 2,26 рази призводить до подовження чутливої зони датчика по порівнюваним варіантів. Отже, при зазначеній висоті установки датчика, довжина чутливої зони (пластини) повинна становити не менше 30 мм зі зміщенням щодо точки викиду насіння з осередків не менше 5 мм для механічного висівного апарату.

2.4 Визначення траєкторії польоту насіння для пневматичного висівного апарату

Для уніфікації датчиків висіву були проведені аналогічні розрахунки для пневматичного висівного апарату. За основу взяли пневматичний висівний апарат з диском, виробництва «Horsch».

Графіки координат траєкторії польоту насіння без урахування сили опору повітря представлені на рис. 2.4.

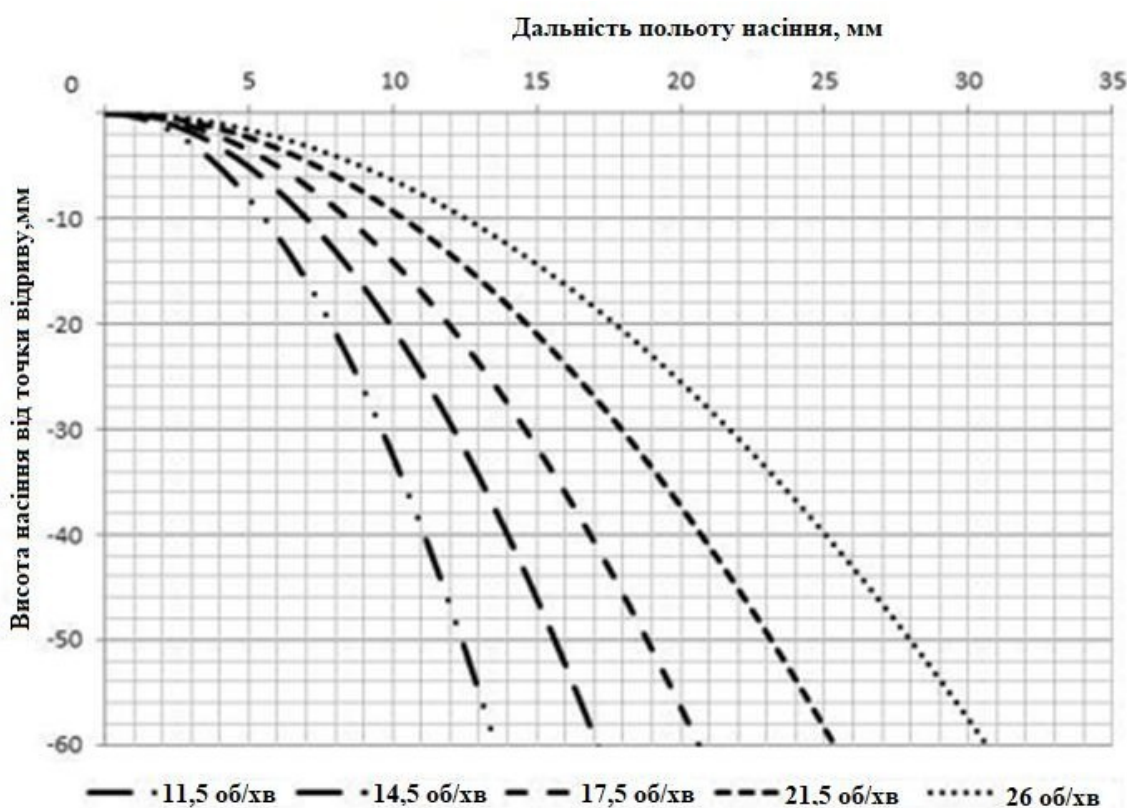


Рисунок 2.4 – Теоретична траєкторія польоту насіння сої в залежності від частоти обертання диска пневматичного висівного апарату з урахуванням сили опору повітря

В результаті обробки даних з використанням виразу (2.6) були отримані теоретичні траєкторії польоту насіння сої, залежно від частоти обертання диска пневматичного висівного апарату.

Аналізуючи отримані траєкторії польоту насіння, можна зробити наступний висновок: довжина чутливої зони датчика висіву в більшій мірі залежить від частоти обертання диска. Так, при висоті установки датчика в сошнику на відстані від висівного диска в 50 мм, довжина його чутливої зони варіює від 10 до 12 мм при частоті обертання диска 11,5 об / хв з урахуванням і без урахування сили опору повітря відповідно.

При збільшенні частоти обертання диска до 26 об / хв при тій же установці датчика, довжина його чутливої зони варіює від 23 до 28 мм з урахуванням і без урахування сили опору повітря, відповідно. Збільшення частоти обертання висівного диска з 11,5 до 26 об / хв, тобто в 2,26 рази призводить до подовження чутливої зони датчика за порівняльними характеристиками. Отже, при зазначеній висоті установки датчика, довжина чутливої зони (пластини) повинна становити не менше 30 мм без зміщення відносно точки викиду насіння з осередків для пневматичного висівного апарату.

2.5. Порівняння траєкторії польоту насіння для механічного та пневматичного висівних апаратів для насіння різних культур

Згідно з проведеними розрахунками, за умови однакової частоти обертання дисків, були отримані наступні дані: на відстані 50 мм від точки відриву мінімальне зміщення було отримано для пневматичного висівного апарату 10,3 мм і 12,5 мм для механічного висівного апарату. Відмінності траєкторії для насіння різних культур не є значущими.

Максимальне значення, згідно з розрахунками, становить 28,3 мм для механічного висівного апарату і 23,3 мм для пневматичного апарату.

Відмінності, отримані для різних типів висівних апаратів, обґрунтовані різним радіусом дисків (отворів на диску висівного апарату), а не на типі висівного апарату. Тобто траєкторія польоту насіння знаходиться в сильній залежності від окружної швидкості насіння в момент відриву насіння від диска

(отвори). Вплив розмірів і маси насіння є мінімальним, зважаючи на малу розміру насіння і щодо малій швидкості обертання.

Таким чином, датчик висіву насіння що розробляється є універсальним, тобто може застосовуватися для контролю роботи будь-яких типів висівних апаратів.

2.6. Дослідження електричних параметрів датчика висіву

Розроблюваний датчик висіву повинен бути універсальним, тобто підходити для визначення руху насіння різного розміру. Насіння люпину має найбільший розмір серед насіння просапних культур, діаметр насіння в поперечнику може доходити до 15 мм. Відповідно, відстань між обкладинками датчика має забезпечувати безперешкодний проліт насіння. Таким чином за необхідне мінімальна відстань між обкладинками було прийнято відстань рівне 20 мм.

Крім того, датчик повинен забезпечувати надійну реєстрацію руху насіння найменших розмірів, при обліку мінімальної відстані між пластинами.

Ємність конденсатора обчислюється за формулою:

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S/d \quad (2.7)$$

де C - ємність, ε_0 - електрична постійна, ε - діелектрична проникність середовища, S - площа конденсатора, d - відстань між обкладками конденсатора [4].

Достатньою умовою для надійного спрацьовування датчика є зміна ємності на 5%. Таким чином, при отриманих в ході розрахунків параметрах датчика: довжина чутливої зони 55 мм, з урахуванням подовження на 55% для забезпечення контролю, у випадках несвоєчасного випадання насіння з осередків, і відстані між пластин 20 мм, відповідно висота чутливої зони повинна складати 5 мм .

Зміна ємності, що відбувається при прольоті насіння моркви, як насіння найдрібніших розмірів, відповідно до формули (7) складає 0,008 пФ. За наведених параметрах зміна ємності становитиме 6,6%, що є достатнім для

надійної реєстрації прольоту насіння через датчик.

2.7 Розрахунок роздільної здатності датчика висіву

Для розрахунку роздільної здатності були взяті параметри пневматичного висівного апарату «Ритм». Кількість отворів на диску варіюється від 15 до 60, обороти диска - в межах від 11,5 до 26 об / хв.

У наведених умовах, час між прольотом двох насіння складе від 26 мс до 345 мс, в залежності від кількості отворів на диску і частоти обертання диска висівного апарату, таблиця 2.1.

Таблиця 2.1

Розрахунок роздільної здатності датчика

Кількість отворів в диску, шт.	Час між окремими насінинами з урахуванням розмірів насіння, м/с	
	11,5 об/хв	26 об/хв
15	345	141
30	171	64
60	84	26

2.8 Взаємозв'язок параметрів і режимів роботи висівних систем з показниками якості роботи

Інтервальне розміщення насіння в рядку і норма їх висіву визначаються за умови руху посівного агрегату.

$$t = \frac{\pi \cdot \varphi_0}{\varphi_d \cdot \omega_d}; \text{ або } t = \frac{L_r}{V_c} = \frac{L_r}{\omega_k \cdot R_k} \quad (2.8)$$

де L_r - горизонтальна проекція траєкторії руху колеса сівалки;

t - час руху;

V_c - швидкість руху;

φ_0 - кут між сусідніми отворами на диску;

R_k - радіус опорно-приводного колеса, $R_k = f \{P_k\}$;

P_k - тиск в шині опорно-приводного колеса;

ω_k - частота обертання колеса.

Кількість висіяних насінин складе:

$$Q = \frac{\pi \cdot \Phi_0}{\Phi_d \cdot \omega_d \cdot b_p} \cdot n [f(d_{отв}, P_B, C_1)] \quad (2.9)$$

де b_p - інтервал;

n_n - число насінин біля одного отвору;

$d_{отв}$ - діаметр отвору висівного диска;

P_M - тиск в пневматичній системі;

c_1 - конструктивний параметр знімних пристроїв [66].

Дійсна норма висіву насіння визначиться виразом:

$$H = \frac{Q}{L_r} = \frac{\frac{\pi \cdot \Phi_0 \cdot n_n [f(d_{отв}, P_B, C_1)]}{\Phi_d \cdot \omega_d \cdot b_p}}{(1-\delta) \cdot R_k \cdot \Phi_k + \cos(\Phi_k - 1)} \cdot \frac{1}{V_c} \quad (2.10)$$

$$H_1 = \frac{\pi \cdot \Phi_0 \cdot n_n [f(d_{отв}, P_B, C_1)] \cdot \omega_k \cdot R_k}{\Phi_d \cdot \omega_d \cdot b_p \cdot [(1-\delta) \cdot R_k \cdot \Phi_k + \cos(\Phi_k - 1)]} \quad (2.11)$$

Величина інтервального розміщення насіння виразиться рівнянням виду:

$$b \geq H \quad (2.12) \quad a \cdot B$$

$$b = \frac{\pi \cdot \Phi_0 \cdot n_n [f(d_{отв}, P_B, C_1)] \cdot \omega_k \cdot R_k}{\Phi_d \cdot \omega_d \cdot H \cdot [(1-\delta) \cdot R_k \cdot \Phi_k + \cos(\Phi_k - 1)]}$$

де H - кількість насіння, що висіваються на 1 м;

H_a - агротехнічно обґрунтована норма висіву;

B - схожість насіння;

Φ_k - кут повороту колеса за час t ;
 δ - буксування (просли)

зання) колеса сівалки.

(2.13)

Величина горизонтальної проекції траєкторії руху опорно-провідного колеса сівалки і шлях, пройдений сошником висівного апарату, не збігаються при відхиленнях прямолінійності ходу останніх при перевищенні граничних зазорів в сполученнях посівних секцій і чотирьохланкового механізму, тобто виникають звивисті коливальні рухи посівної секції [67-68].

Висновки

1. Зроблено аналіз технологічного процесу подачі насіння на насінневе ложе, в результаті чого були виділені окремі етапи даного процесу, і виявлена необхідність контролю процесу на певних етапах, з огляду на залежність наступних процесів на результатах попередніх.

2. Проведено математичний аналіз траєкторії руху насіння після відриву насіння від диска висівного апарату для механічних і пневматичних висівних апаратів.

3. Зроблено розрахунок електричних параметрів датчиків висіву насіння, а також розрахунок роздільної здатності датчика.

4. За результатами теоретичних досліджень отримано залежності, що дозволяють визначити розміри чутливої зони ємнісного датчика висіву. Згідно з усіма проведеними розрахунками для уніфікації датчиків висіву довжина чутливої зони датчика повинна бути не менше 55 мм і встановлюватися датчик повинен в порожнині сошника на відстані від точки відриву насіння від диска не менше 50 мм для виключення можливості механічного пошкодження датчика, а також його забивання ґрунтом.

3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою проведення експериментальних досліджень була перевірка основних теоретичних припущень і висновків, визначення оптимальних конструктивних і режимних параметрів розробленої системи контролю висіву.

Програмою експериментальних досліджень передбачалося виконання наступних етапів:

1. Провести лабораторні дослідження роботи системи контролю висіву насіння:

- здійснити вибір типу датчиків висіву та шляху;
- визначити працездатність датчиків висіву та шляхи залежно від їх місця розташування на висівному апараті і сівалці та технічних характеристик при висіві різного насіння.

- визначити тип і місце розташування елементів системи контролю, які реєструють і відображають параметри висіву.

2. Провести обробку результатів лабораторних досліджень.

3.1. Методика експлуатаційно-технологічної оцінки модернізованої сівалки

Експлуатаційно-технологічну оцінку сівалки проводили відповідно до ДСТУ 24055-2016 [42]. Оцінка експлуатаційних якостей (властивостей) сільськогосподарської машини, що характеризує здатність виконання технологічного процесу в межах агротехнічного терміну, з оптимальною продуктивністю, при дотриманні заданої зональної технології якості роботи і мінімальними втратами змінного часу. При проведенні експлуатаційно-технологічної оцінки модернізованої сівалки фіксуються: дата і місце випробувань, вид роботи і склад, найменування і марку випробуваної сівалки, умови випробувань, режим роботи сівалки, обсяг виконаної роботи,

витрата палива, витрата допоміжних матеріалів, кількість обслуговуючого персоналу, якість виконання технологічного процесу.

3.2. Методика техніко-економічної оцінки

Техніко-економічна ефективність застосування нового агрегату виконана на основі результатів проведених експериментальних досліджень відповідно до чинного стандарту ДСТУ 34393-2018.

Економічний ефект оцінюється відповідно до критерію - зниження експлуатаційних витрат. Експлуатаційні витрати при використанні базового і нового агрегату складаються з амортизаційних відрахувань, витрат на технічне обслуговування і ремонт, витрат на паливо-мастильні матеріали, оплати праці механізатора.

Висновки

Запропоновані методики дозволять здійснювати вибір типу датчиків висіву та шляху залежно від їх місця розташування на висівному апараті і сівалці та технічних характеристик при висіві різного насіння, визначити тип і місце розташування елементів системи контролю, які реєструють і відображають параметри висіву.

Провести обробку результатів лабораторних досліджень, та визначити економічний ефект від впровадження.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Результати лабораторних досліджень системи контролю висіву насіння

Система контролю, встановлена на просапних сівалках, призначена для контролю процесу висіву насіння в режимі реального часу, яка видає інформацію: постійно - норму висіву по кожному висівному апарату; в режимі перегляду - пройдений шлях, кількість оборотів приводного колеса і засіяну площу. Система інформує про фактичну норму висіву по кожному апарату шляхом виведення поточної інформації на монітор контролера. Подачею звукового і світлового сигналів інформує механізатора про технологічну або технічному відмову сівалки, відхилення швидкості руху від запрограмованих меж (5-12км/год) і місце порушення процесу висіву.

Система контролю висіву насіння складається з наступних елементів: емнісних датчиків висіву, встановлених в сошнику кожного висівного апарату, індуктивного датчика шляху, що монтується на консолі опорно-привідного колеса, контролера з мікропроцесором, що встановлюється в кабіні трактора, кабельної розводки по рамі сівалки, джгута проводів, що з'єднує сівалку з контролером.

Вибір типу місткості датчика висіву насіння обумовлений його високою роздільною здатністю, високою чутливістю і працездатністю в умовах сильної запиленості, нечутливістю до перешкод, що виникають при роботі посівного агрегату. Датчик виконаний з нержавіючої сталі. Чутлива зона датчика утворюється паралельно розташованими пластинами, між якими існує поле певного властивості. Насіння, пролітаючи через цю зону, призводить до порушення властивостей поля. Електронна схема обробляє цю зміну і з'являється електричний сигнал. Проліт насіння через датчик відображається короткочасним загоранням світлодіода. Живильні датчик проводи одночасно є інформаційними, що скорочує їх кількість. Датчики не реагують на пил, який осідає на них.

Система контролю висіву насіння оснащена безконтактним індуктивним датчиком шляху, який виконаний в пластиковому циліндричному корпусі. Електронна плата розташовується всередині циліндра і для забезпечення герметичності заливається епоксидним компаундом. З лицьового боку корпусу розташована чутлива зона, а на протилежному боці клеми світлодіод для візуального спостереження роботи датчика. Місце установки кронштейна датчика визначається з умови, що його торець повинен розташовуватися на траєкторії руху головки болта кріплення диска колеса сівалки. Відстань між торцями головки болта і датчика має бути в межах 1-4 мм. При такому розташуванні датчика забезпечується стабільне надходження електричних сигналів. Датчик не реагує на пил.

Контролер призначений для збору і виведення на монітор інформації про поточний стан процесу висіву насіння, інформації про запрограмованих мінімальної і максимальної швидкості руху посівного агрегату, продуктивності і кількості засіяної площі, а також у разі встановлення відповідних датчиків інформації про низьких оборотах вентилятора і мінімальному залишку насіння і добрив в бункерах. Він відстежує роботу всіх датчиків, встановлених на сівалці.

На пластмасовому корпусі контролера розташовані монітор і кнопки управління. Подання інформації на моніторі побудовано за принципом постійного розташування знакомісць за кількістю встановлених на сівалку висівних апаратів. Для кращого зорового сприйняття, кожному номеру висівного апарату завжди відповідає своє знакомісце. На корпусі розташована розетка, в яку вставляється плоска вилка кабелю. Контролер кріпиться на металевій підставці, яку закріплюють в кабіні трактора. Живлення системи контролю здійснюється від бортової мережі трактора напругою 12В.

Система контролю висіву насіння налаштовується за програмою, в яку закладаються наступні параметри: ширина захвату сівалки; діаметр приводного колеса; нижня і верхня межі норми висіву насіння; кількість головок шпильок кріплення диска приводного колеса; кількість обертів

приводного колеса; ввімкнення/вимкнення звукового сигналу відхилення норми висіву від заданих меж; ввімкнення/вимкнення світлової індикації каналів, де норма висіву знаходиться в заданих межах; ввімкнення/вимкнення звукового і світлового сигналу відхилення швидкості сівалки від заданих меж; ввімкнення/вимкнення автостарту; ввімкнення/вимкнення датчиків висіву.

При роботі сівалки необхідно дотримуватися такої швидкості, руху, при якій відсутній безперервний звуковий сигнал і візуальний сигнал про відхилення від заданої швидкості. Через певну кількість обертів колеса, відбувається зміна показань норми висіву. При роботі посівного агрегату в заданому режимі звуковий сигнал відсутній, а на моніторі змінюються показання норми висіву насіння в штуках на 1 метрі рядка.

Для забезпечення якісної і надійної роботи системи контролю висіву насіння просапних культур, необхідно встановлювати на сівалку її елементи відповідно до агротехнічними і ергономічних вимог.

Конструктивні та електричні параметри ємнісних датчиків висіву і місце розташування на сівалках були визначені при проведенні лабораторних досліджень. Для відображення достовірної інформації про норму висіву необхідно мінімізувати час прольоту насіння через чутливу зону датчика. При поведінці лабораторних досліджень використовувався експериментальний датчик (розділ 3), який передбачав зміну відстані між чутливими пластинами в зоні прольоту насіння і його місце розташування щодо висівного диска.

Нами визначено, що відстань між чутливими пластинами датчика при прольоті досліджуваних насіння культур не повинно перевищувати 20 мм. Середній час прольоту насіння різних культур (люпин, кукурудза, соя, драже цукрових буряків, соняшник, горох, драже моркви) від кута установки датчика (0; 22,5; 45 і 67,5°) становило від 8 до 23 мілісекунд. В результаті отримані гістограми тимчасових інтервалів імпульсів, що виникають при прольоті насіння через чутливу зону датчика.

Найменші значення були отримані при горизонтальній установці датчика щодо висівного диска (рис. 4.1).

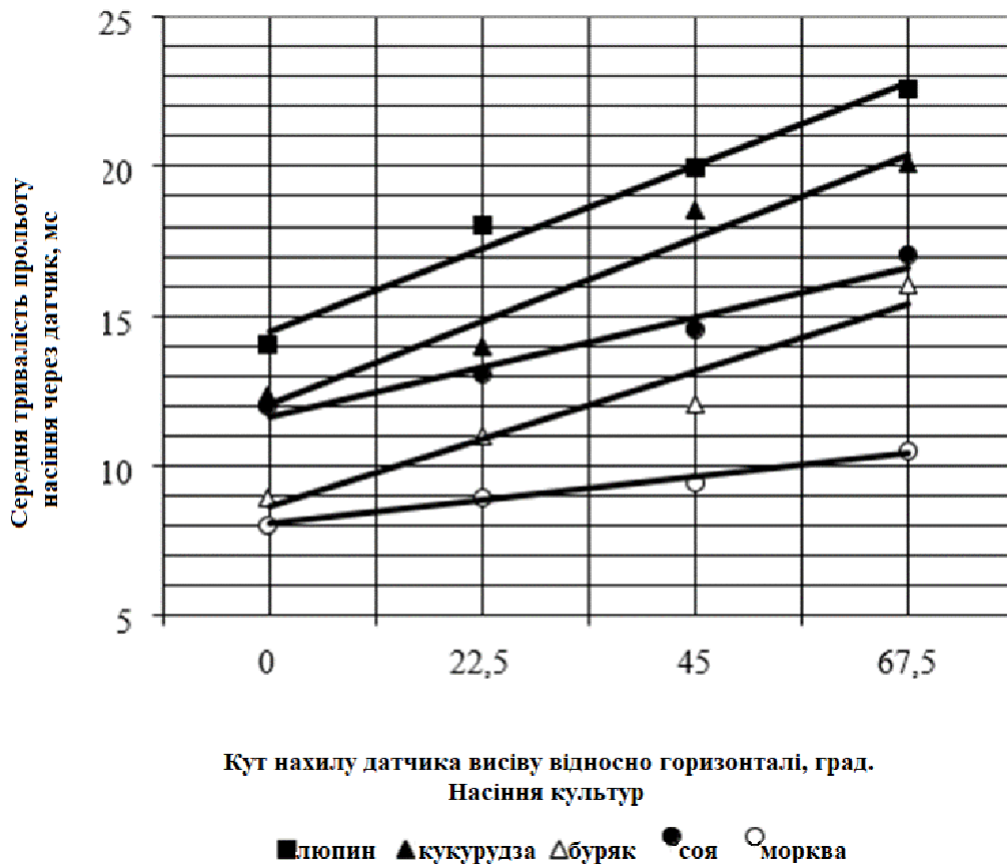
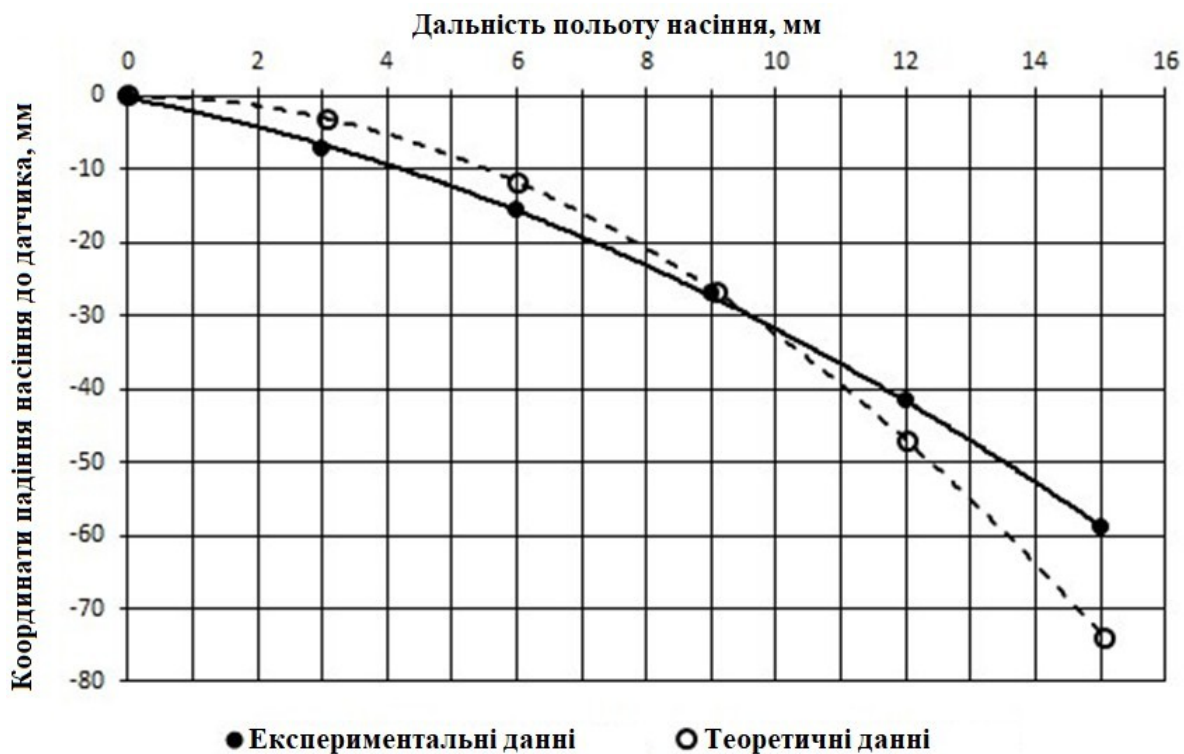


Рисунок 4.1 – Залежність середнього часу прольоту насіння різних культур через чутливу зону датчика в залежності від кута його установки

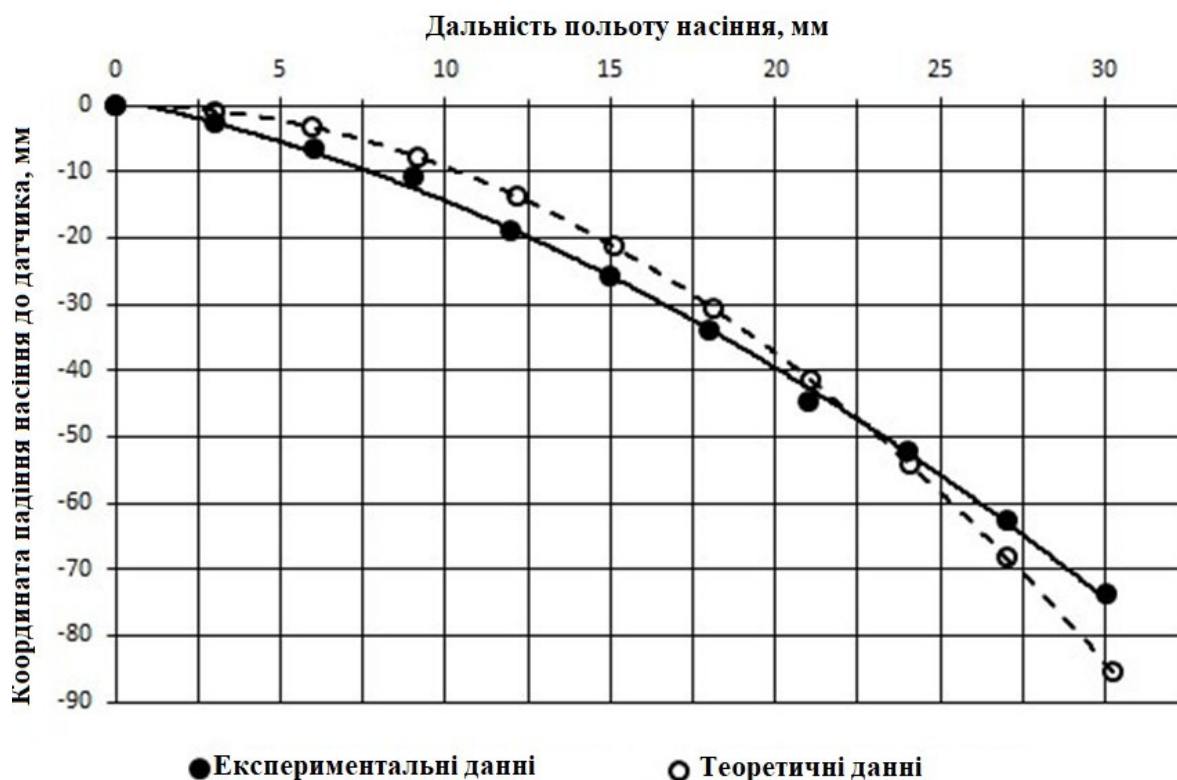
В ході досліджень були отримані експериментальні траєкторії польоту насіння сої, отримані за допомогою відео-зйомки на камеру GoPro HERO4 і оброблені за відомою методикою при фіксованій частоті обертання висівного диска і змінною висоті установки датчика щодо бічної поверхні диска.

На рис. 4.2 представлені графіки з накладеними розрахунковими траєкторіями, отриманими за результатами проведеного обчислювального експерименту за виразом (розділ 2), з урахуванням частоти обертання висівного диска 11,5-26 об / хв, і експериментальними траєкторіями польоту насіння сої. Збіжність розрахункових і експериментальних даних слід розцінювати як цілком задовільну; розбіжність становить не більше 6-8%, що знаходиться в межах похибки експерименту

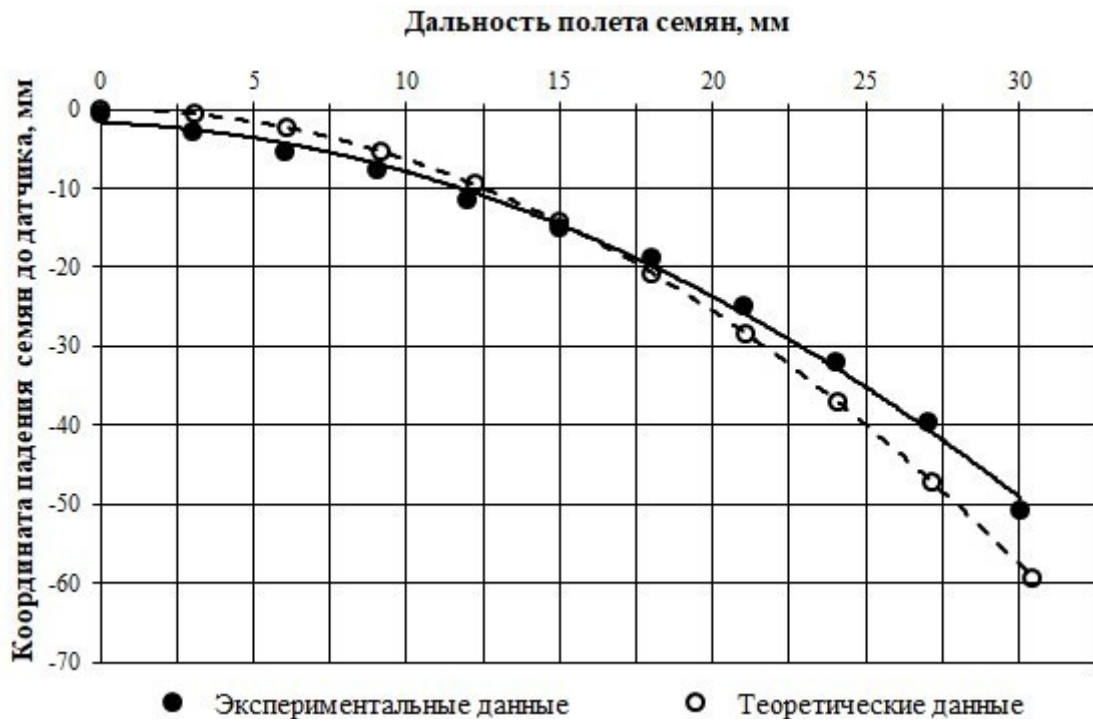


а) Частота обертання висівного апарату - 11,5 об / хв

Рисунок 4.2 (а) – Теоретичні та експериментальні траєкторії польоту насіння сої при різних умовах в залежності від висоти установки датчика при різній частоті обертання висівного диска



б) Частота обертання висівного апарату - 21,5 об / хв



в) Частота оборотания висівного апарату - 26 об / хв

Рисунок 4.2 (б) – Теоретичні та експериментальні траєкторії польоту насіння сої при різних умовах в залежності від висоти установки датчика при різній частоті оборотання висівного диска.

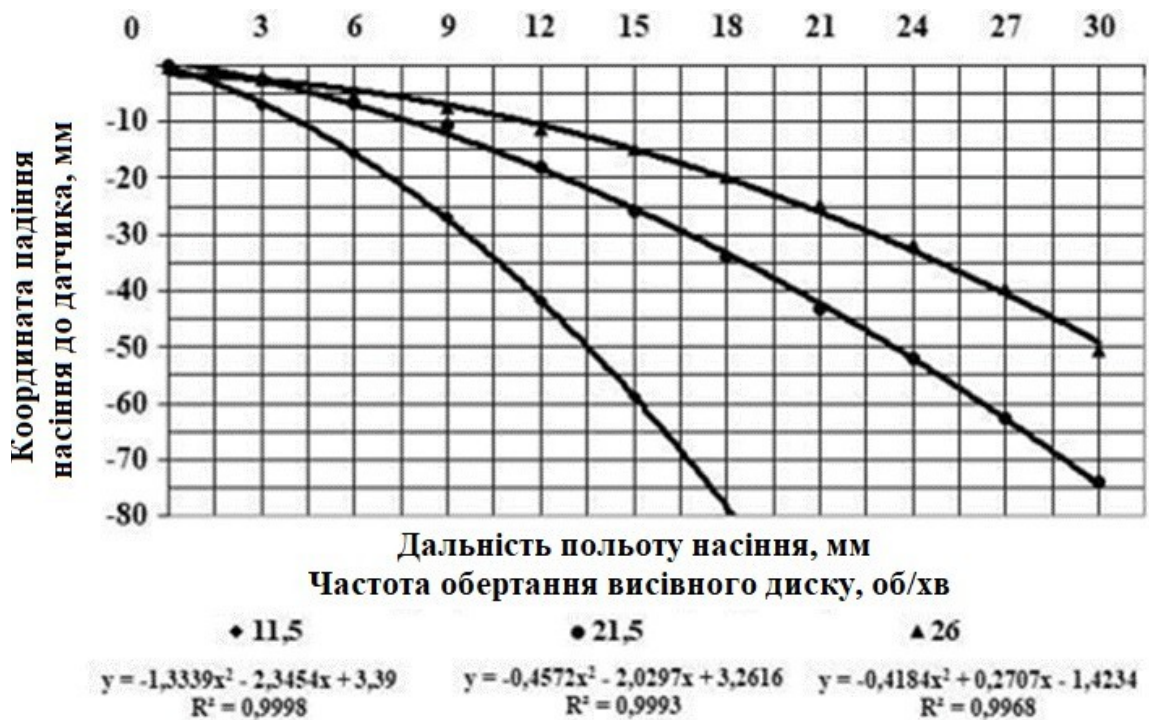


Рисунок 4.3 - Траєкторії польоту насіння сої при різних частотах оборотання висівного диска і висоті установки датчика

Аналізуючи, отримані експериментальним шляхом дані по визначенню траєкторії польоту насіння сої, що випали з осередків висівного диска, можна зробити висновок наступне. Проекції траєкторії польоту насіння, що визначають довжину чутливої зони датчика висіву, залежать від частоти обертання диска. Так, при установці датчика в сошнику на відстані від висівного диска в 50 мм, довжина його чутливої зони збільшується від 13 мм при частоті обертання висівного диска 11,5 об/хв до 30 мм при частоті обертання диска 26 об/хв. За агротехнічним вимогам швидкість посівного агрегату при використанні механічних сівалок повинна бути не більше 6 км/год, при якій, частота обертання висівного диска не повинна перевищувати 26 об/хв.

Тому довжина чутливої зони пластини датчика висіву повинна становити не менше 30 мм зі зміщенням щодо точки викиду насіння з осередків не менше 15 мм при установці датчика не нижче 50мм від точки відриву насіння від диска висівного апарату.

Для надійної реєстрації прольоту насіння, між чутливими пластинами і відсіювання помилкових спрацьовувань датчика на пил і вібрацію, необхідно забезпечити зміну ємності при прольоті насіння найменшої фракції (в нашому випадку моркви), мінімум на 5% від ємності конденсатора без збільшення напруги на ньому. Виходячи з цього, відстань між чутливими пластинами датчика висіву насіння повинна не перевищувати 20 мм.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що для надійного спрацювання індуктивного датчика шляху зазор між торцем датчика і головками болтів на диску експериментальної установки (приводного колеса сівалки), повинен бути не більше 2 мм.

4.2. Результати досліджень системи контролю висіву насіння у виробничих умовах

Була досліджена робота системи контролю висіву насіння, яка встановлюється на сімейство просапних сівалок вітчизняного виробництва

Основними складовими частинами всіх сівалок є рама, на яку встановлені пневматичні висівні апарати, вентилятор з приводом від вала відбору потужності трактора, туковисівні апарати АТ-2Р з сошниками, гідрофіковані маркери з механізмом підйому і опускання і транспортний пристрій. Навісні висівні апарати з ущільнювальними катками змонтовані на паралелограмній підвісці над копіюють колесом, встановленим перед сошником. Привід висівних апаратів здійснюється від опорно-приводних коліс сівалки. Налаштування норми висіву проводиться зміною передавального числа ланцюгової передачі на приводах за допомогою змінних зірочок.

Сівалки агрегувалися з просапними тракторами тягового класу 1,4.

На всіх обстежених сівалках встановлена електронна система контролю висіву насіння, функціями якої є збір інформації про роботу кожної посівної секції, відбір отриманих значень за встановленим критерієм, аналіз перебігу процесу, висновок на інформаційне табло контролера монітор (індикатор) поточної інформації про фактичну норму висіву, швидкості руху посівного агрегату, а також повідомлень про порушення процесу висіву і місця порушення. Система контролю налаштовується за допомогою спеціальних параметрів, які можуть бути легко запрограмовані з допомогою кнопок.

У комплект системи контролю входить індуктивний датчик шляху, джгут проводів по сівалці, кабельна розводка, що з'єднує сівалку з кабіною трактора, і призначена для передачі сигналу до контролера і відображення інформації норми висіву насіння, подачі звукового і світлового сигналу механізаторові, в разі технологічного відхилення від норми висіву насіння або технічної відмови сівалки, а також для подачі звукового і світлового сигналу в разі відхилення швидкості сівалки від заданих меж 5-12 км/ч. Харчування системи контролю здійснюється від бортової мережі трактора.

У порожнині сошника висівного апарату встановлюється датчик висіву насіння ємнісного типу (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 – Датчики висіву насіння ємнісного типу



Рисунок 4.5 – Індуктивний датчик шляху

Проліт насіння через датчик висіву відображається короткочасним загоранням світлодіода. Конструктивно датчики захищені від впливу навколишнього середовища. Провід, що живлять датчики, одночасно є інформаційними, що сприяє зменшенню кількості проводів, що прокладаються по рамі сівалки.

На консолі опорно-приводного колеса сівалки монтується індуктивний датчик шляху (рис. 4.5).

Контролер з мікропроцесором встановлюється в кабіні трактора, в

зручному для візуального спостереження механізатором місці, а кабель, що з'єднує сівалку з кабіною трактора, укладають таким чином, щоб він не піддавався механічній дії рухомих частин трактора і сівалки.

Зручність розташування контролера диктується тим, що оператор повинен мати можливість при мінімальному повороті голови періодично спостерігати за інформаційним табло контролера і вільно працювати з кнопками. Найбільша контрастність інформаційного табло спостерігається при погляді, спрямованому перпендикулярно до лицьової поверхні світлофільтру або трохи нижче.

Всі датчики і контролер захищені і від випадкової зміни полюсів напруги живлення. Датчики висіву, датчик шляху і кабельна розводка встановлюються на сівалки заводом-виробником.

Система контролю безпосередньо під час висіву насіння в польових умовах представляє оператору інформацію про двійників, пропусках, інтервалах між насінням і все результати записує в незалежну пам'ять.

При роботі сівалки, оснащеної системою контролю, необхідно дотримуватися такої швидкості руху посівного агрегату, при якій відсутня безперервний звуковий сигнал і візуальний сигнал про відхилення від запрограмованого інтервалу швидкості. Через певну кількість обертів колеса, відбувається зміна показань норми висіву. В ідеальному випадку звуковий сигнал відсутній, а на інформаційному табло буде відбуватися зміна показань норми висіву насіння в штуках на 1 м. шляху.

Посів насіння цукрових буряків 12-ти рядними і 24-х рядними сівалками, кукурудзи та соняшнику 16-ти рядними сівалками точного висіву оснащених системою контролю здійснювався за встановленими нормами висіву в межах запрограмованих інтервалів їх зміни, що наочно представлено на рис. 4.6.

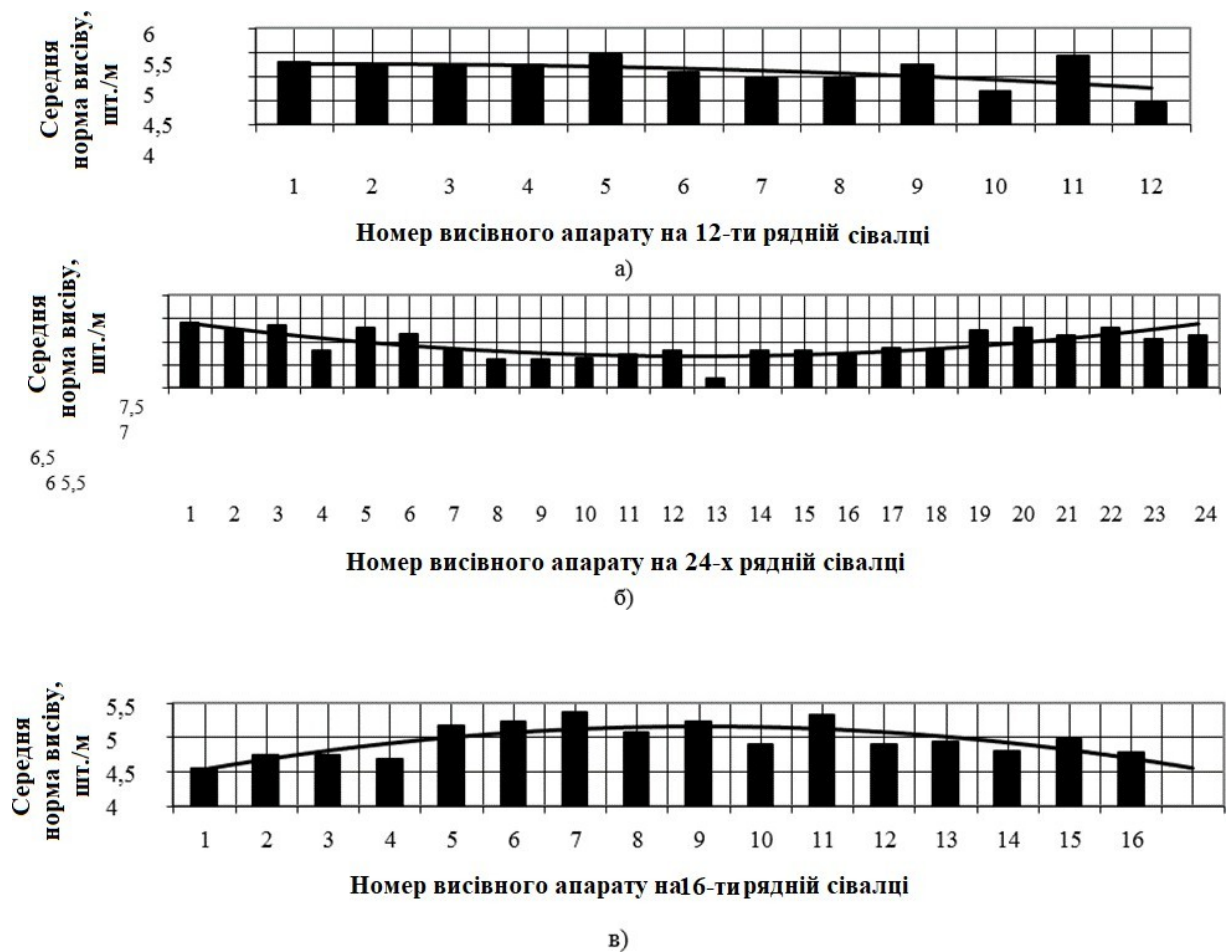


Рисунок 4.6 – Гістограми розподілу середніх значень кількості насіння на погонний метр, висіяних пневматичними 12-ти рядної сівалкою (а), 24-х рядної сівалкою (б), 16-ти рядної сівалкою (в)

4.3. Можливі відмови в роботі сівалок, оснащених системою контролю, причини їх виникнення і способи усунення

В процесі виробничого використання сівалок, обладнаних системою контролю висіву насіння, були виявлені технологічні і технічні відмови сівалки і системи контролю, наведені в таблиці 4.1, причини і способи, усунення, а також запропоновані заходи, що підвищують їх ефективність. Ці заходи були реалізовані при розробці вдосконаленої системи контролю висіву насіння просапних культур.

Таблиця 4.1.

Технологічні і технічні відмови системи контролю висіву насіння

Відмови	Причини	Способи усунення
Технологічні	Технологічні	Технологічні
1	2	3
Знижена норма висіву насіння у всіх каналах відображається на інформаційному табло	Низьке розрідження в пневматичній системі	Перевірити технічний стан вентилятора і натяг його ременя, цілісність і щільність кріплення шланга, що підводить вакуум до патрубків корпусу висівного апарату або вентилятора
Висвітлення на табло показань в одному або декількох каналах зниженої норми висіву	Засмічення отворів на висівають диску або забивання ґрунтом порожнини сошника	Очистити отвори на висівають диску від домішок і порожнину сошника від ґрунту
Висвітлення на табло показань в одному або декількох каналах підвищеної норми висіву	Неправильне положення знімача двійників	Відрегулювати положення знімача двійників
Помилкові спрацьовування індуктивного датчика шляху	Намагнічення через наявність металевих домішок на торці датчика	Очистити торець датчика від металевих домішок
Відсутність на інформаційному табло показань про норму висіву в одному або декількох висівних апаратах	Відсутність обертання висівного диска через обрив ланцюга приводу, відсутність розрідження в пневматичній системі через порушення цілісності шлангу або кріплення до патрубків, коротке замикання в ланцюзі датчиків висіву, зависання опорно провідних коліс сівалки над поверхнею ґрунту на деяких ділянках поля, переміщення окремих висівних апаратів широкозахватних	З'єднати (замінити) ланцюг, відновити цілісність (замінити) шлангу і закріпити його надійно до патрубка, перевірити електричний ланцюг датчика висіву, виконати якісно передпосівний обробіток ґрунту, встановити на сівалку слідозахисники

	агрегатів по слідах коліс трактора	
Поява на інформаційному табло написів про високу або низьку швидкість посівного агрегату	Підвищена або знижена рухомість посівного агрегату, прослизання опорно провідного колеса	Встановити Агротехнічні задану швидкість руху посівного агрегату, виключити прослизання опорно-приводного колеса
Нечітке зображення цифрової інформації на дисплеї	Незручно встановлений контролер в кабіні трактора, відсутність сонцезахисного козирка на його корпусі і дворядне розташування індикаторів	Змінити місце розташування елемента роз'ємного з'єднання і встановити екран під потрібним кутом
Нездійсненність запуску в роботу посівного агрегату і СКВН	Низька кваліфікації обслуговуючого персоналу і незнання порядку настройки і програмування режимів роботи посівного агрегату	Запросити в господарство розробників системи для виконання пусконаладжувальних робіт і усунення відмов
Вихід з ладу індуктивного датчика шляху	Корозія контактів від попадання вологи в корпус	Встановити корпусу датчика на консолі відповідно до вимог до монтажу
Попаданню проводів в приводний ланцюг висівного апарату	Низьке розташування електричного роз'єму на рамі сівалки, порушення заводської укладання проводів	Змінити місце розташування електричного роз'єму на рамі сівалки, відновити заводську укладання проводів,
Неправильне визначення показників висіву і некоректне оновлення даних	Нерівномірність зазорів між торцем датчика та шпильками на диску приводного колеса	Відрегулювати зазор між торцем датчика та шпильками на диску приводного колеса;
Вихід з ладу ємнісного датчика висіву	Відсутність захисту від механічних пошкоджень при великій деформації щік сошника	Встановити між щоками сошника розпірної втулки
Вихід з ладу СКВН	Порушення правил підключення контролера до електричної мережі трактора	Підключити харчування СКВН до клем акумулятора, згідно керівництву по експлуатації

Зокрема, деформація пластин ємнісних датчиків висіву насіння приводила до їх відмови, який можна виключити установкою між пластинами розпорної втулки.

При посіві спостерігалися помилкові спрацьовування індуктивного датчика шляху від намагнічування при наявності металевих домішок на торці датчика.

Неправильне визначення показників висіву і некоректне оновлення даних відбувалися через неправильну установку зазорів між торцем індуктивного датчика шляху і головками болтів на диску приводного колеса, які усуваються регулюванням зазорів. Відмова датчика шляху виникало через неправильну його установки на консолі опорно-провідного колеса і корозії його контактів внаслідок попадання вологи в корпус датчика.

Недоліками контролера були відсутність цифрової інформації на моніторі про швидкість посівного агрегату і його поточної продуктивності, а також в разі короткого замикання в ланцюзі датчиків висіву. Нечітке зображення цифрової інформації на моніторі є наслідком незручною установки контролера в кабіні трактора, відсутності сонцезахисного козирка на його корпусі і дворядного розташування індикаторів. З точки зору ергономіки робочого місця механізатора цей недолік усувається установкою контролера в нижній частині лобового скла трактора під необхідним кутом нахилу. Крім того, заміна кольору світлодіодів і дворядного розташування індикаторів на моніторі контролера на однорядне дозволить знизити зорову напругу.

Виявлені недоліки при використанні експериментальної системи контролю висіву насіння, її обслуговуванні були усунені в процесі вдосконалення.

Так, для надійної роботи датчика висіву розміщується між щоками сошника в разі їх деформації пропонується встановлювати між щоками розпірну втулку.

Розроблено програму для ЕОМ, на вдосконалену систему контролю висіву насіння передбачає її роботу в автоматичному режимі, самоконтроль датчиків

висіву та шляхи, контроль напруги бортової мережі трактора, меню російською мовою замість символів, висновок на екран контролера норми висіву насіння різнокольоровими світлодіодами з однорядним розташуванням, швидкості і продуктивності посівного агрегату.

Удосконалення конструктивних елементів системи виконано введенням блоку збору і обробки інформації (БСОІ) на 16-ти і 24-х рядних сівалках, додаткової установкою датчиків частоти обертання валу вентилятора і мінімального рівня насіння (добрив) в одному бункері; зміною конструкції датчика висіву і схеми монтажу датчика шляху.

Для налагодження вдосконаленої програми і елементів системи контролю висіву насіння був виготовлений стенд. На 3D-принтері виготовлений макетний зразок корпусу контролера, за яким розроблено технічну документацію на виготовлення штампа для виготовлення пластмасових корпусів.

Висновки

Аналітично й експериментально визначені параметри датчиків висіву та шляху, а також їх місце розташування на сівалці. Відстань між чутливими пластинами ємнісного датчика висіву насіння повинна не перевищувати 20 мм, а їх довжина - не менше 30 мм при їх установці щодо висівного диска на відстані не менше 50 мм від точки відриву насіння від диска висівного апарату.

Для надійного спрацювання індуктивного датчика шляху за результатами дослідження було визначено зазор між торцем датчика і головками болтів на диску експериментальної установки (приводного колеса сівалки), який повинен бути не більше 2 мм. Контролер повинен бути виконаний і встановлений в кабіні трактора в зручному для зорового сприйняття місці.

Використання вдосконаленої системи контролю висіву насіння на просапних сівалках дозволить значно скоротити витрати праці, підвищити якість роботи і продуктивність посівних агрегатів за рахунок постійного інформування механізатора про процес посіву, технологічних і технічних відмовах сівалок, а

також підвищити ефективність контролю оператором процесу посіву. Використання цих сівалок дозволить провести посівні роботи в оптимальні агротехнічні терміни, що призведе до збільшення врожайності вирощуваних культур.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Організація охорони праці

Відповідальність за стан охорони праці в господарстві несе інженер з охорони праці, завданнями якого є:

- організовувати умови праці працівників на кожному робочому місці в суворій відповідності до вимог нормативних актів з охорони праці;
- забезпечити функціонування систем управління охороною праці;
- створити службу охорони праці;
- здійснює заходи, запропоновані комісією з розслідування нещасного випадку;
- організовує навчання, перевірку знань та сприяє безпечним умовам праці в господарстві.

За стан охорони праці відповідають спеціалісти та керівники відділень і бригад.

При прийомі на роботу та для працюючих працівників головними спеціалістами, інженерами та безпосередніми керівниками проводяться відповідні види нарад (ознайомчі, первинні, повторні, позапланові, цільові). Для цих цілей особа, яка їх проводить, веде журнали спеціальних інструктажів. Основну нормативну загальногосподарську документацію з питань охорони праці веде і зберігає інженер.

5.2 Стан охорони праці

На сьогоднішній день стан охорони праці в господарстві в цілому задовільний. Проте були виявлені наступні недоліки:

- недостатній рівень знань працівників підприємства з питань безпеки та гігієни праці;
- неповне забезпечення працівників засобами індивідуального захисту та спецодягом;

- відсутність куточків безпеки на виробничих ділянках.

5.3 Аналіз виробничого травматизму та причини нещасних випадків

Аналіз та розрахунок травматизму на виробництві на підприємстві здійснюється за формами статистичної звітності за підсумками року. Всю документацію, пов'язану з розбором виробничого травматизму, веде інженер з охорони праці. Згідно з даними аналізу, основними факторами травматизму на виробництві є недотримання правил, незадовільна організація окремих видів робіт, невикористання засобів індивідуального захисту через їх відсутність або несправний стан та використання не за призначенням.

Для аналізу виробничого травматизму на підприємстві використовується статистичний метод, який визначає кількісні показники, що характеризують загальний рівень виробничого травматизму. Для цього використовуються відносні значення як показники частоти, тяжкості та втрат.

Розрахунок ведеться за класичними методиками.

5.4 Заходи безпеки при використанні модернізованої конструкції

Вимоги до посівних комплексів

- пускати та зупиняти висівний агрегат оператор може лише за сигналом помічника. Сигнали попередньо обумовлені;
- почистити машину спеціальним засобом (очисником);
- при роботі необхідно звертати увагу на обертові частини, не перебувати поблизу головної карданної передачі;
- максимальний кут при транспортуванні машини зі швидкістю до 4 км/год не повинен перевищувати 10°;
- при повороті необхідно знизити швидкість до другої нижчої (3 - 4 км/год) передачі.

Заборонено:

- встановлювати висівні пристрої та виконувати будь-які роботи під машиною, не встановлюючи надійних підставок у місцях підйому;
- перебування під піднятим автомобілем;
- працювати на агрегаті з нещільним кріпленням вузлів і деталей;
- чистити робочі органи машини при включеному енергетичному засобі

5.5 Заходи по покращенню умов праці

Допускаються до роботи на тракторах і сільськогосподарських машинах особи, які мають відповідне посвідчення водія, знають правила безпеки цих машин і повинні пройти навчання.

Всі роботи повинні проводитися під наглядом відповідальної особи з адміністративно-технічного персоналу.

Залежно від виду операцій, які будуть виконуватися, оператори повинні бути оснащені необхідними засобами індивідуального захисту та спеціальним одягом.

Перед початком роботи переконайтеся в справності установки, перевірте наявність і міцність кріплення всіх захисних щитків і огорож.

Приєднувати машини до трактора слід у повній відповідності до вказівок заводської інструкції.

Перед початком руху переконайтеся, що між трактором і машиною немає людей, спрацьовує сигналізація.

Вимоги до транспортних засобів

Через залізничні переїзди, тунелі, мости, дамби (якщо дозволяють габарити та вантажопідйомність) слід проїжджати лише зі зниженою швидкістю, дотримуючись основних заходів обережності.

Під час транспортування не допускається перебування людей на причепах і навісних причепах.

Під час спусків і підйомів необхідно дотримуватися порядку переходів, рухатися на зниженій передачі з увімкненим зчепленням.

Пристрій необхідно перевести в транспортне положення і транспортувати відповідно до заводської інструкції.

Відповідно до вимог стандарту на тракторах встановлюється не менше двох фар, які забезпечують освітлення дороги в темну пору доби в складних умовах. Для освітлення причепів і причіпного транспорту трактори обладнані додатковими фарами.

Суттєво покращено умови праці на тракторах нових марок: знижено рівень шуму до максимально допустимого рівня, зменшено зусилля на органи керування, вібрації сидіння та рівень запиленості, покращено видимість та наближено мікрокліматичні параметри до гігієнічних вимог; у виробництві кабін використовуються сучасні досягнення ергономіки.

Заходи протидії пожежам

На машинах, де встановлено вогнегасник, він повинен бути завжди справним і своєчасно заправленим.

Вогнетривкі ліхтарі використовують у нічний час при поломці електрообладнання.

Щоб запобігти короткому замиканню проводів, щодня перевіряють електроустановку, вона не повинна бути забруднена маслом і пилом.

Необхідно переконатися, що ущільнення колектора не пропускає вихлопні гази. Недостатня герметичність може призвести до спалаху легкозаймистих матеріалів. Час від часу варто очищати вихлопну трубу від нагару.

Забороняється використовувати відкритий вогонь під час заправки автомобілів, поблизу складських приміщень, резервуарів і резервуарів рідкими азотними добривами або нафтопродуктами, допускати витік палива в місцях приєднання паливопроводів, відкриваючи бочки, прикладаючи зусилля до пробки металевими предметами.

Також пропонуються такі заходи щодо покращення умов праці працівників господарств:

- здійснення навчання працівників і керівників виробничих підрозділів та перевірки знань з питань безпеки та гігієни праці з обов'язковим складанням протоколів за результатами роботи перевіркової комісії;

- повна документація з питань охорони праці на підприємстві;
- повне забезпечення працівників засобами індивідуального захисту та спецодягом;
- створення куточків безпеки на виробничих ділянках;
- підвищення якості контролю з питань охорони праці.

Висновки

На підприємстві робота в галузі охорони праці проводиться відповідно до нормативних документів. Виявлені порушення є незначними і легко усуваються.

Використання модернізованої машини суттєво не вплинуло на стан охорони праці при проведенні посівів.

6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Розрахунки по техніко-економічних показниках необхідні для порівняння еталонних і проектних результатів, щоб визначити термін окупності модернізованої машини та оцінити економічний ефект, що очікується від її впровадження. Польові випробування проводились з висівом насіння соняшника пшениці на площі 0,4 га. Два виготовлених висівних апарата встановлювались на експериментальній сівалці. Економічний ефект від впровадження в експлуатацію нової пневматичної сівалки для точного висіву зернових колосових культур визначався в порівнянні з серійною сівалкою

Таблиця 6.1

Вихідні дані до техніко-економічних розрахунків.

№	Показник	Розмірність	Технологічна машина	
			серійна	модернізована
1	Річний обсяг роботи	га	100	100
2	Продуктивність	га/год.	3,4	3,7
3	Витрати ПММ	кг/га	8,7	8,7
4	Вартість:	грн.		
	- трактора		800000	800000
	- сівалки		350000	357000
	- всього		1150000	1157000
5	Кількість обслуговуючого персоналу	чол.	1	1

У відповідності з виданим на дипломний проект завданням:

Кількість нормо-годин у обсязі робіт:

Базовий

Проект

$$K_{\text{нг}} = \frac{W_{\text{сез}}}{W_{\text{год}}} = \frac{100}{3,4} = 29,41 \text{ год.} \quad K_{\text{нг}} = \frac{W_{\text{сез}}}{W_{\text{год}}} = \frac{100}{3,7} = 27,03 \text{ год.} \quad (6.1)$$

Витрати праці:

Базовий

Проект

$$V_{\Pi} = K_{\text{нГ}} \cdot n = 29,41 \cdot 1 = 29,41 \text{ год.} \quad V_{\Pi} = K_{\text{нГ}} \cdot n = 27,03 \cdot 1 = 27,03 \text{ год.}$$

(6.2)

де: $n = 1$ – кількість обслуговуючого персоналу.

6.1. Експлуатаційні витрати

Експлуатаційні витрати складаються з основної і додаткової заробітної плати, амортизаційних відрахувань, витрат на паливо-мастильні матеріали, витрат на технічне обслуговування, ремонт і зберігання агрегату.

6.1.1. Основна і додаткова заробітна плата

Основна і додаткова заробітна плата з нарахуваннями:

$$\Pi = \frac{C_T}{W_{\text{год}}} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (6.3)$$

де: C_T – тарифна ставка, грн/год;

$K_1 = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує додаткову оплату (20%);

$K_2 = 1,375$ – коефіцієнт, що враховує нарахування на соціальні заходи:

Базовий

Проект

$$\Pi = \frac{20}{3,4} \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,375 = 24,26 \text{ грн./га} \quad \Pi = \frac{50}{3,7} \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,375 = 22,30 \text{ грн./га}$$

6.1.2. Амортизаційні відрахування.

Норма амортизації для трактора – 15%, сівалки – 12%.

Нормативне завантаження на рік:

- трактора – 1000 год;

- сівалки – 250 год.

Базовий

Проект

$$\text{Трактор: } A_{\text{ТР}} = \frac{800000 \cdot 15}{100 \cdot 1000 \cdot 3,4} = 35,29 \text{ грн/га}$$

$$A_{\text{ТР}} = \frac{800000 \cdot 15}{100 \cdot 1000 \cdot 3,7} = 32,43 \text{ грн/га}$$

$$\text{Сівалка: } A_{\text{М}} = \frac{350000 \cdot 12}{100 \cdot 250 \cdot 3,4} = 49,41 \text{ грн/га}$$

$$A_{\text{М}} = \frac{357000 \cdot 12}{100 \cdot 250 \cdot 3,7} = 46,31 \text{ грн/га}$$

$$\text{Всього: } A_{\Sigma} = 35,29 + 49,41 = 84,7 \text{ грн/га}$$

$$A_{\Sigma} = 32,43 + 46,31 = 78,74 \text{ грн/га}$$

6.1.3. Витрати на ПММ

Базовий

$$V_{\text{ПММ}} = C_{\text{ПММ}} \cdot V_{\text{ПММ}} = 60 \cdot 8,7 = 522 \text{ грн./га}$$

Проект

$$V_{\text{ПММ}} = C_{\text{ПММ}} \cdot V_{\text{ПММ}} = 60 \cdot 8,7 = 522 \text{ грн./га}$$

6.1.4. Витрати на ТО, ТР, зберігання

Норма витрат на ТР, ТО і зберігання:

$\alpha_{\text{ТО}} = 11\%$ - норма відрахувань на ТО;

$\alpha_3 = 0,2\%$ - норма відрахувань на зберігання;

$\alpha_{\text{ТР}} = 8\%$ - норма відрахувань на ремонт.

Витрати на ТО, ТР і зберігання:

$$B = \frac{V_{\text{Б}} \cdot (\alpha_{\text{ТО}} + \alpha_3 + \alpha_{\text{ТР}})}{100 \cdot K_{\text{НГ}} \cdot W_{\text{ГОД}}}, \quad (6.4)$$

де: $V_{\text{Б}}$ – балансова вартість, грн;

Базовий

$$\text{Трактор: } V_{\text{ТР}} = \frac{800000 \cdot (11 + 8 + 0,2)}{100 \cdot 29,41 \cdot 3,4} = 1536,09 \text{ грн./га}$$

Проект

$$V_{TP} = \frac{800000 \cdot (11+8+0,2)}{100 \cdot 27,03 \cdot 3,7} = 1535,83 \text{ грн./га}$$

Базовий

Сівалка:
$$V_M = \frac{350000 \cdot (8+0,2)}{100 \cdot 29,41 \cdot 3,4} = 287,01 \text{ грн/га}$$

Проект

$$V_M = \frac{357000 \cdot (8+0,2)}{100 \cdot 29,41 \cdot 3,7} = 292,70 \text{ грн/га}$$

Всього по агрегатам:

$$V = V_{TP} + V_M = 1536,09 + 287,01 = 1823,1 \text{ грн/га}$$

$$V = V_{TP} + V_M = 1535,83 + 292,70 = 1828,53 \text{ грн/га}$$

Всього експлуатаційних витрат на 1 га:

Базовий

$$E_B = 24,26 + 84,7 + 522 + 1823,1 = 2454,06 \text{ грн/га}$$

Проект

$$E_B = 22,30 + 78,74 + 522 + 1828,53 = 2451,57 \text{ грн/га}$$

Експлуатаційні витрати на весь обсяг роботи:

Базовий

Проект

$$E_{\Sigma} = E_B \cdot W_{CE3} = 2454,06 \cdot 100 = 245406 \text{ грн.} \quad E_{\Sigma} = 2451,57 \cdot 100 = 245157 \text{ грн.}$$

Капітальні вкладення на 1 га:

Базовий

Проект

$$\text{Трактор: } K_B = \frac{B_B}{W_{CEЗ}} = \frac{800000}{100} = 8000 \text{ грн/га}$$

$$K_B = \frac{800000}{100} = 8000 \text{ грн/га}$$

$$\text{Сівалка: } K_B = \frac{350000}{100} = 3500 \text{ грн/га}$$

$$K_B = \frac{357000}{100} = 3570$$

грн/га

Всього:

Базовий

Проект

$$K_B = 8000 + 3500 = 11500 \text{ грн/га}$$

$$K_B = 8000 + 3570 = 11570 \text{ грн/га}$$

Приведені витрати на 1га:

$$P_B = E_B + 0,15 \cdot K_B$$

Базовий

$$P_B = 2454,06 + 0,15 \cdot 11500 = 4179,06 \text{ грн./га}$$

Проект

$$P_B = 2451,57 + 0,15 \cdot 11570 = 4187,07 \text{ грн./га}$$

Таблиця 6.2

Техніко-економічні показники впроваджуваного проекту

№	ПОКАЗНИКИ	Варіант	
		базовий	проект
1	Вид роботи	сівба	
2	Обсяг роботи, га	100	100
3	Склад агрегата: трактор сівалка	МТЗ-82 СУПН-8	МТЗ -82 СУПН-8М
4	Продуктивність, га/год	3,4	3,7
5	Кількість нормо-годин у обсязі робіт	29,41	27,03
6	Кількість обслуговуючого персоналу -трактористів-машиністів -допоміжних працівників	1 -	1 -
7	Витрати праці, люд. · год/га	29,41	27,03
8	Тарифний розряд роботи	V	V
9	Тарифна ставка, грн/год	50	50
10	Норма витрати пального, кг/га	8,7	8,7
11	Балансова вартість, грн:		

-	трактора	800000	800000
-	машини	350000	357000
12	Комплексна ціна ПММ, грн/кг	60	60
13	Експлуатаційні витрати, грн/га у тому числі:	2454,06	2451,57
	а. Основна і додаткова заробітна плата	50	50
	б. Амортизаційні відрахування:		
	-трактор	35,29	32,43
	-машина	49,41	46,31
	-всього	84,7	78,74
	в. Витрати на ПММ	522	522
	г. Витрати на ТО, ПР, зберігання,		
	-трактора	1536,09	1535,83
	-машина	287,01	292,70
	-всього	1823,1	1828,53
14	Капітальні вкладення, грн/га	11500	11570
15	Приведені затрати, грн/га	4179,06	4187,07
	На весь обсяг роботи, грн	417906	418707
16	Річний економічний ефект, грн		320800
17	Строк окупності, років		0,1

Приведені витрати на весь обсяг робіт:

Базовий

$$P_{\text{вс}} = P_{\text{в}} \cdot W_{\text{сез}} = 4179,06 \cdot 100 = 417906 \text{ грн.}$$

Проект

$$P_{\text{вс}} = P_{\text{в}} \cdot W_{\text{сез}} = 4187,07 \cdot 100 = 418707 \text{ грн.}$$

$$N = \frac{357000 - 350000}{320800} = 0,1$$

Згідно експериментальних досліджень врожайність соняшника при використанні модернізованої сівалки точного висіву підвищилась на 3,2 ц/га. Враховуючи вартість соняшника (10000 грн./т) визначаємо вартість додаткової продукції, що вирощується на площі 100 га (320000 грн.).

Висновки

Аналіз отриманих даних показує, що застосування модернізованої сівалки

точного висіву підвищує врожайність соняшника на 3,2 ц/га, дозволяє отримати економічний ефект в розмірі 320800 грн. за рахунок зменшення норми висіву насіння, рівномірного розміщення насіння на площі поля та приросту врожайності. Як показують розрахунки, спроектований агрегат має хорошу ефективність і його можна рекомендувати до впровадження.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. На підставі виконаного аналізу елементів системи контролю висіву насіння просапних сівалок, визначено що для контролю процесу висіву насіння необхідно застосовувати датчики ємнісного типу, які мають низьку чутливістю до пилу, високої перешкодозахисною і високою надійністю. Для контролю швидкості руху посівного агрегату доцільно застосовувати індуктивні датчики шляхи, що володіють високою надійністю, високою чутливістю і спрацьовуванням.

2. За результатами теоретичних досліджень:

- визначені координати траєкторії польоту насіння з моменту їх відриву від диска висівного апарату до чутливих пластин датчика висіву при його установці на відстані 50 мм від точки відриву: зміщення траєкторії у пневматичного апарату варіювало в межах 10,3-23,3 мм, а механічного висівного апарату 12,5-28,3 мм, при частоті обертання диска від 11,5 до 26 об / хв;

- визначені параметри чутливої зони датчика висіву довжина не менше 30 мм, висота не менше 5 мм і відстань між пластинами не менше 20 мм.

- для забезпечення надійної реєстрації насіння просапних культур датчиком висіву було визначено зміна ємності датчика, що виникає при прольоті насіння через чутливу зону датчика, що становить 0,008 пФ для насіння моркви, як насіння найменшого розміру, що становить 6,6% від ємності датчика;

3. В результаті експериментальних досліджень підтверджено теоретичні положення щодо функціонування вдосконаленої системи контролю висіву насіння та встановлені оптимальні параметри і режими роботи:

- для надійної фіксації прольоту насіння різних культур через датчик висіву при його установці на відстані 50 мм від точки відриву насіння від диска висівного апарату оптимальні розміри його чутливої зони повинні мати наступні значення: довжина пластин не менше 50 мм для надійної реєстрації насіння несвоєчасно випали з отворів висівного диска, їх висота не менше 5

мм, а відстань між пластинами не повинно перевищувати 20 мм. При цьому зміщення насіння від точки відриву насіння від диска висівного апарату на відстані 50 мм варіювала від 13 мм до 30 мм при частоті обертання диска від 11,5 об / хв до 26 об / хв;

- середня тривалість прольоту досліджуваних насіння культур в залежності від кута установки щодо горизонталі в межах від 0° до 67,5° варіювала від 8 до 23 мс;

- для надійного спрацювання індуктивного датчика шляху зазор між його торцем і головками болтів на диску опорно-приводного колеса не повинен перевищувати 2 мм.

4. В результаті досліджень були складені рекомендації по експлуатації систем контролю у виробництві, включаючи рекомендації по установці чутливих елементів системи і блоків індикації.

Використання вдосконаленої системи контролю висіву насіння на просапних сівалках дозволить значно скоротити витрати праці, підвищити якість роботи і продуктивність посівних агрегатів за рахунок постійного інформування механізатора про процес посіву, технологічних і технічних відмовах сівалок, а також підвищити ефективність контролю оператором процесу посіву. Відповідно до проведених досліджень, використання систем контролю висіву насіння дозволяє знизити відхилення агротехнічного кроку посіву від фактичного середнього інтервалу розподілу рослин в рядку з 16,0% до 9,3%, пропуски посіву з 15,6% до 9,3% і підвищити точність посіву з 66,0% до 85,2%.

5. На підприємстві робота в галузі охорони праці проводиться відповідно до нормативних документів. Виявлені порушення є незначними і легко усуваються.

Використання модернізованої машини суттєво не вплинуло на стан охорони праці при проведенні посівів.

6. Аналіз отриманих даних показує, що застосування модернізованої сівалки точного висіву підвищує врожайність соняшника на 3,2 ц/га, дозволяє отримати економічний ефект в розмірі 320800 грн. за рахунок зменшення

норми висіву насіння, рівномірного розміщення насіння на площі поля та приросту врожайності. Як показують розрахунки, спроектований агрегат має хорошу ефективність і його можна рекомендувати до впровадження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kaletnik H., Adamchuk V., Bulgakov V., Kyurchev V., Nadykto V. Main problems in the field of agricultural mechanization in Ukraine. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2016. № 3. С. 6-12.
2. Яропуд В. М., Твердохліб І. В., Спирін А. В. Машина та обладнання і їх використання в рослинництві: навч. посіб. Вінниця: ВНАУ, 2020. 401 с.
3. Солоня О.В. Застосування сучасних мехатронних систем та роботизованих комплексів у АПК України. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2020. № 3 (110). С. 71–76.
4. Солоня О.В., Ковбаса В.П., Обґрунтування параметрів робочих органів для укладання внутрішньогрунтових зрошувачів: Монографія. Вінниця, 2020 – 155 с.
5. Калетнік Г.М., Черниш О.М., Березовий М.Г. Використання сучасних методів механіки для сільського господарства. Збірник наукових праць ВНАУ: Вінниця, 2011.Т1 (65). С.8-18.
6. Стаднік М. І. Оптимізація функціональної структури системи автоматизації однорідних об'єктів. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2016. № 3. С. 62–65.
7. Видмиш А.А., Возняк О.М., Замрій М.А. Розробка способу визначення максимально досяжного коефіцієнта підсилення (передачі) KmS. Вібрації в техніці та технологіях. 2020. № 3(98). С. 25-31.
8. Середа Л.П., Труханська О.О., Швець Л.В. Розробка і дослідження ґрунтообробної машини для технології strip-till з активними фрезерними робочими органами. Вібрації в техніці та технологіях. 2019. №4(95). С. 65-71.
9. Каленська С.М., Єрмакова Л.М., Паламарчук В.Д., Поліщук І.С., Поліщук М.П. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві: Підручник. Вінниця: ФОП Рогальська І.О. 2015. 448 с.
10. Komakha V., Tokarchuk O., Zamrii M. Investigation of the mechanical and technological properties of fodder crops to determine the parameters of the

working bodies of mower conditioners and optimal modes of their operation. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2020. №1(108). С. 14-21.

11. Aliev E.B., Bandura V.M., Pryshliak V.M., Yaropud V.M., Trukhanska O.O. Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. INMATEH - Agricultural Engineering. 2018. Vol. 54, No1. P.95-104.

12. Твердохліб І.В., Борисюк Д.В., Захарчук С.А., Петрович Є.В. Перспективи розвитку машин для обробітку ґрунту. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2015. №2 (90) С. 5-9.

13. Замрій М.А. Застосування сучасних мехатронних систем при посіві просапних культур. Збірник студентських наукових праць "Сільськогосподарські науки" 2021 № 1(1) С. 177-183.

14. Spirin A., Polievoda Y., Tverdokhlib I. Increasing the reliability of agricultural machinery work. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Технічні науки». Випуск 198 «Механізація сільськогосподарського виробництва», 2019. С 86–90.

15. Алієв Е.Б., Яропуд В.М. Визначення фракційного складу насіння за фотозображенням Вібрації в техніці та технологіях 2019. 3 (94). С. 102–109.

16. Ольшанський В. П., Сліпченко М. В., Спольнік О. І., Замрій М. А. Вільні коливання осцилятора за наявності квадратичного в'язкого опору та сухого тертя. Вібрації в техніці та технологіях. 2020. № 2(97). С. 33-40.

17. Ярошенко Л.В., Купчук І.М., Замрій М.А. Розробка конструкції та дослідження технологічних параметрів машин для вібраційного відцентрово-планетарної обробки. Вібрації в техніці та технологіях. 2020. № 2(97). С. 41-50.

18. Омелянов О.М., Замрій М.А. Напрямки підвищення роботи вібраційних машин. Вібрації в техніці та технологіях. 2020. № 4(99). С. 49-58.

19. Kupchuk I., Tokarchuk O., Hontar V., Zamrii M. The kinematic analysis of a vibration crusher for feed grain. Вібрації в техніці та технологіях. 2021. № 1(100). С. 32-38.

20. Омелянов О.М., Полевода Ю.А., Замрій М.А. Перспективи Застосування вібрації при різанні матеріалів. Вібрації в техніці та технологіях. 2021. № 1(100). С. 100-110.

21. Возняк О.М., Штуць А.А., Замрій М.А. Розробка мікропроцесорного контролера для вимірювання лінійного переміщення рухомих органів виконавчих механізмів вібраційних машин. Вібрації в техніці та технологіях. 2021. № 2(101). С. 71-84.

22. Алієв Е.Б., Яропуд В.М. Техніко–технологічне забезпечення прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшника. Вібрації в техніці та технологіях. 2019. №1 (92). С. 40–47.

23. 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.

24. Ковбаса В. П. Пришляк В.М., Яроцук Р. О. Визначення впливу сільськогосподарської техніки на ґрунт. Вібрації в техніці та технологіях. 2019. №4 (95). С. 76–81.

25. Середа Л.П., Купчук І.М., Ковальчук Д.А., Замрій М.А. Розробка пристрою для фрезерного обробітку ґрунту з одночасним внесенням добрив. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2021. №1(112). С. 152-161.

26. Мазур В.А., Гончарук І.В., Дідур І.М., Панцирева Г.В., Телекало Н.В., Купчук І.М. Інноваційні аспекти технологій вирощування, зберігання і переробки зернобобових культур. Вінниця : Нілан-ЛТД. 180 с.

27. Купчук І. М., Зубар І. В., Онищук Ю. В., Дідик А. М., Замрій М. А. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма «Harvesting Cereals Optimization v. 1.2» («Harvesting cereals v. 1.2») : Свідоцтво № 103729 від 05.04.2021. Авторське право і суміжні права. Офіційний бюлетень № 64, 2021.

28. Солоня О. В., Купчук І.М. Практикум з теорії механізмів і машин: навч. посіб. Вінниця: ВНАУ, ТОВ “Друк”. 2020. 252 с.

29. Солоня О. В., Купчук І.М. Теорія механізмів і машин. Курсове проектування. Навчальний посібник. 2-ге вид., допов. і перероб. Вінниця: ВНАУ, 2019. 249 с.
30. Спірін А.В., Твердохліб І.В., Замрій М.А. Визначення режиму функціонування відцентрово-гравітаційного сепаратора теркового пристрою. Вібрації в техніці та технологіях. 2021. № 3(102). С.55-62.
31. Серода Л.П., Руткевич В.С., Зінєв М.В. Study of the mathematical model of hydraulic drives segment-finger mower unit. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2018. № 1 (100). С. 111–123.
32. Горячкин В.П. Собрание сочинений: в 3-х томах. Москва: Колос. 1965. 720с.
33. Сивак Р.І., Деревенько І.А. Короткий курс теоретичної механіки: ТОВ «Вінницька міська друкарня», 2016. – 200 с.
34. Булгаков В.М., Г.М. Калетнік, Черниш О.М. Теоретичне дослідження збурених гармонійних коливань у вібраційних приводах машин Вібрації в техніці та технологіях. №2 (82) 2016. С.5–9/
35. Булгаков В.М., В.П. Горобей Вдосконалення конструкції комбінованого дводисково-анкерного сошник. Вісник аграрної науки 2016. № 4. С. 57–64.
36. Адамчук В.В., Булгаков В.М., Горобей В.П. Актуальні аспекти розвитку механізації дослідних робіт в рослинництві. Вісник аграрної науки. 2016. № 10. С. 5–12.
37. Грушецький С.М., Яропуд В.М., Токарчук О.А., Організація експлуатації та технічного обслуговування транспортних засобів і машин в Україні і за кордоном. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2021. №1(112). С. 126 –136.
38. Пазюк В.М., Токарчук О.А., Токарчук Д.М. Сучасний стан проблеми енергоефективності в світі та в Україні. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2021. №1(112). С. 88 –99.

39. Труханська О.О. Підвищення якісних показників процесу сівби просапних культур. Вібрації в техніці та технологіях. 2021. №2(101). С. 124–134.

40. Яропуд В.М., Дацюк Д.А. Шляхи удосконалення висівного апарату селекційної сівалки дрібно насінневих культур. Вібрації в техніці та технологіях. 2021. №1(100). С. 152–162.

41. Возняк О. М., Штуць А. А., Замрій М. А. Система управління колекторним двигуном. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2021.№ 2 (113). С. 57-66.

42. Аніскевич Л. В. Системи керування нормами внесення матеріалів в технологіях точного землеробства: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05. 05. 11

/ Національний аграрний ун-т. К., 2005. 36 с.

43. Войтюк Д. Г., Кравчук В. І., Кошовий А. А., Баранов Г. Л. Технічні проблеми “Точного землеробства” в Україні. Вісник аграрної науки. 2000. № 9.

44. Броварець О. О. Дистанційне керування технологічними операціями роботизованих систем у точному землеробстві. Механізація та електрифікація с.г. Глеваха, 2008. Вип. 92. С. 530–535.

45. Надикто В. GPS – навігатор на сівбі просапних. The Ukrainian Farmer. 2010. № 3. С. 94–95.

ДОДАТКИ