

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет автоматики та енергетики

Кафедра «Автоматизації виробничих процесів»

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою АВП

к.т.н., доцент

_____ Олександр ДІДИК

« ____ » _____ 2021 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА за ступенем вищої освіти «Магістр»

на тему:

*«Автоматизація керування змінними нормами висіву в умовах
точного землеробства»*

*«Automation of control of variable sowing rates in the conditions of
precision agriculture»*

Виконав студент VI курсу групи *АК-20М*
спеціальності 151 ”Автоматизація та
комп’ютерно-інтегровані технології”

_____ Андрій БОКІЙ

« ____ » _____ 2021 р.

Керівник проекту

Зав. кафедрою АВП

д.т.н., професор

_____ Сергій ОСАДЧИЙ

« ____ » _____ 2021 р.

Рецензент

Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ

к.т.н., професор

_____ Петро ПЛЄШКОВ

« ____ » _____ 2021 р.

м. Кропивницький 2021 р.

____ ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ____
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення _____ автоматики та енергетики _____

Кафедра, циклова комісія _____ автоматизації виробничих процесів _____

Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ магістр _____

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність _151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АВП

д. т. н., професор

_____ Сергій Осадчий

“ ”

_____ 2021 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Бокію Андрію Романовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Автоматизація керування змінними нормами висіву в умовах точного землеробства

керівник проекту (роботи) Осадчий Сергій Іванович д.т.н., професор,

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 02 ” серпень 2021 р.
№ 36-13

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 04.12.2021 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Ємнісний, оптичний та скануючий датчики; Системи контролю висіву; Висівна система сівалки СЗ-3,6

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Огляд існуючих засобів реєстрації та контролю норми висіву. Визначення дозвільної здатності ємнісного, оптичного та оптико-електронного скануючого датчиків. Розгляд шляхів вдосконалення системи реєстрації та ідентифікації зернового потоку. Дослідження факторів впливу на зміну норми висіву. Створення адаптивної системи автоматизованого керування змінними нормами висіву при сівбі за технологією точного землеробства для сіваки СЗ-3.6.

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	3
		№ докум.				

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Принцип роботи оптико-електронного скануючого датчика. Вузол синхронізації, попередньої обробки та передачі даних. Зміна щільності розподілу зернового потоку при висіванні насіння пшениці за 1-м та 2-м наповненням бункера. Відносне відхилення фактичного значення щільності розподілу зернового потоку від заданого. Перехідні процеси зміни щільності зернового потоку. Математична модель законів регулювання. Структурна схема адаптивної САК процесу висіву. Функціональна схема адаптивної САК щільністю розподілу зернового потоку на базі сівалки СЗ-3,6. Алгоритм роботи адаптивної самоналагоджувальної САК нормою висіву. Загальна структура САК процесом висіву при точному землеробстві. Функціональна схема роботи автоматизованої системи керування процесом висіву.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Валентина ЗУБЕНКО		
Техніко-економічний	Григорій САВЕЛЕНКО		

7. Дата видачі завдання 02.09.21 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Аналіз існуючих датчиків зернового потоку та пошук шляхів		
	їх вдосконалення. Опис електричної схеми датчика	24.09.20	
2.	Дослідження факторів впливу на зміну щільності зернового потоку		
		30.09.20	
3.	Визначення керованого та куруючого параметру регулювання		
		17.10.20	
4.	Визначення закону регулювання	28.10.20	
5.	Побудова схеми адаптивної системи автоматичного керування сталою нормою висіву		
		04.11.20	
6.	Розробка схеми адаптивної САК змінними нормами висіву за технологією точного землеробства		
		16.11.20	
7.	Охорона праці	23.11.20	
8.	Техніко-економічні розрахунки	25.11.20	
9.	Оформлення пояснювальної записки	04.12.20	

Студент

Андрій БОКІЙ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	5
		№ докум.				

Керівник проекту (роботи) _____ Сергій ОСАДЧИЙ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В магістерській роботі проведено огляд існуючих засобів реєстрації зернового потоку, автоматизованих систем контролю та керування процесом висіву при традиційному та точному землеробстві. Визначено дозвільну здатність об'ємних та оптико-електронного скануючого датчика при реєстрації зерна в потоці, що формується катушковим висівним апаратом. Розглянуто шляхи вдосконалення системи реєстрації та ідентифікації зернового потоку. Досліджено характер впливу керуючих та збурюючих факторів на зміну щільності розподілу зернового потоку при роботі сівалки в польових умовах. Визначено закон регулювання і шляхи створення адаптивної системи автоматизованого керування сталою нормою висіву при традиційному землеробстві та змінними нормами висіву при сівбі за технологією точного землеробства для сіваки СЗ-3.6.

Ключові слова: **датчик, зерновий потік, система автоматизованого керування, катушковий висівний апарат.**

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	6
		№ докум.				

SUMMARY

In the master's thesis a review of existing means of registration of grain flow, automated systems of control and management of the sowing process in traditional and precision farming was carried out. The resolving ability of volumetric and opto-electronic scanning sensor at registration of grain in the flow, formed by the reel sowing machine, was determined. The ways of improvement of the grain flow registration and identification system are reviewed. The character of controlling and disturbing factors influence on the grain flow density variation during the work of seeders under field conditions has been researched. The control law and the ways for creation of adaptive automated control system of constant seeding rate under traditional agriculture and variable seeding rate under the precision farming technology for SZ-3.6 seeding machines have been determined.

Key words: sensor, grain flow, automated control system, reel seeding machine.

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	7
		№ докум.				

ВСТУП

Актуальність проблеми. Україна є однією з найбільших виробників зерна в Європі і входить в ТОП-10 країн виробників зерна в світі. За офіційними даними Міністерства аграрної політики та продовольства України, прогнозований урожай зернових та зернобобових культур у 2021-2022 році становитиме близько 75,8 млн тонн. Експорт може становити близько 56 млн тонн зерна. Зерновий сектор України є стратегічною галуззю економіки держави, оскільки збільшення обсягів ВВП в аграрному секторі забезпечує вдвічі більший ефект порівняно з іншими сферами господарства. В той же час всупереч усталеним твердженням про високу родючість українських ґрунтів, урожайність значно поступається провідним країнам.

Відомо, що сівба є одним із основних технологічних процесів в рослинництві, яка сильно впливає на врожайність культур. Вона повинна виконуватися якісно і в стислі терміни. В останні десятиліття в агросекторі почали впроваджуватися технології точного землеробства, забезпечення яких потребує створення систем автоматизованого керування змінними нормами висіву. Самий низький рівень автоматизації контролю та регулювання якості сівби на сьогодні мають зернові сівалки через відсутність надійних і точних засобів ідентифікації формуємого ними зернового потоку. Це стримує розвиток автоматизованих систем керування процесом висіву і приводить до значних збитків у галузі. Тому розробка засобів автоматизації процесів керування висівом зернових культур і засобів ідентифікації потоку насіння є актуальною задачею. Особливо актуально ця проблема постала на шляху впровадження технології точного землеробства при проведенні місцевизначеного посіву зернових культур.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності сівби забезпеченням щільності розподілу зернин вздовж рядка висіву у відповідності з приписаним значенням в умовах дії збурюючих

факторів шляхом створення системи автоматизації керування змінними нормами висіву в умовах точного землеробства.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні завдання:

- визначити можливості ємнісного, оптичного та двохкоординатного скануючого датчиків зернового потоку;
- дослідити характер впливу регулювальних та збурюючих факторів на зміну щільності розподілу зернового потоку при роботі сівалки в польових умовах для визначення закону регулювання;
- визначити керовану величину об'єкту управління - висівної системи зернової сівалки з катушковим механізмом: інтенсивність чи щільність розподілу зернового потоку та керуючі фактори її зміни;
- дослідити і визначити закон регулювання керованої величини;
- розробити систему автоматизації керування змінними нормами висіву в умовах точного землеробства для сіваки СЗ-3.6.

Об'єкт дослідження – процес формування зернового потоку висівною системою зернової сівалки СЗ-3.6.

Предмет дослідження – методи реєстрації зернового потоку, засоби автоматичного контролю і керування процесом висіву зернових культур сівалками при місці визначеному землеробстві.

Методи дослідження. У роботі використані основи теорії автоматичного управління, теорії цифрових систем автоматичного управління, адаптивних систем автоматичного управління і математичного моделювання при обґрунтуванні та розробці систем автоматизації процесів керування висівом зернових культур.

Наукові результати:

- досліджено характер впливу керуючих та збурюючих факторів на зміну щільності розподілу зернового потоку при роботі сівалки в польових умовах;

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	9
		№ докум.				

- визначено в якості керованої величини висівної системи: щільність розподілу зернового потоку на рівні дна борозни та її керуючий фактор;

- визначено закон регулювання і шляхи створення адаптивної системи автоматизації керування змінними нормами висіву в умовах точного землеробства для сіваки СЗ-3.6.

Практичне значення. Сучасний рівень мікроелектроніки та доступність комп'ютерної техніки дають можливість створити більш досконалі системи контролю та ідентифікації зернового потоку, розробити гнучкі автоматизовані системи контролю та регулювання процесу висіву, які дозволяють скоротити терміни проведення посівних робіт, підвищити якість сівби, зекономити вартісний посівний матеріал, поліпшити культуру виробництва. Практична реалізація запропонованого проекту САК змінними нормами висіву, виготовлення і встановлення їх на зернових сівалках дозволить підвищити якість сівби, що приведе до підвищення урожайності.

1 ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ ЗМІННИМИ НОРМАМИ ВИСІВУ В УМОВАХ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

1.1. Огляд існуючих систем автоматизованого керування висівом зернових культур

Ефективність роботи висівних систем зернових сівалок оцінюють за якістю розподілу зерна вздовж рядка висіву та терміном проведення посівних робіт. Якщо останні можуть бути скорочені за рахунок підвищення робочих швидкостей і ширини захоплення посівних агрегатів, то поліпшення якості посіву, навіть при найоптимальніших конструкціях висівних апаратів сівалок, має межі вдосконалення, пов'язані з розкидом конструктивних параметрів сівалок, фізико-механічних властивостей насіння та складністю їх обліку в процесі висіву. Резервом підвищення якості розподілу зерна вздовж рядка висіву при роботі висівних систем зернових сівалок є застосування пристроїв контролю та автоматизації керування процесом висіву. Наявність великого парку зернових сівалок з механічними висівними апаратами і тенденція їх використання в найближчому майбутньому, робить актуальним застосування в їх складі автоматизованих систем керування та контролю.

Автоматизація технологічних процесів виробництва зернових культур значно покращує їх техніко-економічні показники. Проблемами автоматизації цих процесів в різні роки займалися Л. В. Аніскевич, І. Ф. Бородін, П. М. Василенко, Д. Г. Войтюк, Л. І. Гром-Мазнічевський, І. І. Мартиненко, Г. Р. Носов, Л. В. Погорілий, І. О. Фурман, В. К. Хорошенков, та ін. Увага насамперед приділяється автоматизації основних технологічних процесів - ґрунтообробці, висіву [1-5], збиранню врожаю, післязбиральній обробці зерна. Значне місце автоматика посідає і в точному землеробстві [6], яке інтенсивно розвивається з кінця 90-х років ХХ століття. Оскільки сімба в технологічних процесах виробництва сільгосппродукції займає провідне

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	6
		№ докум.				

місце, то важливою проблемою є автоматизація процесу висіву зернових культур, від якого в найбільшій мірі залежать кінцеві результати. Серед зернових сівалок на теренах СНД і в Україні вагоме місце займає сівалка типу СЗ–3,6А та її модифікації.

В автоматизацію процесу висіву зернових культур та створення автоматизованих систем ідентифікації зернового потоку значний вклад внесли Г. М. Бузенков, Е. А. Біляєв, В. Г. Демидов, С. В. Кардашевский, М. Г. Кінкер, Г. Т. Клейнман, В. В. Логін, Л. М. Макаревич, М. Д. Пархоменко, Л. Г. Сакало та ін. Визначаючою в даному процесі є рівномірність розподілу зернин вздовж рядка висіву. Складні умови формування і руху зернових потоків у сівалках даного призначення не дозволили ефективно розв'язати задачі автоматичного управління формуванням заданої щільності розподілу зернового потоку вздовж рядка висіву, що тривалий час приводить до значних збитків. Оскільки така задача практично не ставилася і не розв'язувалася, вона є новою.

Однією з найбільш важливих задач при автоматизації процесів керування висівом зернових культур сівалками є підтримання в них на певному рівні зернового потоку, оскільки саме він визначає рівномірність розподілу окремих зернин вздовж рядка. Необхідний зерновий потік неможливо забезпечити без його ідентифікації. Автоматичне регулювання зернового потоку лише з врахуванням однієї рівномірності висіву забезпечує збільшення врожайності до 4%. З врахуванням того, що реально не витримуються і середні показники висіву, збільшення врожайності може перевищувати 10%.

Розглянемо як же розв'язувалися задачі автоматизації процесів керування висівом зернових культур сівалками і який стан їх вирішення в теперішній час.

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	7
		№ докум.				

До основних критеріїв оцінки якості сівби серійних, імпортованих та дослідних зразків посівних машин відносять забезпечення заданої норми висіву та якість розподілу посівного матеріалу в рядках [7, 8]. Згідно з агротехнічними вимогами [8, 9, 10] для кожного виду зернової культури встановлена своя норма висіву Q кг/га, яка є базовим показником, залежним від регіону, якості ґрунту, сорту насіння тощо.

Забезпечення заданої норми висіву є одним із основних факторів формування оптимальної густоти рослин і спрощення процесу післяпосівної обробки полів та внесення добрив. Саме завдяки науково обґрунтованій кількості висіяного насіння на одиницю площі, внесених добрив та пестицидів можна розраховувати на високий урожай та економію посівного матеріалу.

Виробництво зернової продукції нині здійснюється за традиційним землеробством, однак вже зароджуються основи нового підходу – точного землеробства. При традиційному землеробстві кожне поле або його окремі частини розглядаються як однорідні за агробіологічними властивостями середовища. Тому окрему зернову культуру необхідно висаджувати в рядок з однаковими відстанями між зернинами.

У сівалках, зокрема в СЗ – 3,6, відносно зернового потоку реалізовано принцип розімкнутого керування. Не дивлячись на очевидні вади, цей принцип використовують достатньо широко [11, 12]. Тут стабільність заданої норми висіву підтримують конструкцією самої сівалки. В ній вал розподільчих механізмів висівних апаратів через ланцюгову передачу з'єднаний з опорно-приводним колесом. При цьому частота обертання вала висівних апаратів прямо пропорційна частоті обертання опорно-приводного колеса сівалки. Тому при кожній зміні швидкості руху сівалки пропорційно змінюється і частота обертання розподільчих механізмів висівних апаратів, що приводить

до зміни інтенсивності формуємого ними зернового потоку і стабілізації встановленої норми висіву. Однак перед початком сівби сівалка потребує налагодження та регулювання на задану норму висіву.

Об'ємний принцип визначення норми висіву використаний в пристроях, запатентованих в США, ФРГ, Великобританії. Інші пристрої механічної дії дозволяють визначати норму висіву шляхом безпосереднього підрахунку кількості насіння [11, 12]. Згодом створюється цілий ряд приладів та пристосувань для перетворення потоку насіння в електричні імпульси [13, 14], які обробляються на класифікаторах [15-19].

Найбільш розвиненим методом контролю якості сівби при традиційному землеробстві є операційний контроль технології процесу висіву. Для зернових сівалок він передбачає контроль наявності посівного матеріалу в бункері, обертання приводних механізмів, моменти забивання сошників та інтенсивності зернового потоку [1-4]. Крім означеного, в сівалках, призначених для посіву просапних культур, передбачається також контроль норми висіву та наявності просівів [13, 14].

Аналіз патентної та науково-технічної літератури показав, що в пристроях ідентифікації зернового потоку використовують майже весь спектр існуючих типів датчиків, розділених на класи за методом реєстрації та принципом дії [13]. Контактні датчики (електромеханічні, електромагнітні, п'єзоелектричні, тензоелектричні та акустичні) спрацьовують при наявності механічного впливу. Їх встановлюють на шляху руху насіння. Швидкодія цих датчиків знаходиться в межах 50 ÷ 100 Гц [23, 31, 43].

Існуючі безконтактні датчики (оптичні – видимої, інфрачервоної та ультрафіолетової частин спектру, радіаційні, ультразвукові, ємнісні та індуктивні) мають високу швидкодію - до 200 – 300 Гц [13, 14, 22-24] і не

впливають на характер реєстрованого зернового потоку.

Описані датчики можна класифікувати ще і за призначенням та сферою використання. Наприклад, можна виділити групи датчиків, призначених для контролю наявності насіння в потоці, норми висіву,

кількісних та якісних показників досліджуваного зернового потоку.

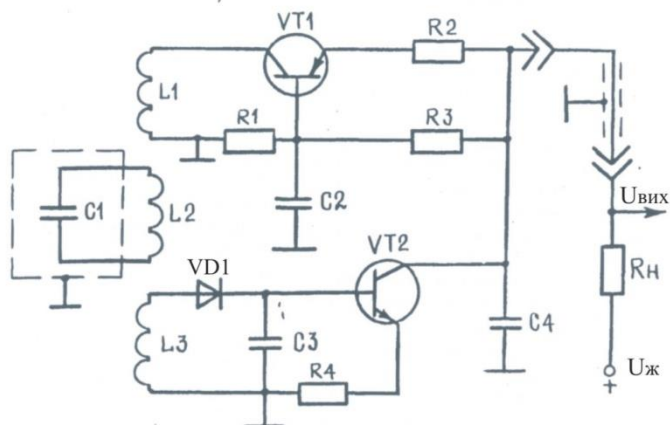


Рис. 1.1. Принципова схема високочастотного ємнісного датчика моменту забивання сошників або насіннєспроводів при роботі сівалки в польових умовах [28]. Для розв'язання поставленої задачі використовують як контактні, так і безконтактні типи датчиків.

Датчики контролю наявності зернового потоку реєструють хоча б частину рухомих об'єктів в потоці за певний проміжок часу з метою своєчасного визначення

Датчики контролю норми висіву фіксують весь потік насіння, сформований висівними апаратами сівалок точного висіву, з метою визначення кількісного або вагового показника обсягу висіяного насіння за одиницю часу, пройденого шляху або засіяної площі. Для цього, звичайно, використовують ємнісні та прості за конструкцією оптичні датчики.

Відомі двокоординатні фотоелектричні реєстратори, які визначають об'єм зареєстрованого потоку насіння або щільність потоку насіння, що перетинає площину реєстрації датчика. [13, 14].

Кіровоградським інститутом сільськогосподарського машинобудування, Полтавським сільгоспінститутом та СП «Деметра» Кіровоградського НПО «ЛАН» розроблена серія високочастотних ємнісних датчиків контролю висіву насіння (рис. 1.1) [20], які широко

використовуються на сівалках і даний час. При пролітанні насінини через площину контролю ємнісного датчика, в результаті зміни діелектричної проникності, змінюється ємність конденсатора C_1 , що приводить до зміни частоти генерації і формування імпульсу реєстрації.

В Кіровоградському інституті сільськогосподарського машинобудування розроблено пристрій реєстрації насіння в потоці (рис. 1.2), істотною особливістю роботи якого є імітація або фізичне моделювання паралельного світлового потоку по всій площині контролю (розміром 50x100 мм), у вигляді паралельних, спрямованих уздовж координат X, Y , дискретних та таких, що не перетинаються, променів [14, 21]. Це забезпечує формування не викривленого зображення проєкцій реєстрованих об'єктів.

Циклічне рядкове сканування дискретних променів вздовж координат X, Y забезпечує формування інформаційних рядків проєкцій реєстрованих насінин у вигляді $n+m$ розрядного двійкового коду, що знімається з виходів підсилювачів - формувачів. Двійковий код рядкового зображення проєкцій реєстрованих насінин надходить в блок розпізнавання зображень, який працює за відомими принципами логічного розпізнавання образів

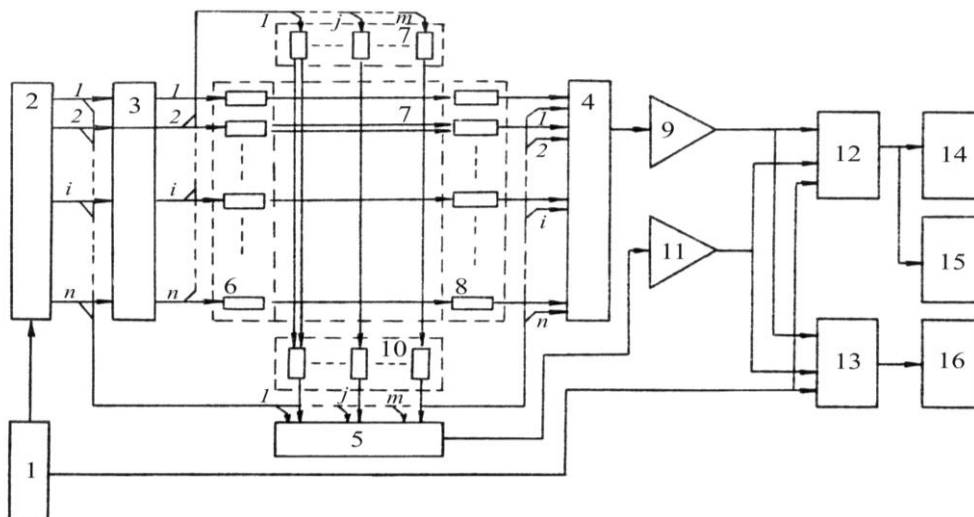


Рис. 1.2. Функціональна схема пристрою реєстрації насіння в потоці:

1 – вузол синхронізації; 2 – лічильник дешифратор; 3, 4, 5 – ключі; 6, 7 – лінійки дискретних випромінювачів; 8, 10 – фотоприймачі; 9, 11 – підсилювачі – формувачі; 12 – блок розпізнавання зображень; 13 – блок спряження; 14 – лічильник – індикатор; 15 – другий реєстратор; 16 – ЕОМ

За цим принципом побудована робота скануючого двокоординатного оптикоелектронного датчика ПДС-02 [14, 21], який може реєструвати до 7 одночасно перетинаючих площину контролю датчика насінин, щільність яких досягає 350 шт/сек. Мінімальний розмір поперечного перетину реєструємого насіння – 2мм. Цей датчик можна використовувати в якості лічильника насіння в потоці. Достовірність реєстрації не нижче 97...98%.

В останні десятиріччя все більшого розвитку набувають автоматизовані системи контролю технологічного процесу та норми висіву, в яких функції керування покладаються на тракториста. В цих системах використовують весь спектр описаних вище типів датчиків, в тому числі емнісних і оптичних.

Сівалки «John-Deere» оснащуються пристроєм типу «Dual Rate

Monitor», який має високу чутливість, що дозволяє контролювати норму висіву насіння від 100-12000 шт/хв. Цей пристрій дозволяє за декілька секунд перевірити густину висіву насіння всіх рядків. Пристрій контролює норму висіву насіння опушеної бавовни, бобів, сорго, арахісу та схожих насінин. Пристрій «Regular Monitor» контролює швидкість висіву в діапазоні від 1200 до 12000 шт/хв та призначений для встановлення на шестирядні сівалки. Похибка в нижньому діапазоні дорівнює 10-15% від встановленої норми висіву. У ВІСГОМі було розроблено пристрій «Клен» для пневматичних швидкісних кукурудзяних сівалок типу САКС. Цей пристрій має датчики висіву, датчик норми, датчик шляху та пульт. В процесі сівби пристрій сигналізує механізатору номер рядка, в якому порушено висів, а також дозволяє виміряти норму висіву, фактичну витрату насінин та величину недосіву в будь-якому рядку на шляху 50м. У ВІСГОМі були розроблені також пристрої для контролю норми висіву типу «Кедр», УСК. В ФРН розроблено пристрій контролю для сівалок точного висіву, що дозволяє безперервно визначати витрату насіння кукурудзи та інших культур на одиницю площини з ідентифікацією кроку висіву на ділянці заданої довжини, наприклад 10м. Фірма «White» США застосовує аналогічні пристрої на 6, 8, 12 та 16-рядних сівалках для сівби сорго та кукурудзи. Швидкість руху трактора при висіві з пристроєм контролю досягає 13 км/год при кроці сівби 9см та міжряддям 0,5м. В США пневматичні сівалки типу "Cyclo Air" обладнуються пристроями контролю висіву, до складу яких входить мікропроцесор, за допомогою якого фіксується кількість висіяного насіння за один оберт пневмобарабану, рівень насіння в бункері, тиск повітря, частота обертання барабана та інші параметри. У Франції та Англії розроблено пристрій контролю та обліку насіння, який може виконувати декілька функцій: контроль висіву по кожному рядку, визначення кількості висіяних насінин на визначеній площі, накопичення даних по кожному рядку і по усій сівалці в цілому.

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	13
		№ докум.				

Найбільш досконалыми в цей час виявилися технічні системи для дослідження висівних апаратів і налагодження сівалок на задану норму висіву перед сівбою.

Із існуючої апаратури найбільший інтерес викликають пристрої для дослідження висівних апаратів пунктирних сівалок типу VEV 23 та VEV 30 розроблені в науково-дослідному інституті по дослідженню

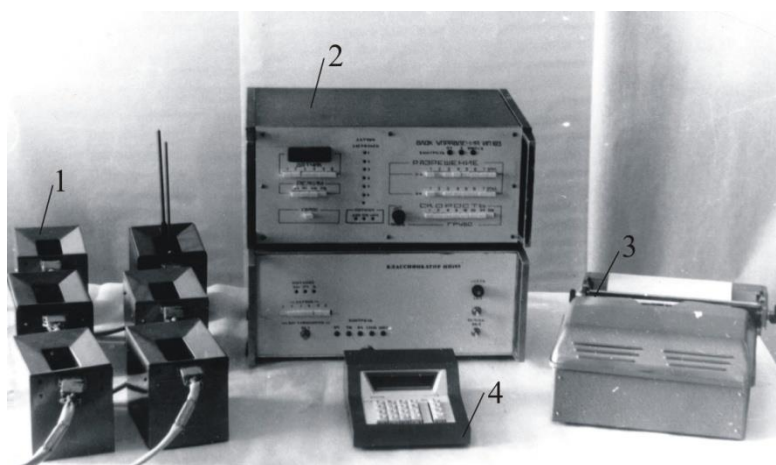


Рис. 1.6. Зовнішній вигляд пристрою
ЕКПС – 03МП (ІП-195):

1 – датчик; 2 – електронний класифікатор;

Останньою модифікацією електронних класифікаторів є пристрій ЕКПС-03МП (ІП-195) (рис. 1.6), які були поставлені на малосерійне виробництво в КубНДІТіМ м. Новокубанськ Краснодарського краю.[17, 18, 26]. До його складу входять датчики типу ПДС-02 [14, 21], електронний класифікатор ЕКПС-03МП, побудований на базі мікропроцесора КР580, та пристрій друку ЕУМ-23. В пристрої ЕКПС-03МП реалізовані ті ж принципи дії, що і в попередніх моделях ЕКПС-01, 02, але уже на мікропрограмному рівні, що дозволило ще більше розширити його функціональні можливості. Пристрій ЕКПС-03МП пройшов державні випробування і уже як пристрій ІП-195 був поставлений на виробництво. Успішно використовується в дослідних лабораторіях при розробці та випробуванні різних типів висівних апаратів, а

сільськогосподарських машин (Угорщина) [25] та електронні класифікатори потоку насіння типу ЕКПС-01, ЕКПС-02 та ЕКПС-03МП, розроблені в Кіровоградському інституті сільськогосподарського машинобудування (СРСР).

також при налагодженні сівалок на задану норму висіву.

Аналіз патентної та науково-технічної літератури показує, що в останні десять років іде безперервний процес створення нових та вдосконалення існуючих механічних, електромеханічних, електронних та автоматичних систем контролю норми висіву, які встановлюються на сівалках точного висіву. Нині в країнах СНД з'явилися нові мікропроцесорні системи контролю висіву, такі як: «НИВА 23» (ТОВ «Полтавська інженерна група», Україна) [29, 30]; «Мустанг» (м. Новосибірськ, Росія); MSC 12000 (РО «Белагросервис». Характерним представником з них є «НИВА 23».

Система контролю висіву «НИВА 23» (рис. 1.7) призначена для налагодження та оцінки якості сівби просапних культур в польових умовах за

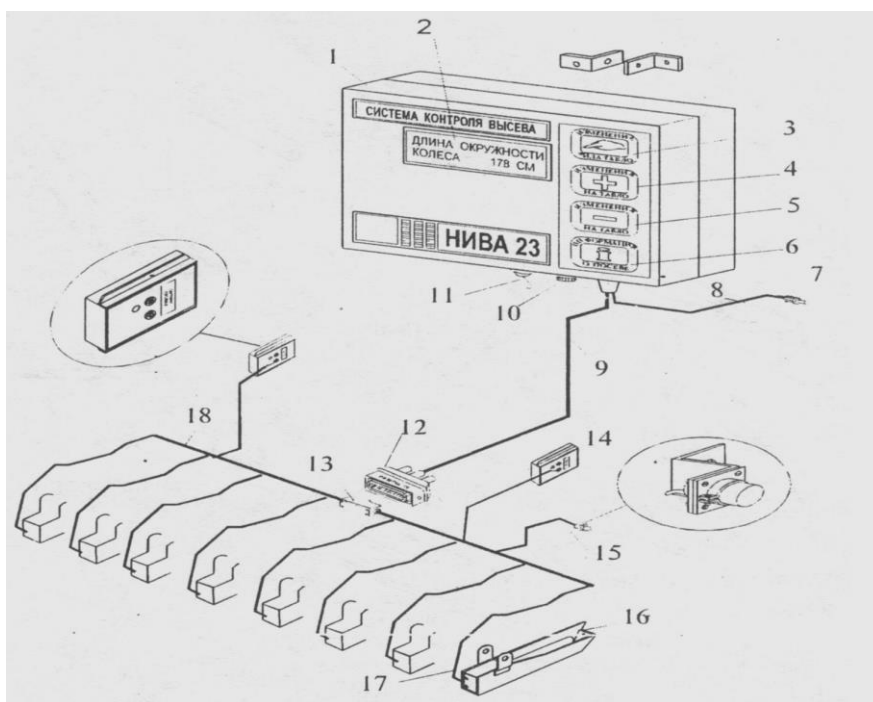


Рис. 1.7. Система контролю висіву «Нива-23-01»:

1 – корпус монітора; 2 – інформаційне табло; 3 – кнопка «Меню»; 4 – кнопка «Плюс»; 5 – кнопка «Мінус»; 6 – кнопка «Інформ»; 7 – штекер «Плюс»; 8 – провід живлення; 9 – кабель; 10 – запобіжник; 11 – вимикач; 12 – розетка X1; 13 – вилка X1; 14 – датчик рівня; 15 – датчик шляху (швидкості); 16 – датчик висіву; 17 – кабель датчика висіву; 18 – кабельна розводка по сівалці

такими показниками як: норма висіву насіння в шт/м; гістограма фактичного розподілу насіння в кожному рядку, по сівалці та усьому полю; швидкість руху сівалки; відсоток двійників та пропусків від загальної кількості висіяного насіння. Оскільки усі ці показники взаємозалежні, то за допомогою системи вони оптимізуються по швидкості руху сівалки. Дану систему можна використовувати також для оцінки роботи сівалок точного висіву при їх випробуваннях на машино-випробувальних станціях та на заводах-виробниках. Дана система комплектується ємнісними датчиками висіву, які встановлюються в порожнині сошника і мають індивідуальну конструкцію для кожної сівалки. Система контролю висіву «НИВА 23» стала головним компонентом автоматизації вітчизняних сівалок.

В засобах автоматичного регулювання норми висіву в якості вхідної інформації використовують поточне значення інтенсивності потоку насіння. Так, наприклад, запатентовані у Франції та ФРН пневматичні сівалки точного висіву оснащені системою автоматичного регулювання інтенсивності висіву, до складу якої входить виконавчий механізм, підсилювач-перетворювач та фотоелектричний датчик висіву. Фірмою «Dickey John» (США) розроблено та запатентовано електрогідравлічний регулятор норми висіву. В цьому пристрої для регулювання норми висіву без зупинки посівного агрегату та автоматичної підтримки стабільної подачі насіння на одиницю шляху привід висівних апаратів здійснюється від гідродвигуна, зв'язаного з гідросистемою трактора, який керується електронним керуючим пристроєм, встановленим в кабіні трактора. До даного керуючого пристрою підключаються фотодатчики висіву насіння та датчик поступальної швидкості насіння. Фірма "Mc Allen Larkspur Street" (США) обладнує сівалки спеціальним пристроєм, який автоматично групує насіння і висіває його з заданим інтервалом.

Результатом одинадцятирічних науково-технічних пошуків малого

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	16
		№ докум.				

спільного науково-виробничого підприємства “Клен” (Луганськ, Україна) стали реалізація та серійне виробництво автоматизованих сівалок “Клен”. Ці сівалки оснащені сучасними засобами мікропроцесорного управління процесом висіву, які забезпечують: принципово новий спосіб дозування; універсальність щодо культур, що висіваються; максимально широкий діапазон норм висіву; економію висівного матеріалу; різні схеми висівання; точність, простоту налагоджування та зручність обслуговування; надійність в експлуатації. З пульту управління, розміщеного в кабіні трактора чи на сівалці, можна забезпечити: точне, швидке та зручне встановлення потрібної норми висіву; оперативне корегування, у разі потреби, норми висіву як щодо всієї сівалки, так і щодо окремого висівного апарата; контроль за роботою системи (світлова та звукова сигналізація у разі порушення процесу висіву та відсутності висівного матеріалу в бункерах); автоматизований облік площі висіву за зміну [31].

Таким чином, запропонована значна кількість засобів автоматизації процесів керування висівом зернових культур. Базовим з них слід назвати саму зернову сівалку, яка являє собою по зерновому потоку систему автоматичного управління, що реалізує розімкнутий принцип керування. Створювані засоби автоматизації доповнюють цю базову систему автоматичного керування, поліпшуючи якість виконуваних нею операцій. Перші пристрої та методи стосуються налагодження сівалки на встановлення заданої норми висіву, друга група засобів призначена для здійснення операційного контролю за технологією процесу висіву, третя група засобів представлена безконтактними датчиками, що не впливають на характер реєстрованого зернового потоку. До четвертої групи засобів можливо віднести ті, в яких функції керування покладаються на тракториста. П'ята група засобів представлена системами для дослідження та налагодження

сівалок перед висівом. До шостої групи таких систем віднесені засоби для налагодження та оцінки якості сівби в польових умовах. Сюма група включає засоби автоматичного регулювання норми висіву.

1.2. Аналіз відомих засобів і обґрунтування підходу до створення системи автоматизації керування змінними нормами висіву в умовах точного землеробства

Аналіз розглянутих вище автоматизованих систем контролю показує, що основним показником оцінки якості сівби в них виступає норма висіву, яка визначається за результатами вимірювання інтенсивності зернового потоку та швидкості руху сівалки, за якою розраховується величина пройденого шляху або засіяної сівалкою площі. Однак більш детальним і точним показником оцінки якості сівби є рівномірність розміщення зерен вздовж рядка висіву за щільністю в заданому заліковому інтервалі часу або відстані (для зернових сівалок) та за відстанню між сусідніми насінинами (для сівалок точного та пунктирного способів сівби). Крім указаних показників при дослідженні зернового потоку виникає необхідність визначення ще цілого ряду додаткових характеристик, таких як: рівномірність висівання між апаратами сівалки; загальна стабільність висіву; наявність двійників (для сівалок точного висіву); відсоток загущеного та розрідженого посівів; щільність розміщення зерен упоперек рядка; швидкість руху зернового потоку та його складових; гістограма щільності розміщення зерен в заданому заліковому інтервалі часу або відстані (при рядковій сівбі); гістограма тривалості інтервалів часу або відстаней між сусідніми зернинами в потоці або в рядку (для сівалок точного висіву); інтегральні та диференційні закони розподілу ймовірностей розміщення зерен в рядку.

Усі перелічені вище показники повинні відповідати встановленим агротехнічним вимогам та допускам на їх відхилення. Для зернових сівалок

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	18
		№ докум.				

та сівалок точного висіву ці показники не повинні виходити за межі встановлених агротехнічних допусків [7, 8]: відхилення від заданої норми висіву $\delta_Q = \pm 3\%$; нерівномірність висіву між окремими апаратами (насіннепроводами) сівалки δ_i : для зернових культур - $\pm 3\%$, для бобових - $\pm 4\%$, для сої - $\pm 2\%$; нестійкість загального висіву δ_c - $\pm 2\%$; пошкодження насіння: для зернових - $\pm 0,3\%$, для просапних $\pm 0,5\%$, для бобових - $\pm 1\%$; кількість насіння з допустимим відхиленням від заданого інтервалу - $\geq 85\%$. Обмеження на поздовжню рівномірність розміщення зерен при рядковій сівбі агротехнічними вимогами не встановлені, що насамперед можливо пояснити складністю його забезпечення та контролю.

Огляд зернових сівалок точного, суцільного та рядкового посіву представлених вітчизняними і зарубіжними виробниками на Міжнародній агропромисловій виставці «AGROEXPO-2021» у м. Кропивницькому показав, що практично усі вони оснащені сучасними системами контролю висіву (СКВ). Необхідність обладнання сівалок цифровими системами контролю висіву сьогодні уже не потребує обґрунтування. Представлені на виставці вітчизняні СКВ такі як: «RECORD» (розроблена відділом досліджень та розвитку компанії «Трак», Україна, м. Херсон) [32], «MONADA» (ООО НПФ Монада, Україна, м. Херсон) [34], «ФАКТ» (ЧП «Руденко», Україна, м. Полтава) [30] комплектуються, з однієї сторони, бортовими системами збирання, обробки та відображення інформації, а з іншої – комплексом датчиків призначених для реєстрації параметрів процесу висіву і придатних для встановлення на різні типи вітчизняних та зарубіжних сівалок.

Незважаючи на різнобічність апаратної реалізації бортових систем СКВ (різні типи мікроконтролерів, елементів спряження, відображення інформації тощо) і прив'язаного до неї програмного забезпечення, в цілому вони надають механізатору майже однотипну інформацію про: проходження

насіння по висівним патрубкам; зменшення інтенсивності зернового потоку для суцільного висіву; забивання або відсутність висіву в патрубок із зазначенням його номера; кількість "двійників" (в %), "пропусків" (в %), норму висіву (в шт./п.м.) для сівалок точного висіву; рівень насіння і добрив у бункерах; швидкість руху сівалки (км/год); пройдений шлях (км); засіяну площу (га) тощо. Функціональні можливості бортової системи можна безперервно вдосконалювати, шляхом внесення змін в програмне забезпечення або реалізації на більш потужних мікро контролерах. В недалекому майбутньому бортову систему замінить багатофункціональний бортовий комп'ютер.

Відповідність розглянутих засобів умовам застосування необхідно встановлювати з урахуванням виду землеробства. Нині зернові культури в основному вирощують в межах традиційного землеробства, де поле вважають однорідним і прагнуть його підготувати відповідно цим вимогам, а зерна в рядку необхідно розташувати на оптимальних відстанях одне від одного. Висів зерен в Україні в основному здійснюють серійною зерною сівалкою СЗ-3,6А.

Однак поряд з традиційним починає розвиватися точне землеробство, якому буде належати майбутнє. Тому доцільно з'ясувати коротко його суть і знайти місце створюваним засобам в землеробстві в цілому.

Точне землеробство – це система керування виробництвом продукції рослинництва в оптимальному диференційному режимі, шляхом безперервного аналізу базової та поточної інформації про агрохімічний та агрофізичний стан поля і застосування на підставі цього змінних (в просторі та часі) норм внесення технологічних матеріалів (насіння, добрив, пестицидів тощо) у відповідності до унікальних особливостей кожної елементарної ділянки поля та з дотриманням агротехнічних вимог [7, 8]. Це складний

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	20
		№ докум.				

технологічний процес, що включає цілий ряд обов'язкових дій: збір інформації про господарство, поле, регіон; аналіз інформації та прийняття рішень; виконання рішень при проведенні агротехнічних операцій.

Для того, щоб визначити неоднорідності поля необхідно створити електронні карти його агрохімічних, фізико-механічних та агрофізичних місцевизначених параметрів, які б відображали такі показники, як: кількість вологи, вміст поживних речовин, умови фотосинтезу, температурний режим, структуру верхнього шару (0 - 5см), рельєф поверхні, напрямки вітрів та інше, а також електронні карти урожайності по даному полю. Для цього широко використовують ґрунтові автоматичні пробовідбірники, оснащені приймачами супутникової глобальної системи позиціювання та бортовими комп'ютерами. Складання просторово-орієнтованих електронних карт полів здійснюють на підставі даних геоінформаційної системи. Електронні карти врожайності по кожній з елементарних ділянок поля формують під час збирання врожаю.

На підставі комп'ютерного аналізу зчитаних з електронних карт місцевизначених агрохімічних та фізико-механічних параметрів ґрунту, агрофізичних параметрів поля, картограм попередньої урожайності, історичних відомостей про поле та агровимог створюють на компакт-дисках або на флеш-носіях технологічні карти-завдання, які вміщують просторово-орієнтовані змінні норми висіву по кожній з елементарних ділянок площі поля. В даний час існує цілий ряд програмних продуктів, які безпосередньо призначені для аналізу зібраної інформації та формування місцевизначених технологічних карт завдання змінних норм висіву, дозування добрив та засобів захисту рослин. Тут використовують систему підтримки прийняття рішень. Провідними науковими школами в системах точного землеробства України є Національний університет біоресурсів і природокористування

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	21
		№ докум.				

України, Державне підприємство «Український державний центр по випробуванню та прогнозуванню техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва», Центральний науково-дослідний інститут “Квант-Навігація” та Акціонерне товариство закритого типу “Агро-Союз”. Значні позитивні зміни за останні роки сталися завдяки зусиллям фахівців лабораторії «Точного землеробства» Національного університету біоресурсів і природокористування України, які спільно з компанією “Сатурн Дейта Інтернешнл” створили перший вітчизняний програмно-технічний комплекс цілісної системи практичного застосування технологій точного землеробства.

Для забезпечення місцевизначеної сівби за технологією точного землеробства необхідне використання автоматизованої системи керування інтенсивністю зернового потоку на програмному рівні або за карт-технологією, коли висів насіння ведуть у відповідності із заздалегідь складеною технологічною картою змінних норм висіву або за сенсор-технологією, коли висів насіння здійснюється у відповідності до інформації про агрохімічний та агрофізичний стан ґрунту, яка надходить від датчиків (автоматичних пробовідбірників, сенсорів та інших вимірювальних пристроїв) в реальному часі на момент сівби.

Для реалізації технології точного землеробства необхідно створити таку систему керування процесом висіву, яка базується на використанні приймачів глобальної системи позиціонування, даних геоінформаційних систем, бортових комп’ютерів, робототехнічних пристроїв сільськогосподарського призначення, встановлених на сільськогосподарських агрегатах, даних агрохімічних та агрофізичних місцевизначених параметрів поля та програмного забезпечення. Вказана система повинна бути адаптована як до існуючих типів сівалок, так і до

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	22
		№ докум.				

технології точного землеробства. Технічні засоби, призначені для здійснення місцевизначеної сівби за тією або іншою технологією, виробляються такими фірмами, як RAWSON, Mikro-Trak System (США), AMAZONE, Muller (Німеччина) та рядом інших, які виготовляють різноманітні контролюючі, керуючі і виконавчі пристрої. Ці засоби та принципи їх функціонування постійно поповнюються і вдосконалюються.

Вченими Національного університету біоресурсів і природокористування України розроблено модель апаратно-програмного комплексу з керування змінними нормами висіву за технологією ТЗ, призначеного для проведення місцевизначеної сівби (рис.1.8) [34] на базі зернової сівалки СЗ-3,6А, де регулювання норми висіву під час робочого процесу здійснюють зміною частоти обертання вала висівних апаратів.

Останнє є більш простим рішенням зміни норми висіву, тому що в цьому випадку базова конструкція сівалки не потребує конструктивних змін. Функції обчислення інформації, що надходить від ГСП-приймача, картограми сівби, датчиків кінематичного режиму руху сівалки та зворотного зв'язку бере на себе бортовий комп'ютер, що має слот для магнітної картки з електронною картограмою сівби та можливість передачі інформації на дисплей для її графічного представлення. Проблемним в практичній реалізації такого комплексу є датчик зернового потоку, він повинен бути достатньо точним.

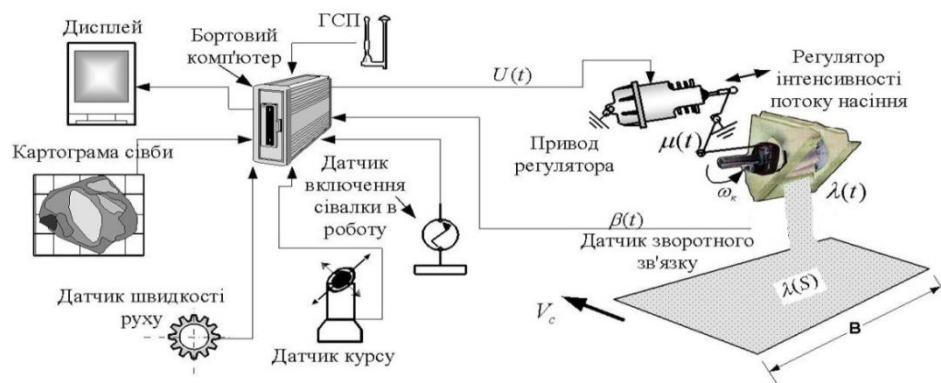


Рис.1.8. Схема обладнання для керування щільністю розподілу насіння по площі поля

На сівалку покладають ті ж функції. Вона повинна точно розташовувати зерна в рядку на оптимальній відстані, яка на окремих ділянках поля може змінюватися. Отже, і в традиційній технології, і технології точного землеробства в Україні використовують один і той же тип сівалки СЗ-3,6А. В процесі сівби стоїть одна і та ж задача – забезпечити рівномірний розподіл зерен в рядку на оптимальній відстані з можливістю її автоматичної зміни на окремих ділянках поля в технології точного землеробства. З врахуванням сказаного система автоматизації процесів керування висівом зернових культур повинна забезпечувати достатньо точне розташування зерен в рядку на оптимальній відстані одне від одного з можливістю автоматичної зміни відстані на окремих ділянках поля.

З врахуванням зробленого висновку проаналізуємо відомі засоби автоматизації процесів керування висівом зернових культур і встановимо можливість їх ефективного використання в межах існуючих технологій.

Насамперед необхідно розглянути саму сівалку як засіб автоматичного керування процесом висіву зернових культур. Така система керування вже десятки років забезпечує відносну стабілізацію заданої норми висіву, але вона не реагує на дію випадкових і регулярних зовнішніх факторів, які суттєво впливають на якість сівби. Система автоматичного керування, що працює за розімкнутим циклом, має невисоку точність. Крім того, проблемним є і налагодження сівалки на задану норму висіву. Перші методи та пристрої налагодження сівалок на задану норму висіву відрізняються низькою точністю та великими втратами часу, можливістю зміни параметрів в процесі роботи. Наявність ручної та напівавтоматичної методики зняття параметрів та обробки результатів вимірів, відсутність засобів прискореної реєстрації та обробки даних роблять ці методи, крім того, достатньо трудомісткими.

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	24
		№ докум.				

Засоби, призначені для здійснення операційного контролю за технологією процесу висіву, передбачають контроль наявності посівного матеріалу в бункері, обертання приводних механізмів, забивання сошників та інтенсивності зернового потоку. Для оцінки інтенсивності зернового потоку використовують ємнісні та прості за конструкцією оптичні датчики. Ємнісні датчики потребують точного підстроювання резонансного контуру і чутливі до впливу навколишнього середовища. Головним недоліком обох цих типів датчиків є те, що вони реєструють лише поодинокі зернини в потоці і не розпізнають дві та більше зернини, що паралельно перетинають площину реєстрації (число зернин-двійників навіть в сівалках точного висіву може досягати 8...20%) [7,8].

Технічні засоби, в яких функції керування покладають на тракториста, здійснюють контроль лише наявності технологічного процесу. Вони контролюють наявність обертання приводних валів, прольоту насіння, забивання сошника або насіннепроводу. У них не передбачено контроль якості сівби в процесі роботи зернових сівалок.

Системи, призначені для дослідження та налагодження сівалок перед роботою, є достатньо досконалими, але вони не призначалися при самій розробці для використання в польових умовах. Пристрій ЕКПС-03МП (ІП-195) дозволяє визначати рівномірність висіву, процент відхилення від заданої норми висіву, процент розрідженого, загущеного та нормального посіву, нерівномірність висіву між окремими апаратами. У нього всі вузли уніфіковані, що дозволило значно розширити його функціональні можливості. Розв'язання технічних задач на мікропрограмному рівні дозволило ще більше розширити його функціональні можливості, однак, як видно з рис. 1.6, ІП-195 також не пристосований для мобільного використання.

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	25
		№ докум.				

Засоби для налагодження сівалок та оцінки якості сівби в польових умовах, наприклад система «НИВА 23», пристосовані для роботи на мобільних агрегатах, однак в ній проблему також складає датчик зернового потоку. Вона комплектується ємнісними перетворювачами, які не відрізняються ідентичністю параметрів, на них у польових умовах впливає волога, запиленість, експлуатаційні фактори. Крім того, ємнісний датчик фіксує лише поодинокі насінини, не розрізняє їх при частковому перекритті в напрямі руху та при здвоєнні.

Засоби автоматичного регулювання норми висіву є найбільш досконалими, вони відрізняються підвищеною точністю завдяки своїм конструктивним рішенням, однак перший з них має дисковий висівний апарат, а другий – виконаний у вигляді каналу прямокутного перерізу, по якому рухається посівний матеріал, з автоматичним регулюванням його поперечного перерізу. Як показує аналіз, застосовані у даних засобах принципи автоматичного регулювання не можливо перенести на катушковий висівний апарат зернових сівалок.

Отже, розроблені на даний час технічні засоби автоматизації процесу висіву зернових культур не розв’язують задачу забезпечення сталої норми висіву, рівномірного розташування зернин в рядку та можливості автоматичної її зміни на окремих ділянках поля.

Розв’язання даної задачі необхідно базувати на сівалках типу СЗ-3,6А, які є розімкнутими системами автоматичного керування з жорсткою програмою, інші технічні засоби можуть реалізувати будь-які підходи. В базовій системі наближення регульованої величини до заданої забезпечується жорсткістю характеристик схеми. При наявності значних збурюючих впливів вихідна величина може помітно відхилятися від заданої, при цьому управління стає непридатним і необхідно використовувати інші

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	26
		№ докум.				

принципи управління. Аналіз показує, що в даній системі компенсувати збурюючі впливи не можливо, а регулювання за відхиленням дає значні відхилення регульованої величини від приписаного значення. Тому єдиним виходом в даній ситуації є використання адаптації існуючої системи автоматичного керування до змінних умов висіву.

Другою проблемою при розв'язанні даної задачі є створення інформаційного засобу, який би відповідав умовам роботи даної системи автоматичного керування процесом висіву. Як видно зі зробленого аналізу, найкращими характеристиками володіє оптичний датчик, розроблений в Кіровоградському інституті сільськогосподарського машинобудування, однак він також має свої вади. Головним його недоліком є відсутність реєстрації місця перетину насіниною площини контролю датчика вздовж рядка висіву. При цьому похибка реєстрації відстаней між сусідніми насінинами досягає половини довжини площини контролю датчика. Тому інформаційний засіб для нової системи управління необхідно серйозно удосконалити або розробити новий.

Для створення системи автоматизації керування змінними нормами висіву в умовах точного землеробства необхідно вирішити наступні задачі:

- експериментально визначити дозволяючу здатність ємнісних і оптичних датчиків об'ємної дії при реєстрації зернин в потоці;
- дослідити шляхи вдосконалення двохкоординатного скануючого датчика;
- дослідити характер впливу регульовальних та збурюючих факторів на зміну щільності розподілу зернового потоку при роботі сівалки в польових умовах для визначення закону регулювання;

- дослідити і розробити систему автоматизації керування змінними нормами висіву в умовах точного землеробства.

ВИСНОВКИ

Проведений огляд і аналіз існуючих засобів автоматизації процесів керування висівом зернових культур дав змогу зробити наступні висновки:

1. Існує достатньо широкий ряд систем контролю та автоматичного регулювання процесу висіву, які можна подати у вигляді трьох груп. Перша група пристосована до сівалок з котушковим висівним апаратом, друга – до сівалок з дисковим висівним апаратом, третя – до технологічних агрегатів з проточним висівним апаратом. Основним контрольованим і регульованим параметром тут виступає оптимальна відстань між окремими насінинами в рядку з можливістю зміни параметра на окремих ділянках поля. Засоби першої групи, яка охоплює зернові культури, не розроблялися і це завдання є новим.

2. Зернова сівалка з котушковим висівним апаратом по зерновому потоку являє собою систему автоматичного керування, що реалізує розімкнутий принцип управління, і тому має невисоку точність.

3. Системи автоматичного контролю і регулювання процесу висіву можна поділити на сім груп: пристрої та методи налагодження сівалки на задану норму висіву; засоби здійснення операційного контролю за технологією процесу висіву; безконтактні датчики, що не впливають на характер реєстрованого зернового потоку; засоби з покладанням функцій керування на тракториста; системи дослідження та налагодження сівалок перед висівом; пристрої для налагодження та оцінки якості сівби в польових умовах; засоби автоматичного регулювання норми висіву.

4. Існуючі системи автоматичного контролю та регулювання з різних причин не можуть забезпечити сталість норми висіву та можливість її зміни на окремих ділянках поля.

5. Завдання автоматизації процесу керування висівом зернових

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	28
		№ докум.				

культур з урахуванням ідентифікації потоку насіння необхідно вирішувати на базі скануючого засобу реєстрації з покращеними характеристиками та системи керування з удосконаленим принципом управління.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ЗМІНУ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ЩІЛЬНОСТІ ЗЕРНОВОГО ПОТОКУ, ЩО ФОРМУЄТЬСЯ ВИСІВНОЮ СИСТЕМОЮ СІВАЛКИ

2.1. Дослідження процесу формування та продуктивності зернового потоку на виході катушкового висівного апарата

Дослідження технологічного процесу формування зернового потоку для різних висівних систем проводилися з початку минулого століття і описані в роботах В. П. Горячкіна, М. М. Летошнєва, О. М. Семенова. В останні десятиріччя цьому питанню багато уваги приділяли С. В. Кардашевський, В. Ю. Комарістов, А. В. Ліккей, Л. В. Погорілий, П. В. Сисолін та інші автори. Однак ряд аспектів, які стосуються ідентифікації та

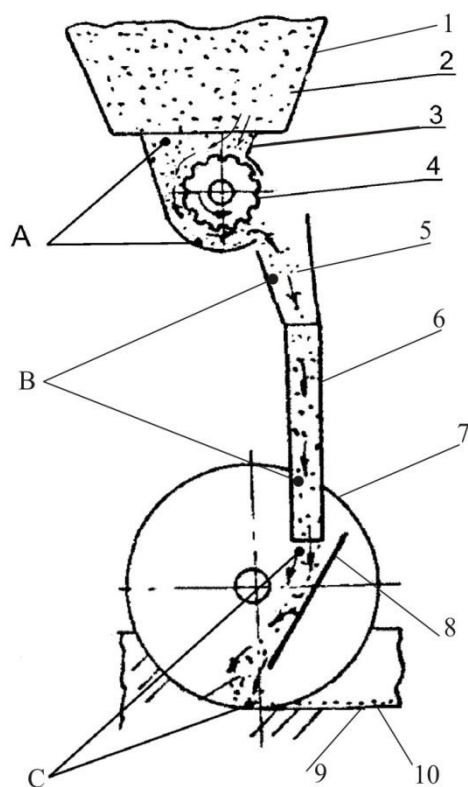


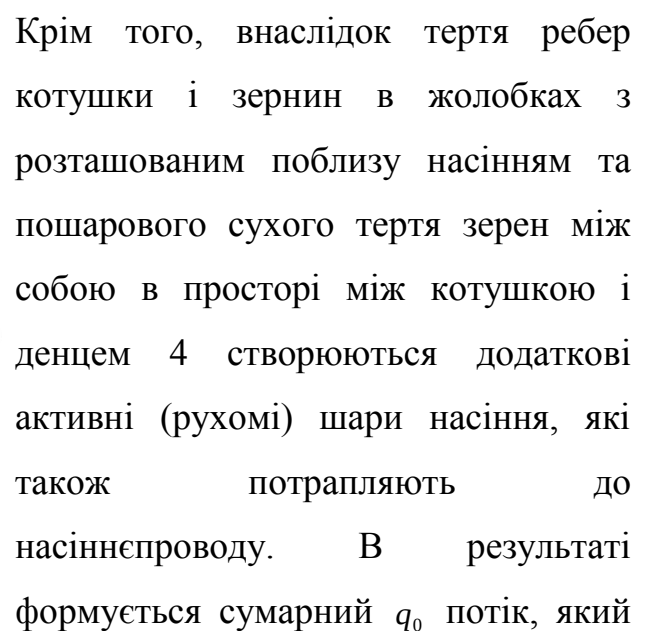
Рис. 2.1. Схема висівної системи зернової сіялки:

1 – бункер; 2 – насіння; 3 – корпус висівного апарата; 4 – катушка; 5 – зерновий потік; 6 – насіннепровід; 7 – сошник; 8 – відбивач-спрямовувач; 9 – борозна; 10 – зерновий ряд

впливу на зерновий потік, в проведених дослідженнях не розкрито. Тому необхідно дослідити цей процес на якісно новому рівні.

Висівна система зернової сіялки та шляхи проходження зерна представлені на рис. 2.1. При обертанні катушки 4 в корпусі висівного апарата 3 насіння 2, що знаходиться в бункері 1, виноситься в насіннепровід 6. В результаті дії гравітаційних та відцентрових сил сформований потік 5 переміщується по насіннепроводу 6 до сошника 7, в якому після співударяння з відбивачем – спрямовувачем насіння 8 попадає в борозну 9, утворюючи зерновий ряд 10. З рис. 2.1 видно, що висівну систему можна розчленувати на

Схема котушкового висівного апарата наведена на рис.2.2. При обертанні котушки в корпусі висівного апарата 1 насіння, що знаходиться в бункері, захоплюється жолобками 2 котушки 3 і виноситься в насіннепровід.



складається з насіння, що примусово виноситься жолобками q_j та насіння активного шару q_a .

Визначимо кількісні характеристики примусової і активної часток, а також вклад кожної з них на формування сумарного зернового потоку на прикладі висівного апарата зернової сівалки СЗ-3,6 з зсувною катушкою, яка має комбіновану форму жолобка (рис. 2.3). Площа поперечного перерізу

жолобка S_j (рис.2.3) складається з трьох секторів $S_j = S_1 + S_2 + S_3$, площі яких визначаються за формулами [11].

З врахуванням площ секторів і значень конструктивних параметрів котушки $S_1 = 29,36 \text{ мм}^2$, $S_2 = 4,04 \text{ мм}^2$, $S_3 = 2,18 \text{ мм}^2$, $S_j = 35,58 \text{ мм}^2$. Кількість насіння $q_{1j}(L_k)$, що подається одним жолобком, і кількість насіння $q_j(L_k)$, що подається усіма z жолобками за один оберт котушки при різних її робочих довжинах L_k , визначаються відповідно формулами

$$q_{1j}(L_k) = S_j \cdot L_k \cdot \mu \cdot \gamma \cdot 10^{-3} / A, \text{ шт.}; \quad (2.1)$$

$$q_j(L_k) = S_j \cdot L_k \cdot \mu \cdot z \cdot \gamma \cdot 10^{-3} / A, \text{ шт.}, \quad (2.2)$$

де μ - коефіцієнт заповнення жолобків посівним матеріалом (для пшениці, жита $\mu = 0,65 \div 0,82$, прийmemo на рівні $\mu = 0,75$);

γ - об'ємна маса посівного матеріалу (для пшениці $\gamma = 730 \div 760 \text{ г/дм}^3$, візьmemo $\gamma = 750 \text{ г/дм}^3$);

A - абсолютна вага 1000шт. насіння, (для пшениці $A = 15 \div 60 \text{ г.}$, прийmemo $A = 30 \text{ г.}$);

L_k - робоча довжина котушки, яка може змінюватися від 0 до 32 мм.

Форму зерна пшениці можна наближено представити як еліпсоїд обертання. Оскільки в потоці кожна насінина може приймати довільне положення, а в активному шарі вони розміщуються паралельно руху, то кожену зернину при моделюванні потоку можна розглядати у вигляді

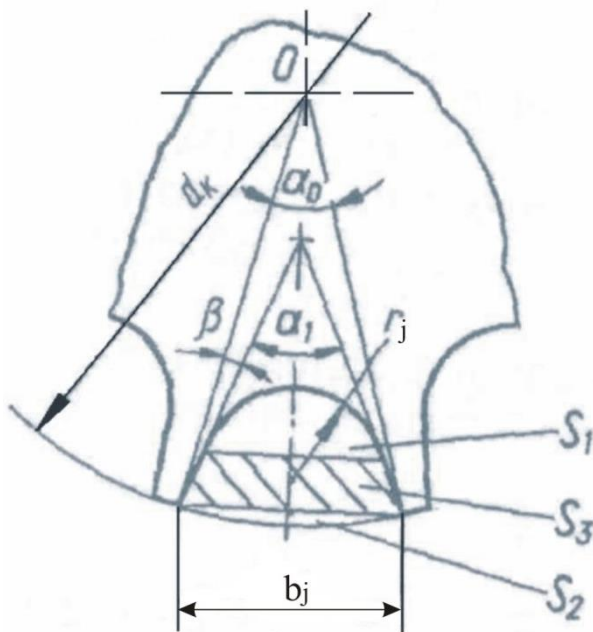


Рис. 2.3. Комбінована форма жолобка:

S_1 – площа 1-го сектора; S_2 – площа 2-го сектора; S_3 – площа 3-го сектора; d_k – діаметр котушки; r_j - радіус жолобка; α_0 - центральний кут жолобка; β - кут нахилу передньої грані жолобка до радіуса котушки; b_j - ширина жолобка.

кулі діаметром $d_3 = 4\text{мм}$. Таким чином, кількість зернин в площині перерізу жолобка може коливатися від 1 до 3 шт., а загальна кількість насіння, яке подається жолобком при різній робочій довжині котушки, може змінюватися від 5 до 21 шт. Тому, продуктивність примусового потоку за один оберт котушки при її максимальній робочій довжині 32мм дорівнює $q_j(32) = 256\text{шт.}$. Експериментально встановлено, що активний шар насіння складається з сукупності дискретних шарів, що рухаються неперервним потоком по концентричних колах відносно осі котушки. В роботах П. В. Сисоліна та А. В. Ліккея стверджується, що швидкість руху активного шару насіння v_a змінюється відповідно залежності [7, 35]

$$v_a = v_k \cdot \exp(-b_0 \cdot C), \quad (2.3)$$

де v_k - швидкість ребер котушки;

b_0 - коефіцієнт пропорційності, залежний від величини, форми та внутрішнього коефіцієнта тертя насіння (для пшениці та жита $b_0 = 0,3 \div 0,35$, прийmemo на рівні $b_0 = 0,32$);

C - відстань по радіусу від ребра котушки.

З залежності (2.3) видно, що швидкість кожного шару зменшується дискретно відповідно відстані C від циліндричної поверхні котушки до денця. Кількість насіння q_a (шт.), що виноситься активними шарами товщиною C за час повного оберт котушки визначається виразом

$$q_a = 10^{-3} \cdot \gamma / A \cdot \int_0^{T_k} \int_0^C v_k \cdot e^{-b_0 \cdot C} \cdot L_k \cdot dC \cdot dt = \gamma \cdot L_k \cdot \pi \cdot d_k \cdot 10^{-3} \cdot [1 - \exp(-b_0 \cdot C)] / b_0 \cdot A, \quad (2.4)$$

де $T_k = \pi \cdot d_k / v_k$ - період повного обертання котушки.

Виходячи з (2.4), визначимо залежність між продуктивністю активного шару за один оберт котушки $q_a(L_k, C)$ (шт.) та відстанню C_1 від поверхні котушки до денця висівного апарату при різних нормах висіву, що задаються зміною робочої довжини котушки ($L_k = 8; 20; 32\text{ мм}$, $z = 12$). Як видно з графіків (рис. 2.4), при збільшенні відстані C_1 понад 10мм

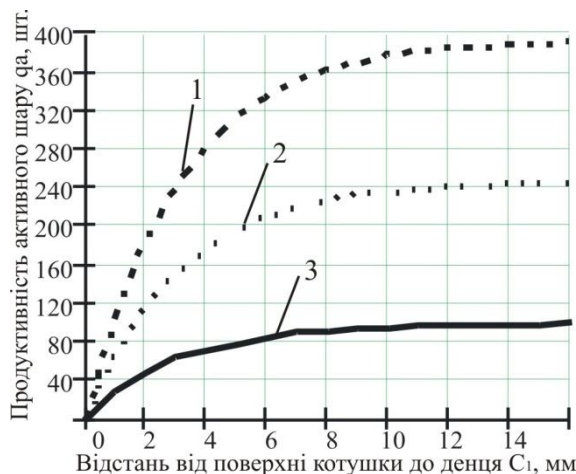


Рис.2.4. Продуктивність активних шарів за один оберт котушки при L_k :

продуктивність активного шару, при будь-яких L_k , практично не змінюється. Виходячи з того, що сумарний активний шар являє собою сукупність елементарних дискретних шарів, які рухаються паралельно, то, приймаючи товщину кожного дискретного шару рівною умовному діаметру зернини $d_z = 4 \text{ мм}$ і вводячи

заміну $C = k \cdot d_z$ в формулі (2.4), отримаємо вираз для визначення кількості зерна $q_a(L_k, k)$, що подається сумарно k активними шарами за один оберт котушки.

$$q_a(L_k, k) = \pi \cdot \gamma \cdot L_k \cdot d_k \cdot 10^{-3} \cdot (1 - \exp(-b_0 \cdot k \cdot d_z)) / b_0 \cdot A. \quad (2.5)$$

Залежність (2.5) можна подати через суму шарової продуктивності

$$q_a(L_k, k) = \pi \cdot \gamma \cdot L_k \cdot d_k \cdot 10^{-3} \sum_{k=1}^4 [\exp(-b_0 \cdot d_z \cdot (k-1)) \cdot (1 - \exp(-b_0 \cdot d_z))] / b_0 \cdot A. \quad (2.6)$$

Сумарна кількість насіння за один повний оберт котушки визначиться рівнянням

$$q(L_k) = \gamma \cdot 10^{-3} \cdot L_k \cdot \{S_j \cdot \mu \cdot z + \pi \cdot d_k \cdot [1 - \exp(-b_0 \cdot C)] / b_0\} / A. \quad (2.7)$$

Залежність (2.7) являє собою статичну модель формування продуктивності зернового потоку за один оберт котушкового висівного апарата залежну від робочої довжини котушки [36]. На підставі формули (2.6) визначимо поштучну продуктивність 1-го, 2-го, 3-го, 4-го шарів, з 1-го по 3-й та з 1-го по 4-й шари насіння, а за формулою (2.2) – поштучну продуктивність примусової частки потоку за повний оберт котушки при різних її робочих довжинах $L_k = 8; 16; 24; 32 \text{ мм}$ (табл.2.1).

Як видно з табл. 2.1, найбільший внесок в загальну продуктивність активної частки потоку здійснює перший активний шар насіння (72,4...72,8%), у другому шарі транспортується 20,0...20,4%, у третьому –

5,1...5,6%, а у четвертому – всього 1,5...2%. Сумарна продуктивність першого та другого активних шарів при всіх робочих довжинах катушки складає 92,8%, а першого-третього - знаходиться в межах 97,9...98,4% від загальної. Тобто, у висівному апараті необхідно забезпечувати три активних шари насіння. Отже, частка активної складової в загальному потоці насіння, незалежно від робочої довжини катушки, складає близько 60%. Теоретично отримане співвідношення підтверджується експериментальними дослідженнями О. М. Семенова, відносно яких частка активного шару в загальній масі насіння коливається в межах 48,7...77,98% [37].

Таблиця 2.1.

Продуктивність примусової частки та активних шарів за один оберт катушки

Робоча довжина катушки, мм	Кількість зернин в						
	примусовому потоці	першому активному шарі	другому активному шарі	третьому активному шарі	четвертому активному шарі	1, 2 та 3 активних шарах	1, 2, 3 та 4 активних шарах
8	64	71	20	5	2	96	98
16	128	142	39	11	3	192	195
24	192	213	59	16	5	288	293
32	256	284	79	22	6	385	391

2.2. Дослідження факторів впливу на сталість норми висіву зернових культур в польових умовах

При традиційній технології землеробства на сівалках з катушковими висівними апаратами задана для даного поля норма висіву Q (кг/га) встановлюється один раз перед початком сівби шляхом регулювання та фіксації відповідних значень передаточної величини i , відстані до денця катушки C та її робочої довжини L_k . Однак в процесі сівби на сталість норми висіву можуть впливати наступні зовнішні фактори: ланцюгова передача, проковзування опорно-приводного колеса, фракція посівного матеріалу, тряска, вібрації, запиленість, коефіцієнт заповнення жолобків катушкового

висівного апарата посівним матеріалом та інше. Вплив цих факторів проявляється по різному. Нестабільність ланцюгової передачі повторюється з кожним обертом опорно-привідного колеса, тому компенсувати дію цього циклічного впливу зміною норми висіву не можливо. Проковзування опорно-привідного колеса є випадковим фактором, залежним від рельєфу поверхні та її стану, зворотної дії навантаження дозуючих апаратів тощо. Дія цього фактора може бути короткою за часом або тривалою. В останньому випадку її можна частково компенсувати регулюванням. Найбільш суттєвим фактором, який діє на протязі усього терміну сівби є коефіцієнт заповнення жолобків μ посівним матеріалом, залежний від зовнішніх факторів $\mu = f(\gamma, A, \phi, V_{зб}, S)$, де: $V_{зб}$ - поточний об'єм зерна в бункері; γ, A - показники типу фракції; ϕ - запиленість жолобків; S - довжина пройденого сівалкою шляху. Враховуючи те, що значення коефіцієнтів заповнення жолобків насінням для пшениці різних фракцій (γ, A), визначені емпіричним шляхом, знаходяться в межах $\mu \in 0,65 \dots 0,82$ [11], можна допустити, що для кожної фракції посівного матеріалу амплітуда коливань коефіцієнта заповнення жолобків $\Delta\mu$ під впливом усіх означених факторів не буде перевищувати величини $\Delta\mu = \mu_0 - \mu_{\min/\max} = \pm 0,05$ його оптимального значення μ_0 . Проаналізуємо характер формування представленої в загальному вигляді залежності $\mu = f(\gamma, A, \phi, V_{зб}, S)$.

В результаті тряски та вібрації сівалки, незважаючи на ретельний відбір кожної фракції посівного матеріалу, має місце його сегрегація по висоті та горизонталі усередині бункера в залежності від розміру та щільності зерна. При цьому менші за розміром зернини, які мають однакову щільність, і більш важкі однорозмірні зернини переміщуються в нижні шари, легші та більші за розміром зернини розміщуються у верхніх шарах. Швидкість розшарування підвищується при збільшенні розміру фракції та різниці у щільності зернин, а також при збільшенні інтенсивності вібрацій та зменшенні товщини зернового шару. При наявності такого розшарування

		№ докум.		

коефіцієнт заповнення жолобків буде безперервно змінюватися. На значення даного параметра впливає і об'єм зерна в бункері $V_{зб}$. При заповненні бункера, близькому до 100%, посівний матеріал ущільнюється, що зменшує його подачу в зону дії дозуючих апаратів. Зменшення подачі посівного матеріалу спостерігається і при заповненні бункера менше 15% його номінального об'єму. Тобто, на початку сівби з практично заповненого бункера $V_{зб} \in (85...100)\% \cdot V_0$, де V_0 - об'єм бункера, та в кінці висіву залишкового обсягу зерна в бункері $V_{зб} \in (15...0)\% \cdot V_0$, коефіцієнт заповнення жолобків наближається до мінімального значення, а в процесі висіву основної маси зерна – коливається в межах, близьких до свого оптимального значення. При цьому характер зміни коефіцієнта заповнення жолобків під дією рівня зерна в бункері $\mu(V_{зб})$ за термін його висіву та сегрегації можна визначити співвідношенням (2.8) [7]

$$\mu_{зб}(S) = \mu_{\min} + \Delta\mu_{зб} \cdot [1 - (S - S_0)^2 / S_0^2], \quad (2.8)$$

де S , S_0 відповідно поточне значення та половина пройденого сівалкою шляху за термін розвантаження бункера; $\mu_{\min}$, $\Delta\mu_{зб}$; - відповідно мінімальне значення коефіцієнта заповнення жолобків конкретним типом фракції та межа відхилення, що дорівнює 0,04. В результаті тривалої роботи дозуючі апарати забиваються пилом, що також впливає на коефіцієнт заповнення жолобків посівним матеріалом. Для того, щоб врахувати дію вказаного фактора, відомчими стандартами передбачено проведення випробувань при 100, 50 та 12,5 відсотках заповнення бункера зерном $V_{зб}\%$, а також проведення повторних випробувань через 1 та 3 години безперервної роботи висівного апарата [7]. Прийmemo, що запилення жолобків за весь термін сівби не перевищує $\phi \leq 3\%$ від їх об'єму, а відхилення коефіцієнта заповнення жолобків за рахунок запилення $\Delta\mu_{зан}$ не перевищує $\Delta\mu_{зан} \leq 0,01$ при допустимому загальному відхиленні $\Delta\mu = \Delta\mu_{зб} + \Delta\mu_{зан} = 0,04 + 0,01$. Визначена емпіричним шляхом залежність μ від запиленості ϕ описується

виразом (2.9) [7]

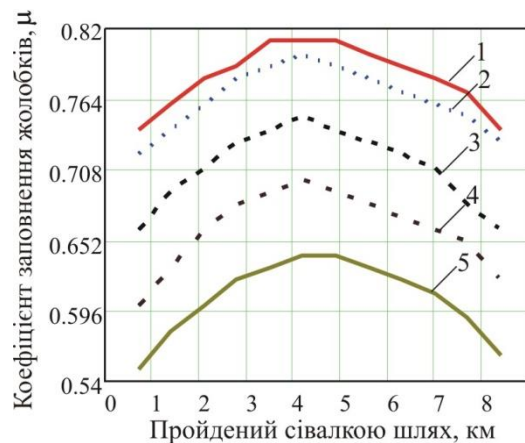
$$\mu_{zan}(S) = \mu_o \cdot e^{-0,005\phi(S)}, \quad (2.9)$$

де $\phi(S) = \phi_{max} \cdot (1 - e^{-0,4 \cdot S})$; $\phi_{max} = 3$.

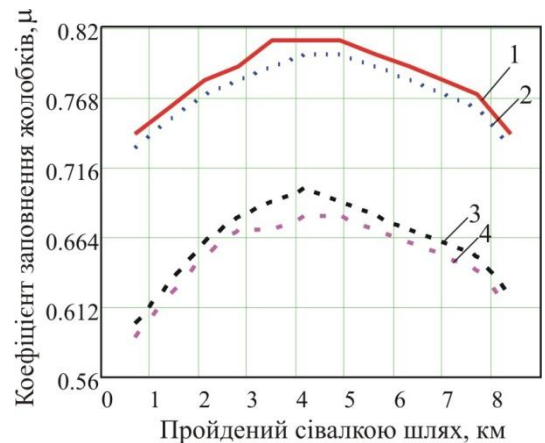
Враховуючи отримані залежності (2.8) і (2.9), загальний вираз для визначення коефіцієнта заповнення жолобків можна представити співвідношенням

$$\mu(S) = \mu_{zan}(S) + \mu_{зб}(S) - \mu_o. \quad (2.10)$$

Графіки зміни значень коефіцієнта заповнення жолобків при висіванні різних фракцій насіння пшениці ($A = 25; 30; 35; 40; 45 \text{ г/тис.шт.}$) за період



1 - $A = 25 \text{ г/тис.шт.}$; 2 - $A = 30 \text{ г/тис.шт.}$;
3 - $A = 35 \text{ г/тис.шт.}$; 4 - $A = 40 \text{ г/тис.шт.}$;
5 - $A = 45 \text{ г/тис.шт.}$



1 - 1-й бункер, $A = 25 \text{ г/тис.шт.}$;
2 - 2-й бункер, $A = 25 \text{ г/тис.шт.}$;
3 - 1-й бункер, $A = 40 \text{ г/тис.шт.}$;
4 - 2-й бункер, $A = 40 \text{ г/тис.шт.}$

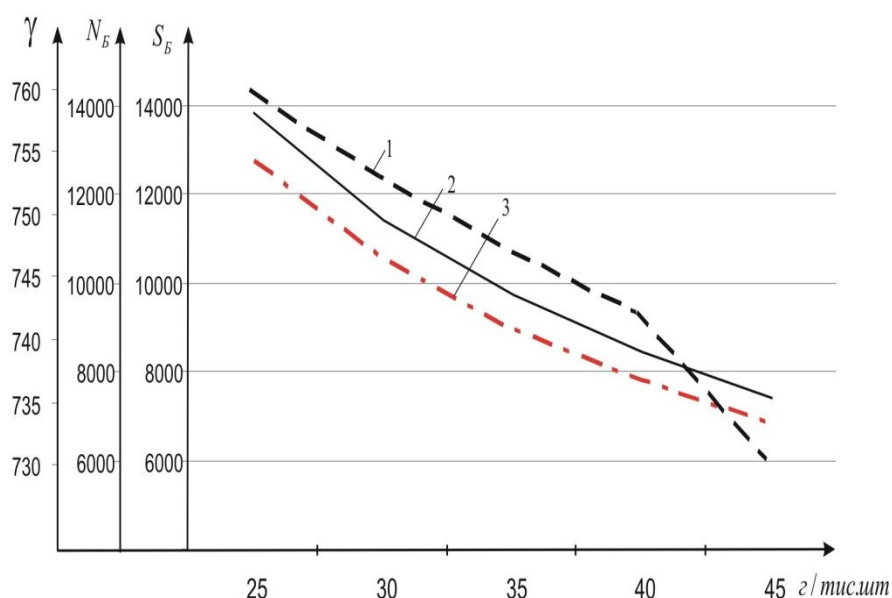
Рис. 2.5. - Залежність μ від типу насіння пшениці. Графіки повного розвантаження бункера представлені на рис. 2.5, а при висіванні 1-го та 2-го наповнених бункерів – на рис. 2.6.

З графіків рис. 2.5 видно, що закономірність зміни значень коефіцієнта заповнення жолобків за період розвантаження заповненого бункера при висіванні різних фракцій посівного матеріалу практично однакова, але крутизна кривих тим більша, чим крупніша фракція. З часом значення коефіцієнта заповнення жолобків для кожної фракції зменшується внаслідок їх запиленості (рис. 2.6).

Для того, щоб проаналізувати характер впливу коефіцієнта заповнення жолобків $\mu(s)$ на щільність розподілу зернового потоку вздовж рядка висіву $Q_m(S)$, визначимо спершу довжину пройденого сівалкою шляху до повного розвантаження бункера S_B та параметри налагодження сівалки на задану норму висіву при висіванні різних фракцій насіння пшениці на прикладі сівалки СЗ-3,6А. Дані для розрахунку: задана норма висіву $Q_{MB} = 45 \text{ шт/м}$, що відповідає ваговим нормам висіву $Q_{M1} = 75 \text{ кг/га}$ при $A = 25 \text{ г/тис.шт}$ та $Q_{M1} = 135 \text{ кг/га}$ при $A = 45 \text{ г/тис.шт}$; ємкість бункера $V_B = 453 \text{ дм}^3$; число сошників $z = 24$; характеристика посівного матеріалу – пшениця масою $A = 25 \dots 45 \text{ г/тис.шт}$, густиною $\gamma = 730 \dots 760 \text{ г/дм}^3$ та коефіцієнтом заповнення жолобків $\mu = 0,65 \dots 0,82$.

Кількість зернин в бункері $N_B(\text{шт})$ визначаємо за співвідношенням $N_B = V_B \cdot \gamma / A$, а пройдений сівалкою шлях до повного розвантаження бункера - за виразом $S_B = N_B / Q_{MB} \cdot z (\text{м})$. Результати розрахунків представимо у вигляді графіків (рис. 2.7).

З графіків рис. 2.7 видно, що при зростанні крупності зерен $A(\text{г/тис.шт})$, зменшенні кількості зерен $N_B(\text{шт})$ у заповненому бункері і зменшенні густини

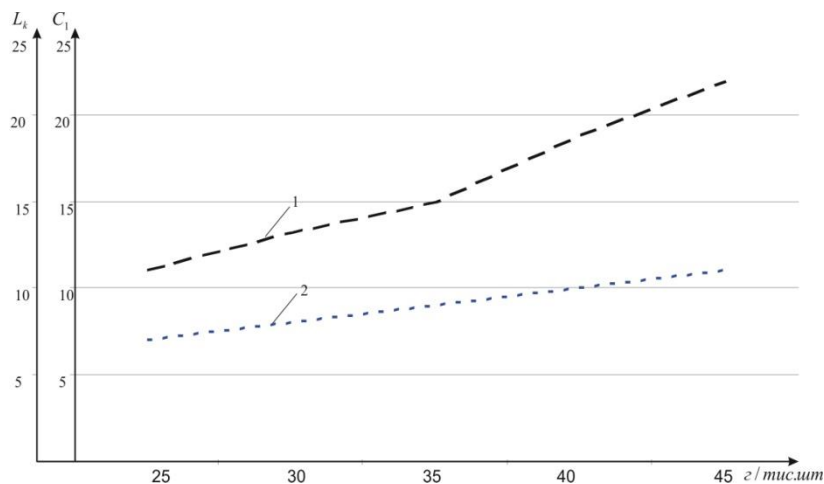


1 – густина матеріалу $\gamma, \text{г/см}^3$; 2 – кількість зернин в бункері $N_B, \text{тис.шт.}$;
3 – пройдений шлях $S_B, \text{м}$.

Рис. 2.7. – Взаємозв'язок густини матеріалу, кількості зернин у бункері та пройденого шляху від фракції пшениці при повному розвантаженні бункера.

матеріалу $\gamma (\text{г/см}^3)$ пройдений сівалкою шлях $S_B (\text{м})$ суттєво скорочується.

Це скорочення відбувається майже у два рази. За цих умов для забезпечення заданої норми висіву необхідно збільшувати відстань до денця $C_1 (\text{мм})$ та робочу довжину котушки $L_k (\text{мм})$. Налаштування висівних апаратів можна здійснити за допомогою графіків, зображених на рис. 2.8.



1 - робоча довжина котушки $L_k, \text{мм}$; 2 – відстань до денця котушки $C_1, \text{мм}$.

Рис. 2.8. – Взаємозв'язок параметрів налаштування сівалки на задану норму висіву від фракції пшениці.

На підставі емпірично визначених значень коефіцієнта заповнення жолобків $\mu(S)$ (3) та параметрів налаштування сівалки на задану норму висіву $Q_{MB} = 45 \text{шт/м}$ (рис. 2.8) розрахуємо значення щільності розподілу зернового потоку $Q_m(S_j)$ у вузлах інтерполяції S_j для різних фракцій посівного матеріалу за формулою [37]

$$Q_m = \frac{L_k \cdot i \cdot \gamma \cdot 10^{-3}}{D_k \cdot A} \cdot \left[\frac{S_T \cdot \mu}{\omega_k} + \frac{d_k \cdot (1 - e^{-b_0 \cdot C_1})}{b_0} \right], \quad (2.11)$$

де T_j - період розвантаження k -го жолобка; S_T - середня за період T_j

площина розвантаження сектора k -го жолобка; ω_k - кутова швидкість обертання котушки.

Поточні значення щільності $Q_m(S)$ в довільних точках пройденого сівалкою шляху S до повного розвантаження бункера визначимо за інтерполяційним поліномом Ньютона [37]

$$Q_m(S) = Q_m(S_0) + \sum_{j=1}^n \left[\frac{\Delta^j Q_0}{j!} \cdot \prod_{i=0}^{j-1} \left(\frac{S - S_i}{h} \right) \right], \quad (2.12)$$

де $i = 0, 1, \dots, j-1$ - індекс координати пройденого сівалкою шляху;

$j = 0, 1, \dots, n$ - номер вузла інтерполяції;

$Q_m(S_0), Q_m(S_j)$ - значення щільності в 0-му та j -му вузлах інтерполяції;

$h = (S_n - S_0)/n = S_{i+1} - S_i$ - крок інтерполяції для заданої фракції;

$\Delta Q_j = Q_m(S_{j+1}) - Q_m(S_j), \dots, \Delta^{j-1} Q_{j+1} - \Delta^{j-1} Q_j$ - кінцеві різниці j -го порядку.

Розрахункові значення щільності розподілу зернового потоку $Q_m(\mu, S)$ у рівновіддалених точках пройденого сівалкою шляху S при висіванні різних фракцій насіння пшениці за першим та другим наповненням бункера, визначені за формулами (2.11), (2.12) при заданих параметрах, представлені в табл. 2.2.

Як видно з даних табл.2.2, довжина шляху S_B і зміна щільності зернового потоку $Q_{mf}(\mu, S)$ при висіванні різних фракцій пшениці мають суттєві відмінності.

По мірі розвантаження бункера та збільшенні величини пройденого сівалкою шляху щільність розподілу зернового потоку змінюється пропорційно крутизні зміни коефіцієнта заповнення жолобків (рис.2.5).

Таблиця 2.2.

Значення щільності розподілу зернового потоку при висіванні насіння пшениці на шляху S_B за першим (1) та другим (2) наповненням бункера

Фракція пшениці: $A = 25 \text{ г/тис.шт}$, $\gamma = 760 \text{ г/дм}^3$

Оцінку відносного відхилення значень фактичної щільності зернового потоку Q_{mf} від заданої $Q_{mз} = 45 \text{ ум} / \text{м}$ можна здійснити шляхом аналізу даних (табл.2.3) визначених за формулою

Відносне відхилення фактичного значення щільності розподілу зернового потоку від заданого за першим (1) та другим (2) проходженням шляху S_B

Аналіз даних табл. 2.3 показує, що величина відносного відхилення фактичної щільності $Q_{mf}(\mu, S)$ від заданої $Q_{\text{нз}} = 45$ шт/м за першим проходженням шляху S_B для більш крупних фракцій насіння досягає в точці максимуму 6,13%, а для більш дрібних фракцій 4...5,18% при допустимій за агровимогами нормі відхилення 2...3%. Тобто, при налагоджуванні сівалки на задану норму висіву $Q_{\text{нз}}$ з наповненням бункером майже половина шляху

S_B буде мати щільність посіву на 3% більшу допустимої, що призводить до перевитрати посівного матеріалу та зниження врожаю. Якщо налагодження сівалки здійснити з наполовину наповненим бункером, то інша половина шляху S_B буде мати на 3% розріджений посів, що також призводить до зниження врожаю. При ємкості бункера сівалки СЗ-3,6 453дм^3 та нормі висіву насіння пшениці (фракція $A = 40 \text{ г/тис.шт}$) $110...120\text{кг/га}$ з однієї заправки можна засіяти близько 3га поля (8км гону при ширині захвату 3,6м). Якщо врахувати вплив означених вище факторів, то можна прийти до висновку, що близько 1/3 частини поля буде засіяно зі значним відхиленням від допустимих агротехнічних вимог. В результаті проведеного дослідження встановлено, що на роботу висівних апаратів зернової сівалки в польових умовах діють зовнішні фактори, які впливають на зміну норми висіву. За конкретних умов (відсутності тряски, вібрації, запиленості тощо) сівалка, яка представляє собою систему з розімкнутим циклом керування, забезпечує стабільну норму висіву і рівномірний розподіл зернин вздовж рядка. Найбільш вагомим регулярним фактором впливу на зміну фактичної норми висіву в польових умовах є коефіцієнт заповнення жолобків катушки, залежний від наявного обсягу зерна в бункері, типу фракції посівного матеріалу, запиленості жолобків та довжини пройденого сівалкою шляху. Сівалка самостійно не може виправити таке положення і допускає значні відхилення в нормі висіву, що приводить до втрати валового збору зернових культур і великих економічних збитків. Для подолання цього недоліку необхідно покращити якість керування технологічним процесом шляхом встановлення на зернові сівалки системи автоматичного керування висівом, яка повинна оперативно реагувати як на фракцію посівного матеріалу, так і на характер зміни щільності розподілу зернового потоку в довільних точках шляху і забезпечувати сталість норми висіву в допустимих агровимогами межах [8]. Проведені дослідження відкривають перспективу створення засобів контролю зернового потоку та управління ним у конкретних

технологічних умовах.

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження процесу формування зернового потоку висівною системою сівалки, що виступає регульованим об'єктом, дають можливість зробити наступні висновки:

1. Встановлена аналітична залежність продуктивності зернового потоку, що формується на виході катушкового висівного апарата, від вхідних та зовнішніх факторів, конструктивних і змінних регульовальних параметрів висівної системи, аналіз якої показує, що сумарна продуктивність першого-третього активних шарів насіння знаходиться в межах 97,9...98,4% від загальної. Тому у висівному апараті необхідно забезпечувати три активних шари насіння віддаленням денця від катушки.

2. Встановлено, що найбільш вагомим фактором впливу на зміну фактичної норми висіву є коефіцієнт заповнення жолобків катушки, залежний від наявного обсягу зерна в бункері, типу фракції посівного матеріалу, запиленості жолобків та довжини пройденого сівалкою шляху, що дозволило встановити значні межі відхилень і неможливість виправлення даного положення самим технологічним агрегатом.

3. Визначено, що засіб реєстрації зернин повинен фіксувати до 350...400 насінин в секунду, середньостатистичний інтервал між якими при максимальній нормі висіву 250 кг/га та швидкості руху агрегату $4,6...12,4 \text{ км/год}$ змінюється в діапазоні $0,0023...0,0063 \text{ с}$, а максимальна щільність зернового потоку за термін реєстрації однієї зернини ($0,009...0,016 \text{ с}$) коливається в діапазоні $2...13 \text{ шт}$. Середня щільність зернового потоку за термін реєстрації однієї зернини $0,002...0,004 \text{ с}$ складає $1...2 \text{ шт}$. Площина зони контролю повинна бути не меншою $40 \times 40 \text{ мм}$, а при стендових випробуваннях - $50 \times 100 \text{ мм}$. Засіб повинен забезпечувати реєстрацію кожної зернини окремо до $7...12 \text{ шт}$., що одночасно перетинають площину контролю та рухаються з швидкістю до 9 м/с , розпізнавати дроблені зернини.

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	42
		№ докум.				

З ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ШЛЯХІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧИХ ЗАСОБІВ РЕЄСТРАЦІЇ ЗЕРНОВОГО ПОТОКУ

3.1. Аналіз можливостей ємнісних і оптичних датчиків об'ємної дії, які застосовуються в діючих системах контролю висіву

Незважаючи на різнобічність апаратної реалізації бортових систем контролю висіву (СКВ) (різні типи мікроконтролерів, елементів спряження, відображення інформації тощо) і прив'язаного до неї програмного забезпечення, в цілому вони надають механізатору майже однотипну інформацію про: проходження насіння по висівним патрубкам; зменшення інтенсивності зернового потоку для суцільного висіву; забивання або відсутність висіву в патрубок із зазначенням його номера; кількість "двійників" (в %), "пропусків" (в %), норму висіву (в шт./п.м.) для сівалок точного висіву; рівень насіння і добрив у бункерах; швидкість руху сівалки (км/год); пройдений шлях (км); засіяну площу (га) тощо. Функціональні можливості бортової системи можна безперервно вдосконалювати, шляхом внесення змін в програмне забезпечення або реалізації на більш потужних мікро контролерах. В недалекому майбутньому бортову систему замінить багатофункціональний бортовий комп'ютер.

Особливо проблемними компонентами в СКВ є датчики – реєстратори зернин в потоці. Темпи їх вдосконалення є більш тривалими, а шляхи – складнішими. На сьогодні в СКВ найбільше використання мають два типи датчиків зернового потоку – ємнісні і оптичні. За своєю фізичною природою ємнісні датчики є пристроями об'ємної дії – реагують на зміну діелектричної проникності пролітаючими між обкладинками конденсатора зернинами. В діючих СКВ використовуються і оптичні датчики об'ємної дії, які реагують на зміну інтенсивності світлового потоку на вході фотоприймача при перетині

насінинами площини контролю. Для визначення можливостей використання датчиків об'ємної дії для реєстрації зернового потоку, що формується різними типами висівних апаратів сівалок, було проведено ряд

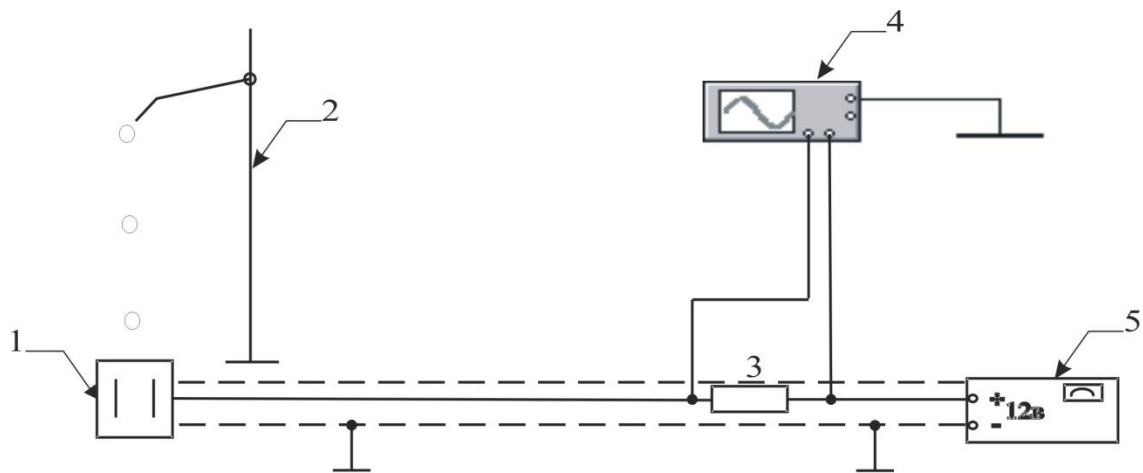


Рис. 3.1. Установка для дослідження датчика об'ємної дії: 1 – датчик, 2 – штатив, 3 – резистор R_n , 4 – блок живлення, 5 – осцилограф експериментальних і теоретичних досліджень. Дослідження функціональних можливостей ємнісного датчика висіву СКС «Нива 23» [29, 30] виконувалися за допомогою лабораторної установки, представленої на рис.3.1.

В якості об'єктів контролю було обрано насіння кукурудзи, яке давало найбільшу амплітуду імпульсу реєстрації. Задана швидкість руху насіння в площині контролю датчика визначалася висотою його скидання за допомогою штатива 2. При перетині насінням площини контролю датчика 1 на його виході формувалися імпульси, амплітуда і форма яких, виділена за допомогою навантажувального резистора 3 ($R_n = 750\text{ом}$), реєструвалася цифровим осцилографом 4 типу HPS5 та фотокамерою.

Живлення для датчика напругою $U = \pm 12\text{в}$ подавалося від джерела постійного струму 5 типу В5-50. Результати досліджень, у формі осцилограм, представлені на рис. 3.2, а параметри сигналів, сформованих при перетині площини датчика однією та двома зернинами, – таблицями 3.1 та 3.2.

Аналіз сигналів (табл. 3.1) показує, що при збільшенні швидкості руху

насіння V_z тривалість імпульсів реєстрації $\tau_{\tilde{n}}$ зменшується, а амплітуда $U_{\tilde{n}}$ - незначним чином збільшується. Остання залежить також від положення насінини в момент перетину нею площини контролю.

Таблиця 3.1

Параметри сигналів при скиданні однієї насінини

№ досліду	1	2	3	4
Висота скидання H , <i>см</i>	2	10	20	40
Швидкість насіння V_z , <i>м/с</i>	0,63	1,4	1,98	2,8
Амплітуда імпульсу U_c , <i>мв</i>	103	140	149	159
Тривалість імпульсу τ_c , <i>мс</i>	24	16	12	8

Таблиця 3.2

Параметри сигналів при скиданні двох насінин

№ досліду	5	6	7	8
Розміщення насінин вздовж напрямку руху	Паралельно або перекриваються	Відстань 3 ÷ 5 <i>мм</i>	Відстань 10 ÷ 20 <i>мм</i>	Відстань 30 ÷ 40 <i>мм</i>
Висота скидання першої насінини $H = 10$ <i>см</i>				
Швидкість насіння V_z , <i>м/с</i>	1,4 ÷ 1,43	1,4 ÷ 1,47	1,4 ÷ 1,53	1,4 ÷ 1,66
Амплітуда імпульсу U_c , <i>мв</i>	210	127	141	155
Тривалість імпульсу τ_c , <i>мс</i>	16 ÷ 20	26	16/12	16/22

При паралельному перетині двома насінинами площини контролю датчика (дослід №5) амплітуда сигналу збільшується майже вдвічі (рис. 3.2),

залежно від їх положення, а тривалість імпульсу така ж, як і при перетині однієї насінини. Якщо дві насінини, при перетині площини реєстрації, частково перекривають одна одну, то амплітуда імпульсу може зменшитися до рівня однієї насінини, а тривалість – збільшитися. В такому випадку складно знайти критерій для реєстрації двох насінин.

Коли насінини летять одна услід другій і відстань між їх кромками не перевищує 10 мм (дослід №6), то імпульс датчика роздвоюється і приймає форму двох горбів. Амплітуда сигналу така ж, як і від однієї насінини, а тривалість імпульсу збільшується майже вдвічі. Аналогічна форма сигналу може бути і від однієї насінини, коли вона ударяється об стінку датчика (див. дос

лід №8). Введення порогу спрацювання для виділення двох сигналів ускладнюється тим, що амплітуди сигналів залежать також і від швидкості руху насіння та його положення в площині контролю.

Тобто, при появі такого сигналу виділити двійники дуже складно.
Розглянутий випадок вказує також на те, що визначена вище висота зони

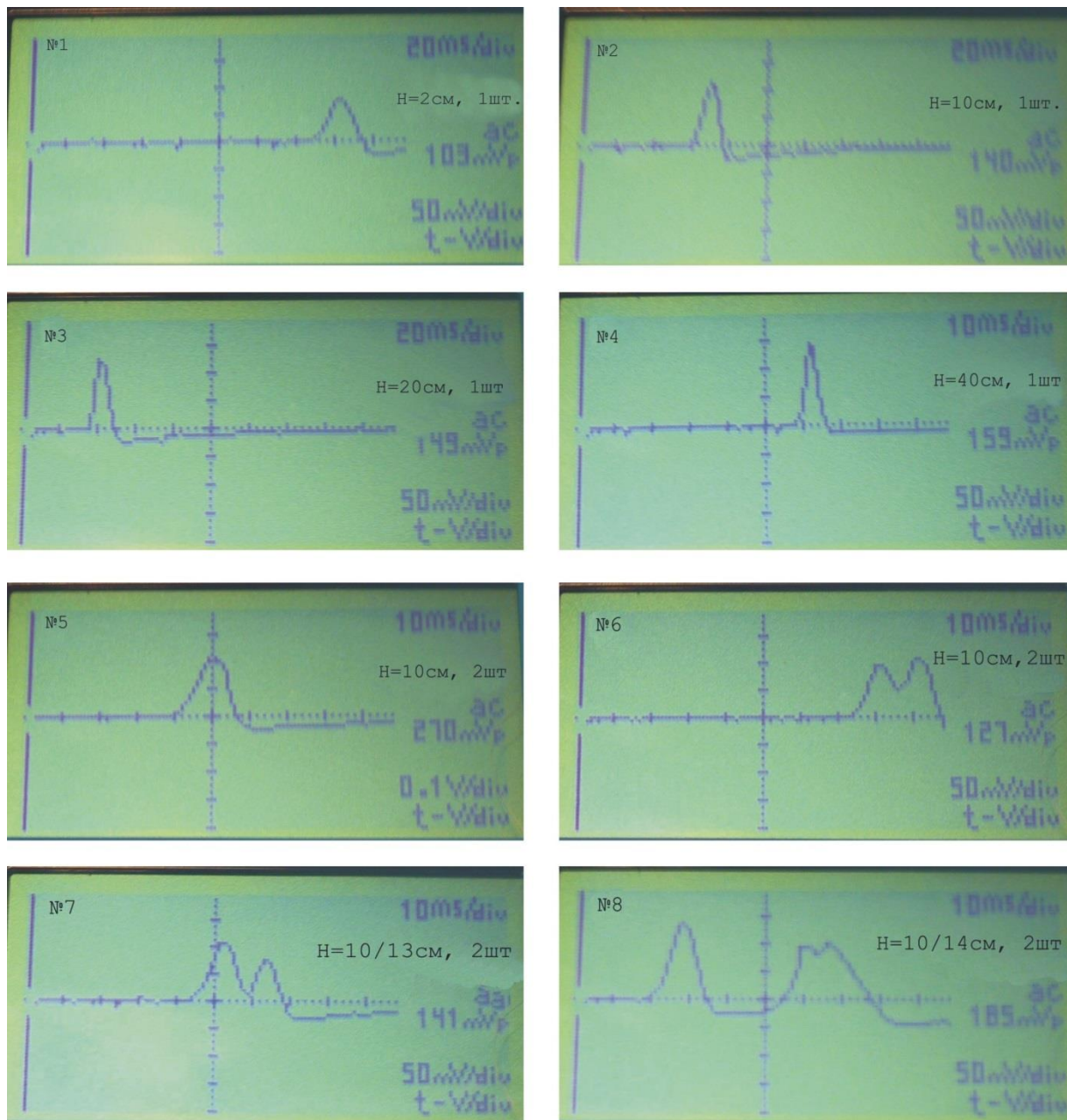


Рис. 3.2. Осцилограми дослідження функціональних можливостей ємнісного датчика

чутливості ємнісного датчика $h_k = 8 \text{ мм}$ є заниженою, її можна приймати на рівні $h_k = 9 \div 10 \text{ мм}$, що збільшує розрахунковий діапазон тривалості імпульсів реєстрації. Коли насінини летять одна услід другій і відстань між їх кромками

перевищує $20 \div 30$ мм (дослід №7) або більше (дослід №8), то формуються два незалежних імпульси із своєю амплітудою і тривалістю. При цьому кожна насінина реєструється як окремий одиночний об'єкт.

Для оптичного датчика найкращі результати отримані при використанні лінійного випромінювача, що представляє собою групу мініатюрних ламп накаливання або світлодіодів по усій ширині контрольованого поля з щілинною діафрагмою в 1-2мм та лінійного фотоприймача у вигляді 4-6 фоторезисторів, які перекривають фоточутливим шаром контрольоване поле по усій ширині без зазорів і включаються до вимірювального ланцюга за мостовою схемою. Результати випробувань оптичного датчика об'ємної дії показали, що процес і характер формування вихідних сигналів у нього подібний до ємнісного. Єдине, що при меншій висоті зони чутливості оптичний датчик має більш високу дозвільну здатність при реєстрації зерен-двійників які рухаються один услід другому.

Використання зернин кукурудзи дало можливість більш наочно дослідити процес формування вихідних сигналів датчика, оскільки при прольоті зернин пшениці, буряку тощо ці сигнали мають меншу амплітуду, форму і тривалість. Проведені дослідження показали, що амплітуда, форма і тривалість вихідних сигналів залежать від швидкості руху об'єктів, їх діелектричної проникності (для ємнісних датчиків), площі проекції зображення (для оптичних датчиків), положення і кількості об'єктів в площині контролю, відстані між об'єктами вздовж осі падіння. Датчики об'ємної дії надійно реєструють поодинокі об'єкти. Якщо ж зону чутливості датчика одночасно перетинають декілька дискретних об'єктів, то формується вихідний сигнал з якого не можна виділити ці об'єкти. В цьому випадку група об'єктів фіксується як один об'єкт. Гарантовано розпізнаються лише зерна двійники, відстань між якими вздовж напрямку падіння перевищує висоту

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	48
		№ докум.				

зони чутливості датчика, яка і визначає його дозвільну здатність.

Дослідимо можливості використання ємнісного та оптичного датчиків об'ємної дії в системі контролю висіву зернової сівалки типу СЗ-3.6 у якої формується найбільше складний для реєстрації потік дискретних об'єктів. Для цього визначимо спершу терміни реєстрації кожної окремої насінини зернового потоку ємнісним та оптичним датчиками. Якщо геометричні розміри насіння не перевищують висоти зони чутливості ємнісного датчика h_k , то тривалість імпульсу реєстрації насінини Δt_1 , що перетинає об'ємну площину контролю, залежить від швидкості її руху V_z і висоти зони чутливості конденсатора h_k - $\Delta t_1(h_k, V_z) = h_k / V_k$, в іншому випадку – на тривалість імпульсу буде впливати довжина проекції зернини h_z вздовж напрямку її падіння - $\Delta t_1(h_z, V_z) = h_z / V_k$. Висота пластин плоского конденсатора ємнісного датчика, що використовується в СКС «Нива 23» [29], вздовж напрямку руху насіння дорівнює $h_k = 5 \text{ мм}$. Так як пластини розташовані на відстані $d_k = 3 \cdot h_k = 15 \text{ мм}$ одна від одної, то напруженість електричного поля виходить за межі однорідного поля, тому висоту зони чутливості конденсатора h_k можна прийняти на рівні $h_k = 8 \text{ мм}$. Геометричні розміри насіння пшениці коливаються в межах $1,4 \div 8,6 \text{ мм}$ [11] і є близькими до висоти зони чутливості ємнісного датчика h_k .

Тривалість імпульсу реєстрації зернини оптичним датчиком Δt_2 , який працює за принципом реєстрації сумарного світлового потоку, що формується в площині фотоприймача при перетині нею зони контролю, залежить від довжини проекції насінини на вісь падіння h_z , перпендикулярну площині контролю датчика та швидкості її руху - $\Delta t_2(h_z, V_z) = h_z / V_k$.

На рис. 3.3 представлено графіки залежності терміну реєстрації (тривалість імпульсу) насіння в потоці від швидкості його руху у ємнісного

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	49
		№ докум.				

датчика $\Delta t_1(0.008, V_z) = h_k / V_k$ при висоті зони чутливості $h_k = 8 \text{ мм}$ та у оптичного датчика $\Delta t_2(h_z, V_z) = h_z / V_k$ при довжині проекції насіння на вісь падіння $h_z = 2 \text{ і } 9 \text{ мм}$. Аналіз графіків показує, що при швидкості руху насіння

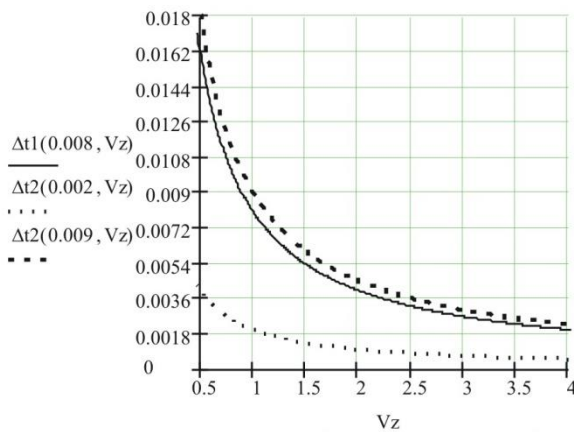


Рис. 3.3. – Залежність часу виміру $\Delta t, \text{с}$

$V_z = 0,5 \div 0,9 \text{ м/с}$ на відстані $2 \div 5 \text{ см}$ від денця висівного апарата тривалість імпульсів реєстрації у ємнісного датчика коливається в межах $\Delta t_1(V_z) = 0,009 \div 0,016 \text{ с}$, а у оптичного – для малих фракцій насіння ($h_z = 2 \text{ мм}$) в межах $\Delta t_2(V_z) = 0,002 \div 0,004 \text{ с}$, а для

великих ($h_z = 9 \text{ мм}$) в межах $\Delta t_2(V_z) = 0,009 \div 0,018 \text{ с}$ [41, 42]. Ближче до дна борозни при швидкості насіння $V_z = 2 \div 4,6 \text{ м/с}$ [43] тривалість імпульсів реєстрації у ємнісного датчика коливається в межах $\Delta t_1(V_z) = 0,002 \div 0,004 \text{ с}$, а у оптичного – для малих фракцій насіння ($h_z = 2 \text{ мм}$) в межах $\Delta t_2(V_z) = 0,0005 \div 0,001 \text{ с}$, а для великих ($h_z = 9 \text{ мм}$) в межах $\Delta t_2(V_z) = 0,0023 \div 0,0045 \text{ с}$.

Згідно з агротехнічними вимогами [7, 8] для кожного виду зернової культури встановлена своя норма висіву Q , яка є базовим показником, залежним від регіону, якості ґрунту, сорту насіння, тощо:

$$Q_c = 10^2 \cdot Q \cdot b \cdot V_c / (3,6 \cdot A) (\text{шт/с}), \quad (3.1)$$

де Q_c - щільність зернового потоку на виході сошника в шт/с при заданій нормі висіву Q (кг/га); b – ширина міжряддя, м; A - вага 1000 шт. насіння, грам; V_c - швидкість руху сівалки, км/год.

Середньостатистична кількість зернин пшениці (фракція $A = 30z/1000um$) [11] яка за заданий інтервал часу Δt (с) може перетинати площину поперечного перерізу при різних швидкостях руху сівалки V_c (км/год) та максимальній нормі висіву $Q_{max} = 250 \text{ кг/га}$ визначається на підставі співвідношення (3.2) за виразом

$$f_{cp}(V_c, \Delta t) = Q_c \cdot \Delta t = 10^2 \cdot Q \cdot b \cdot V_c \cdot \Delta t / (3,6 \cdot A) \text{ (шт / } \Delta t \text{с)}, \quad (3.2)$$

де $f_{cp}(V_c, \Delta t)$ - середнє значення щільності зернового потоку $f_{cp}(V_c, \Delta t)$ в інтервалі часу Δt .

Занесені до табл. 3.3 результати розрахунків щільності зернового потоку $f_{cp}(V_c, \Delta t)$ (шт) в інтервалі Δt (с) при різних швидкостях руху сівалки V_c (км/год) слугують підставою для оцінки дозволяючої здатності датчиків. При швидкостях руху насіння $V_z = 0,5 \div 0,9 \text{ м/с}$ на виході висівного апарату кількість одночасно пролітаючих насінин за термін реєстрації однієї ($\Delta t = 0,01 \dots 0,02 \text{ с}$) коливається в діапазоні 1,6...8,6шт, а при швидкостях насінин $V_z = 2 \div 4,6 \text{ м/с}$ на виході насіннепроводу кількість одночасно пролітаючих насінин за термін реєстрації однієї ($\Delta t = 0,002 \dots 0,004 \text{ с}$) коливається в діапазоні 0,36...1,72шт [7].

Таблиця 3.3

Середні значення щільності $f_{cp}(V_c, \Delta t)$ в інтервалі Δt (с) при різних V_c (км/год)

Інтервал виміру Δt (с)	Швидкість руху сівалки V_c (км/год)						
	4,6	5,9	7,2	8,5	9,8	11,1	12,4
0,002	0.32	0.41	0.5	0.6	0.68	0.77	0.86
0,004	0.64	0.82	1.0	1.18	1.36	1.54	1.72
0,01	1.6	2.05	2.5	3	3.4	3.85	4.31

0,02	3.2	4.1	5	5.9	6.8	7.7	8.6
------	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----

Визначимо можливість використання ємнісного та оптичного датчиків об'ємної дії для реєстрації зернового потоку на виході висівного апарата та на рівні дна борозни сівалки СЗ-3,6.

Аналіз результатів дослідження зернового потоку сформованого катушковим висівним апаратом показав, що датчик, призначений для роботи в системах комп'ютерної ідентифікації, повинен реєструвати до $350 \div 400$ насінин в секунду, середньостатистичний інтервал між якими, при максимальній нормі висіву $Q = 250 \text{ кг/га}$ та швидкості руху сівалки $V_c = 4,6 \div 12,4 \text{ км/год}$, змінюється в діапазоні $T_\delta = 0,0023 \div 0,0063 \text{ с}$, а щільність потоку в заданих інтервалах виміру відповідає встановленим в табл. 3 параметрам.

Оскільки тривалість імпульсів реєстрації при швидкості руху насіння $V_z = 0,5 \div 0,9 \text{ м/с}$ у ємнісного датчика коливається в межах $\Delta t_1(V_z) = 0,009 \div 0,016 \text{ с}$, а у оптичного, для малих фракцій насіння ($h_z = 2 \text{ мм}$) - в межах $\Delta t_2(V_z) = 0,002 \div 0,004 \text{ с}$, а для великих ($h_z = 9 \text{ мм}$) - в межах $\Delta t_2(V_z) = 0,009 \div 0,018 \text{ с}$, то перший може реєструвати на виході висівного апарата до $63 \div 111$ насінин в секунду, а другий – відповідно до $250 \div 500 \text{ шт/с}$ та до $56 \div 111 \text{ шт/с}$. Максимальні значення щільності потоку насіння (див. табл. 3.3) при заданих інтервалах виміру оптичного датчика $\Delta t_2(V_z) = 0,002 \div 0,004 \text{ с}$ та $\Delta t_2(V_z) = 0,009 \div 0,018 \text{ с}$ коливаються в межах **$0,36 \dots 1,72 \text{ шт}$** і **$1,6 \dots 8,6 \text{ шт}$** , а для ємнісного, при $\Delta t_1(V_z) = 0,009 \div 0,016 \text{ с}$ - в межах **$1,6 \dots 8,6 \text{ шт}$** [42]. Тобто, за своїми функціональними можливостями ні ємнісний, ні оптичний датчики об'ємної дії використовувати для реєстрації насіння в потоці на виході катушкового висівного апарата не можливо.

Так як тривалість імпульсів реєстрації при швидкості руху насіння $V_z = 2 \div 4,6 \text{ м/с}$ у ємнісного датчика коливається в межах $\Delta t_1(V_z) = 0,002 \div 0,004 \text{ с}$, а у оптичного, для великих фракцій ($h_z = 9 \text{ мм}$), - в межах $\Delta t_2(V_z) = 0,0023 \div 0,0045 \text{ с}$, то перший може реєструвати на рівні дна борозни до $250 \div 500$ насінин в секунду, а другий – до $222 \div 444 \text{ шт/с}$. Оскільки на рівні дна борозни зерновий потік вважається рівномірним, то в якості бази порівняння приймаємо середні значення щільності в заданому інтервалі виміру (див. табл. 3.3). Середні значення щільності потоку насіння при заданих інтервалах виміру оптичного і ємнісного датчиків при $\Delta t(V_z) = 0,002 \div 0,004 \text{ с}$ знаходяться в межах $0,36 \dots 1,72 \text{ шт}$. Тобто, на виході сошника оптичний датчик об'ємної дії можна використовувати лише для реєстрації малих фракцій насіння ($h_z \leq 2 \text{ мм}$), а оптичний датчик для великих фракцій і ємнісний датчик для усіх типів фракцій, за своїми функціональними можливостями, взагалі не придатні для реєстрації такого зернового потоку, так як вони не здатні реєструвати насіння-двійники, що летять паралельно.

Оскільки кількість зерен – двійників в потоці просапних культур на виході апаратів сівалки точного висіву досягає 12-20% [29, 30], то і параметри цього потоку подібні до зернового на виході сошника сівалки СЗ-3,6, тому похибка реєстрації в 1-2% в діючих системах контролю висіву оснащених датчиками об'ємної дії не може бути достовірною.

Таким чином приходимо до висновку, що подальша модернізація існуючих типів ємнісного та оптичного, видимої частини спектру, датчиків, як найбільш простих за конструкцією та технологією виготовлення, з метою використання їх для ідентифікації зернового потоку недоцільна і безперспективна. Необхідно розробляти датчики іншого типу, які б забезпечували реєстрацію до 2-3 паралельно пролітаючих зернин в площині його контролю.

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	53
		№ докум.				

3.2. Дослідження шляхів створення системи комп'ютерної ідентифікації зернового потоку

Дослідженнями встановлено, що поштучну ідентифікацію окремих зернин в потоці можна здійснювати з високою ефективністю двома взаємно перпендикулярно розташованими системами “випромінювач-приймач”, шляхом сканування вздовж координат X, Y оптичних променів, які слід конструктивно виконувати у вигляді прямокутної рамки (рис.1.2) [14, 17, 21, 52-63]. Почергове підключення дискретних оптронних пар (ОП), шляхом їх сканування вздовж координат X, Y , імітує формування площини контролю із взаємно перпендикулярних паралельних променів. При перетині зернинами площини контролю порушується потік енергії від джерела випромінювання до приймача, що слугує сигналом про знаходження об'єкту в площині реєстрації. Завдяки імітації паралельного світлового потоку в площині реєстрації формуються не викривлені зображення об'єктів. Аналіз інформації, яка рядок за рядком поступає з виходів променевих перетворювачів, розміщених вздовж координат X, Y , в мікропроцесорну систему обробки даних дозволяє ідентифікувати кожну зернину в загальному потоці дискретних об'єктів. При проведенні досліджень використовувалася реєструюча рамка розміром 50X100мм. Для забезпечення необхідної дозволяючої здатності при ідентифікації об'єктів діаметром $d \geq 2\text{мм}$ по одному виміру було конструктивно розміщено 48 оптронних пар (ОП) “випромінювач-приймач”, а по іншому 16 ОП. Розмір рамки, кількість і діаметр променів визначаються конструктивними параметрами площини реєстрації датчика та геометричними розмірами зернин - об'єктів реєстрації. Акцентуємо увагу на тому, що принцип роботи системи з лінійок ОП базується на перериванні об'єктами оптичних променів, а не на відображенні їх від об'єктів. При реєстрації відображених променів розміри зображень

об'єктів будуть залежати від координат місця перетину ними площини контролю, що ускладнює алгоритм їх ідентифікації.

Сканування рядків оптронних пар з заданою частотою ($f \geq 5\text{кГц}$) повинно бути неперервним. Навіть часткова втрата інформації приведе до похибки ідентифікації. В процесі проведення дослідних робіт аналізувалися і інші шляхи побудови датчиків реєстрації дискретних рухомих об'єктів в потоці. Формування і аналіз покадрових зображень в пристроях реєстрації потоку зернин виключається, внаслідок ускладнення методики автоматичної ідентифікації об'єктів від кадру до кадру. Замість лінійок ОП в пристрої реєстрації можна використовувати лінійку приладів із зарядним зв'язком (ПЗЗ), а зі сторони випромінювачів – освітлену щілину з матовим склом, яка б виконувала роль екрану (фону) з розсіяним потоком світла. До недоліків цієї конструкції слід віднести: необхідність неперервної підтримки рівня яскравості «білого» фону; не визначена і можливість сканування лінійки ПЗЗ з заданою для реєстрації пролітаючих об'єктів частотою ($f \geq 5\text{кГц}$).

Сканування площини контролю датчика за двома координатами дозволяє розпізнавати дві і більше насінини, які одночасно перетинають площину реєстрації. Проілюструємо це на прикладі. Будемо контролювати поперечний переріз насіннєпроводу системою «випромінювач-приймач» ідеалізованих оптичних променів. Нехай ці промені будуть мати малий діаметр порівняно з розміром контрольованого об'єкта, мають циліндричну форму, не впливають один на одного і не діють на сусідні приймачі. Тобто, маємо лінійку паралельних променів розгорнутих вздовж координати X (див. рис. 3.4а). Аналізуємо можливість розпізнавання пролітаючих об'єктів. Об'єкти 3 і 4 розпізнаються ідеально, а здвоєні об'єкти 5 і 6 не розпізнаються, оскільки однакове «затемнення» частини приймачів 7 відбувається як одним так і двома об'єктами. Тобто, тут об'єкт 5 буде розпізнано, а об'єкт 6 не буде

виявленим зважаючи на те, що знаходиться в енергетичній тіні відносно джерела випромінювання 1. Зважаючи на достатньо високу імовірність здоєння зерен в насіннєпроводі, доцільно такі зерна виявляти.

Встановимо у цьому ж поперечному перерізі насіннєпроводу таку ж лінійку паралельних променів розгорнутих вздовж координати У. Як видно з рис. 3.4б, відносно об'єкта 6, що не був розпізнаним, отримана додаткова інформація у вигляді «затемнення» частини приймачів 7 у іншій системі. Тепер всі пролітаючі через контрольований поперечний переріз об'єкти виявилися розпізнаними. Тому пристрій, що складається з двох ідеалізованих систем «випромінювач-приймач», розташованих відносно розповсюдження променів взаємно перпендикулярно в одній площині насіннєпроводу може здійснювати поштучну ідентифікацію кожної зернини з високою ефективністю.

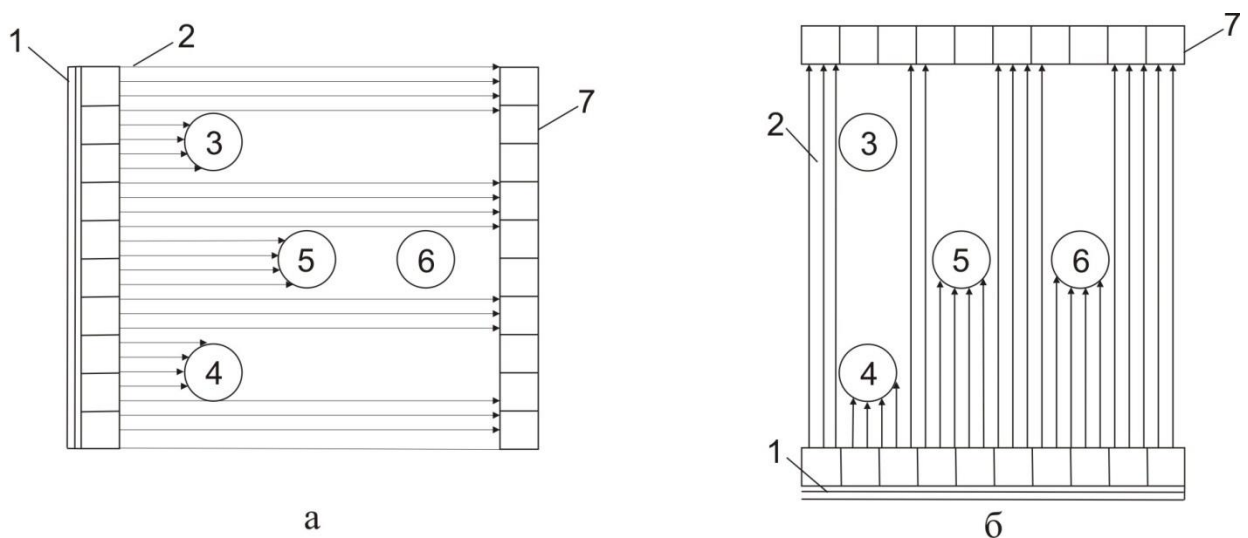


Рис. 3.4. Схема взаємодії зерен в конкретному поперечному перерізі насіннєпроводу з променями певної фізичної природи з прямим (а) і взаємно перпендикулярним (б) їх проходженням: 1 – джерело променів; 2 – промені; 3,4,5,6 – зерна; 7 – приймачі променів

Підхід ідентифікації окремих зернин в потоці розглянуто на ідеалізованих променях, їх джерелах і приймачах. Аналіз показав, що

найбільш перспективним є використання променів світла. Оскільки інфрачервоні промені не належать до діапазону видимого світла, яке є перешкодою при вимірюванні, приймачі найбільш чутливі до інфрачервоного випромінювання [45-47] і зберігають працездатність при запиленості до 75%, доцільно первинний перетворювач засобу ідентифікації зернового потоку будувати на пристроях інфрачервоного діапазону у вигляді оптронних пар, створюваних на базі незалежних напівпровідникових випромінювачів та фотоприймачів. Відповідно умовам роботи найкраще підходять світлодіод АЛ 107-А, Б і фотодіод ФД256-А. Для реєстрації зернового потоку на виході насіннєпроводу зернової сівалки бажано формувати площину контролю датчика з внутрішнім розміром $50 \times 50 \text{ мм}$. Враховуючі геометричні розміри елементів оптопар, в такій рамці в обох вимірах можна розмістити по 24 оптронні пари з кроком 2мм. Усі наступні розробки базуються на реєструючій рамці розміром $50 \times 100 \text{ мм}$, призначеній для дослідження зернового потоку формованого різними типами висівних апаратів сівалок в лабораторних та наближених до польових умовах. По одному виміру в такій рамці можна встановити 48 ОП пар з кроком 2мм, а по іншому – 16 ОП з кроком 3мм. Частота сканування площини контролю визначається з мінімально допустимого розміру реєстрованих об'єктів (прийmemo $d_c = 2 \text{ мм}$) і максимальної швидкості руху насіння. Як було встановлено, швидкість зернин пшениці на рівні дна борозни досягає $v_c = 4,6 \text{ м/с}$ [49]. Для того, щоб зареєструвати таку зернину тривалість терміну сканування повинна дорівнювати $T_{ck} = d_c / v_c = 0,43 \text{ мс}$, що відповідає частоті сканування окремими променями $f_{ck} = 2,32 \text{ кГц}$. Якщо гарантувати реєстрацію зерен пшениці за умов найвищих швидкостей перміщення $v_m = 5,3 \dots 9,19 \text{ м/с}$, то тривалість сканування може дорівнювати $T_{ck} = d_c / v_m = 0,377 \dots 0,218 \text{ мс}$, а частота сканування $f_{ck} = 2,65 \dots 4,59 \text{ кГц}$. Для гарантованої реєстрації зерен зернових

культур приймемо частоту сканування $f_{ск} = 5\text{кГц}$, а тривалість $T_{ск} = 0,2\text{мс}$. Тобто, за $0,2\text{мс}$ повинні бути послідовно реалізовані всі промені контрольованої площини.

Розглянемо процес послідовного сканування контрольованої площини у вимірі вздовж 48 ОП. Тривалість такту підключення кожної окремої ОП буде становити $T_{он} = T_{ск} / N_x = 0,2\text{мс} / 48 = 4,17\text{мкс}$. Тривалість такту сканування кожної ОП повинна перевищувати час наростання τ_n і час спаду τ_c , які для вибраного фотоприймального пристрою складають у сумі $10...15\text{мкс}$. Для надійності необхідно прийняти $T_{он} \geq 20\text{мкс}$. Отримане значення $T_{он} = 4,17\text{мкс}$ для сканування 48 ОП менше $\tau_c + \tau_n = 10...15\text{мкс}$. Тому послідовне сканування окремих ОП при частоті $f_{ск} = 5\text{кГц}$ не можливе навіть в одному напрямі, де розташовано 48 оптопар. Розв'язати дану задачу можливо блочним скануванням площини контролю з одночасним ввімкненням кількох ОП, що технічно можливо. Максимально допустима кількість променів у одному блоці може бути визначеною співвідношенням $N_{об} = T_{ск} / T_{он} = 0,2 / 0,02\text{мс} = 10$. При загальній кількості ОП $N_{\Pi} = 48 + 16 = 64$ можна організувати вісім блоків по вісім ОП. Тоді тривалість такту підключення кожного блоку буде дорівнювати $T_{он} = T_{ск} / N_{б} = 200\text{мкс} / 8 = 25\text{мкс}$. Оскільки цифрова техніка повинна задовольняти правилу кратності 2, тривалість такту підключення ОП доцільно встановити на рівні $T_{он} = 24\text{мкс}$, а період сканування $T_{ск} = 192\text{мкс}$.

Система комп'ютерної ідентифікації зернового потоку являє собою комплекс апаратних та програмних засобів [49, 59, 63]. Апаратна частина пристрою включає три послідовно з'єднаних функціональних вузла: реєстрації; синхронізації, попередньої обробки та передачі даних; обробки та видачі результатів ідентифікації.

Функціональна схема **вузла реєстрації** представлена на рис. 3.5. Він

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	58
		№ докум.				

включає 64-розрядну реєструючу рамку (48 оптронних пар вздовж одного та 16 - вздовж іншого виміру), блок підсилювачів сигналів $K_0...K_7$ та блок керування світлодіодами. Усі оптронні пари поділено на вісім блоків, в кожному з яких згруповано по 6 пар одного напрямку та 2 взаємно протилежного напрямку.

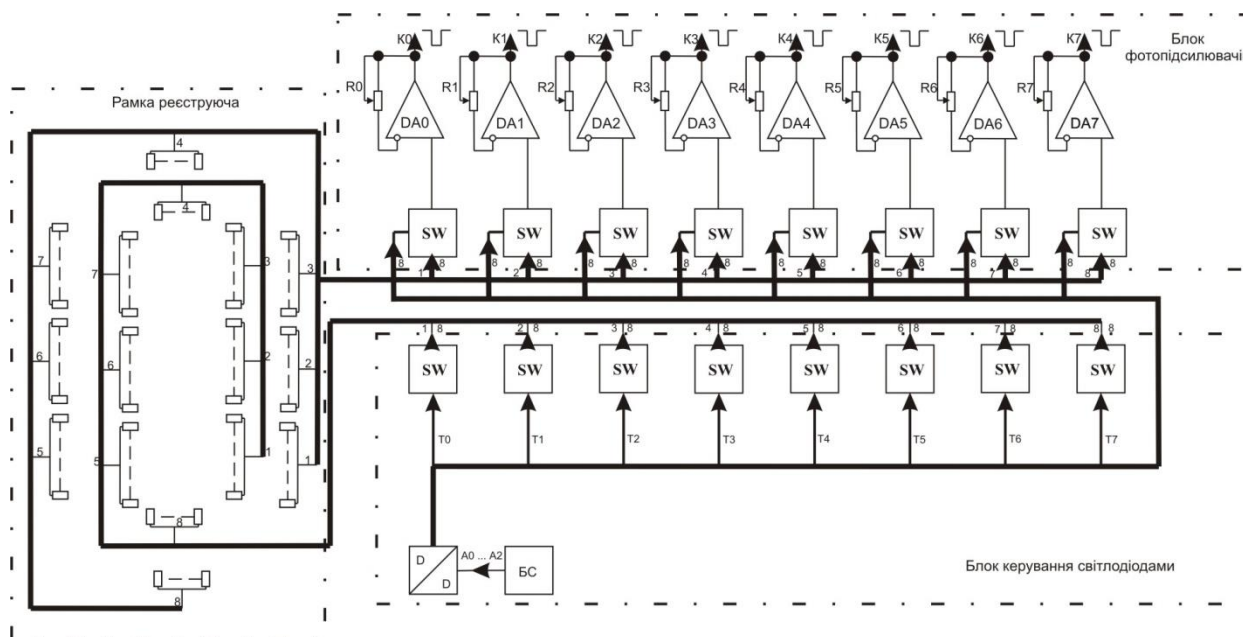


Рис. 3.5. Функціональна схема блока реєстрації зернового потоку

При формуванні блоків береться до уваги, щоб їх світлові потоки не впливали один на одного. Для забезпечення режиму поблочного сканування оптронних пар на вхід дешифратора DD вузла реєстрації від блока синхронізації BC безперервно надходять адресні сигнали $A_0...A_2$, за якими на виході дешифратора з періодом $T_{оп} = 24\text{мкс}$ формуються тактові сигнали сканування $T_0...T_7$ тривалістю $T_i = T_{оп}$. В кожному такті T_i через відповідний йому ключ струму SW засвічуються вісім світлодіодів i -го блоку, одночасно з чим до диференціальних входів восьми підсилювачів $DA_0...DA_7$ через мультимплектори SW підключаються вісім протилежних випромінювачам фотоприймачів. Сигнали зображення $K_0...K_7$ з виходу підсилювачів одночасно подаються до входів регістра верхнього та нижнього рівнів

квантування вузла синхронізації, попередньої обробки та передачі даних.

Таким чином, за період $T_{ск} = T_{оп} \times 8 = 192 \text{ мкс}$ здійснюється повний цикл сканування усієї площини контролю.

Розроблена схема **вузла синхронізації, попередньої обробки та передачі даних** (рис. 3.6) включає: два 8-розрядних RISC мікроконтролера AVR фірми Atmel типу ATmega16 (DD8, DD12); регістри формування та реєстрації сигналів верхнього RGH8 (DD1-DD7, DD9,10) та нижнього RGL8

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	
		№ докум.				60

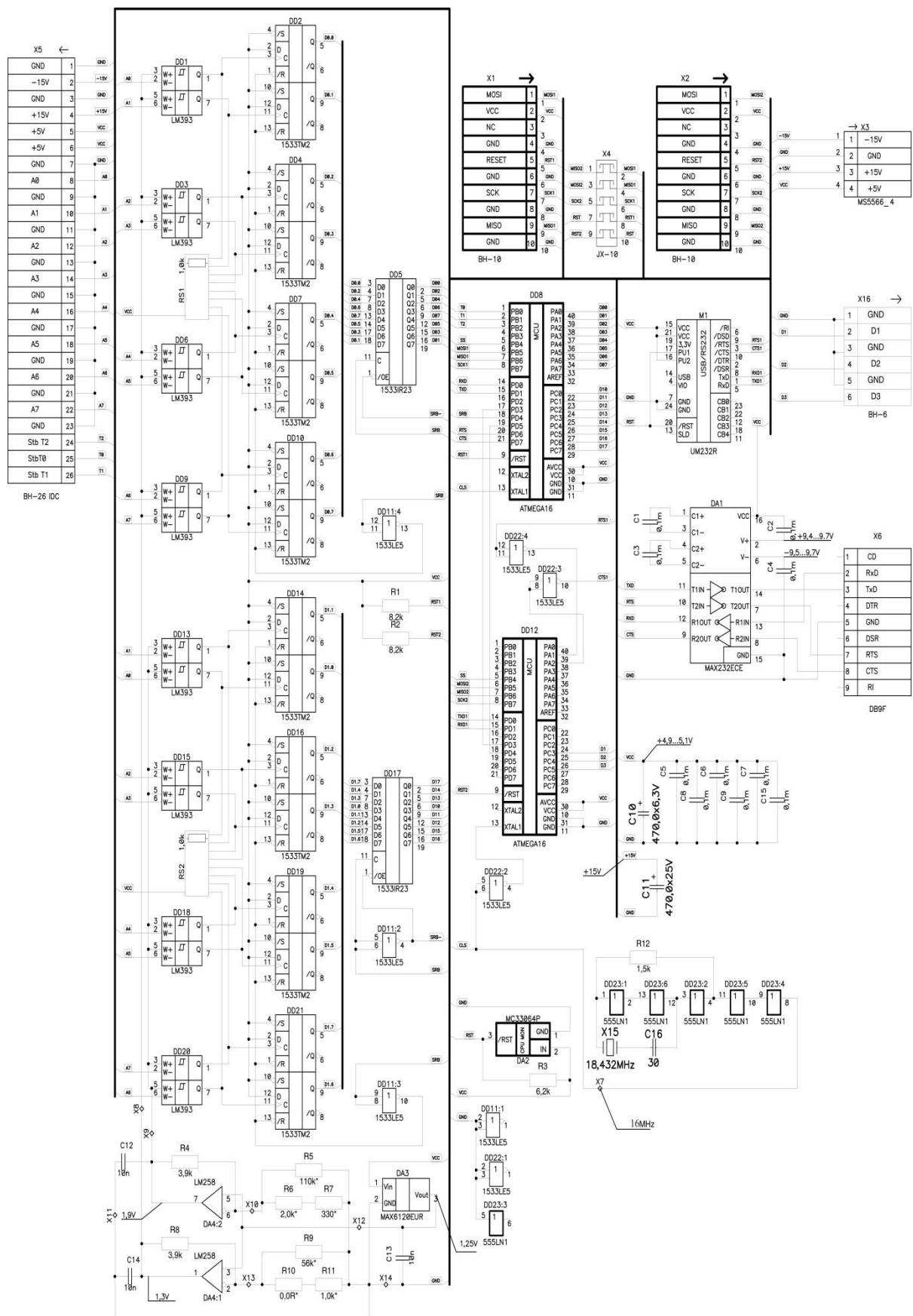


Рис.3.6. Принципова електрична схема вузла синхронізації, попередньої обробки та передачі даних до бортового комп'ютера

(DD13-DD19, DD20,21) рівнів квантування; міст USART – USB типу UM232R передачі бінарного коду зображень до бортового комп'ютера. Вказаний вузол забезпечує: формування за допомогою лічильника мікроконтролера МК1 і передачу до входів дешифратора DD вузла реєстрації адресних кодів $A_0 \dots A_2$ ($Stb_0 \dots Stb_2$) сканування оптронних пар, стан яких змінюється програмно через кожні $T_0 = 24_{\text{мкс}}$; формування бінарного коду зображень, шляхом квантування за двома рівнями отриманих від вузла реєстрації аналогових сигналів $K_0 \dots K_7$ ($A_0 \dots A_7$), і занесення його в буферні регістри верхнього RGH8 та нижнього RGL8 рівнів; зчитування з виходу регістрів RGH8, RGL8 та часткове впорядкування і накопичення прийнятих даних в проміжному буфері пам'яті; формування 64-бітного коду рядка верхнього RGH64 та нижнього RGL64 рівнів квантування; формування за «методом гістерезису» результуючого RGR64 бінарного коду зображення зареєстрованого рядка і передачу його до бортового комп'ютера через канал USART - USB. Таким чином 64-розрядний бінарний код зображення площини контролю повинен рядок за рядком формуватися даним вузлом і передаватися з швидкістю 921Кбіт/с в пам'ять бортового комп'ютера.

Безперебійне поблочне сканування оптронних пар вузла реєстрації задається 3-розрядним лічильником, який на програмному рівні моделюється мікроконтролером МК1.

Для цього в регістр порівняння OCR1A таймера–лічильника T/C1 заноситься константа $180h$, величина якої пропорційна тактовій частоті сканування ($T_0 = 24_{\text{мкс}}$), а в регістр масок TIMSK – дозвіл на переривання OC1A. При досягненні лічильником встановленого значення ($180h$) формується сигнал переривання OC1A, який запускає програму його обробки OC1A_Schet. В процесі виконання цієї програми двійковий код лічильника збільшується на одиницю і передається через Port B ($PB_0 \dots PB_2$) мікроконтролера МК1 до адресних входів $A_0 \dots A_2$ дешифратора DD вузла реєстрації через роз'єднувач X5 ($Stb_0 \dots Stb_2$). Прийняті від вузла реєстрації

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	62
		№ докум.				

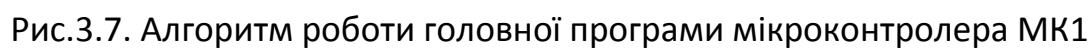
через роз'єднувач X5 аналогові сигнали $A_0 \dots A_7$ ($K_0 \dots K_7$) проходять через компаратори DD1, 3, 6, 8, 13, 15, 18, 20, порогові рівні для яких задаються схемами DA4.1, DA4.2 (рис. 3.5).

Коли величина вхідного сигналу стає меншою порогового рівня, наприклад $U_{\text{вх}} \leq 1,8B$, на виході компаратора формується вихідний сигнал логічної «1» ($2,4 \dots 5B$), який триває до моменту перевищення вхідним сигналом порогового рівня. За період такту сканування T_i таких випадків може бути декілька. Щоб запобігти хибних спрацювань, вихідні сигнали компараторів фіксуються проміжними регістрами верхнього RGH8 (DD2, 4, 7, 10) та нижнього RGL8 (DD14, 16, 19, 21) рівнів квантування. По сигналу переривання OC1B, який з'являється через 23мкс після зміни стану лічильника поточного такту сканування T_i , на виході PD_4 порту D мікроконтролера МК1 формується сигнал ШІМ позитивної полярності тривалістю $\tau = 1 \mu\text{s}$, по передньому фронту якого дані з виходу проміжних регістрів заносяться в буферні регістри верхнього RGH8 (DD5) та нижнього RGL8 (DD17) рівнів. Цей же, але уже інвертований сигнал ШІМ, надає дозвіл на зчитування даних з буферних регістрів в мікроконтролер МК1 і здійснює обнулення проміжних регістрів.

На 23-й мікросекунді поточного такту сканування T_i по сигналу OC1B запускається програма обробки переривань OC1B_Date, яка здійснює зчитування даних з виходу буферних регістрів RGH8, RGL8 через порти А і С в регістри тимчасового зберігання мікроконтролера МК1. Алгоритм роботи головної програми мікроконтролера МК1 представлено на рис. 3.7, в якій послідовність виконання кожного блоку підпрограм задається програмою розгалуження Pr_Cicl_Buf0, шляхом аналізу бітів регістра Rflag та номерів лічильника циклів Sch_Cycle. На рис.3.8. представлено вміст вхідних 8-ми неупорядкованих байтів RGH8 (RGL8), які послідовно зчитуються програмою обробки переривань Data_OC1B в регістри загального користування

мікроконтролера МК1 в кожному такті сканування $T_0 \dots T_7$. По завершенні роботи програми обробки переривання ОС1А включається підпрограма попередньої обробки даних Pr_Buf0 (рис. 3.9). Згідно з алгоритмом роботи цієї програми спершу аналізується номер зчитаного в регістри загального користування невідсортованого байта нижнього RGL8 та верхнього RGH8 рівнів, на підставі якого виконується попереднє потетрадне впорядкування його бітів і занесення отриманих даних у відповідні комірки пам'яті проміжного 16- байтного буфера даних Buf0.

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	
		№ докум.				64



7-й байт	55	39	23	7	62	46	30	14
6-й байт	53	37	21	5	60	44	28	12
5-й байт	51	35	19	3	58	42	26	10
4-й байт	49	33	17	1	56	40	24	8
3-й байт	63	47	31	15	54	38	22	6
2-й байт	61	45	29	13	52	36	20	4
1-й байт	59	43	27	11	50	34	18	2
0-й байт	57	41	25	9	48	32	16	0

Рис. 3.8. Вміст вхідних
невпорядкованих байтів RGL8
(RGH8)

7-й байт	63	47	31	15	55	39	23	7
6-й байт	61	45	29	13	53	37	21	5
5-й байт	59	43	27	11	51	35	19	3
4-й байт	57	41	25	9	49	33	17	1
3-й байт	62	46	30	14	54	38	22	6
2-й байт	60	44	28	12	52	36	20	4
1-й байт	58	42	26	10	50	34	18	2
0-й байт	56	40	24	8	48	32	16	0

Рис. 3.9. Вміст проміжного буфера
Buf0 частково впорядкованих бітів

7-й байт	63	47	31	15	55	39	23	7
6-й байт	62	46	30	14	54	38	22	6
5-й байт	61	45	29	13	53	37	21	5

7-й байт	63	62	61	60	59	58	57	56
6-й байт	55	54	53	52	51	50	49	48
5-й байт	47	46	45	44	43	42	41	40

4-й байт	60	44	28	12	52	36	20	4
3-й байт	59	43	27	11	51	35	19	3
2-й байт	58	42	26	10	50	34	18	2
1-й байт	57	41	25	9	49	33	17	1
0-й байт	56	40	24	8	48	32	16	0

Рис. 3.10. Вміст проміжного буфера Buf1 частково впорядкованих бітів

4-й байт	39	38	37	36	35	34	33	32
3-й байт	31	30	29	28	27	26	25	24
2-й байт	23	22	21	20	19	18	17	16
1-й байт	15	14	13	12	11	10	9	8
0-й байт	7	6	5	4	3	2	1	0

Рис. 3.11. Впорядкований рядок RGL64 або RGH64

По завершенню циклу сканування попереднього рядка ($Sch_data=9$) на початку першого такту T_0 сканування поточного рядка підпрограма Pr_Buf1 переносить вміст буферу Buf0 в буфер даних Buf1 (реєстри $R_0 \dots R_{15}$) з наступним кроком впорядкування послідовності розміщення байтів (рис. 3.10).

Подальше впорядкування даних виконується підпрограмами Pr_RGL64, Pr_RGH64 формування рядків нижнього RGL64 (такт T_1 , Rflag,1=1) та верхнього RGH64 (такт T_2 , Rflag,2=1) рівнів (рис. 3.11). В процесі виконання цих підпрограм використовуються (як підлеглі) макропрограми формування поточного i -го байту рядка MACRO Sub_Byte та його запису в буфер рядка MACRO SubRGHL64.

Після завершення циклу формування рядків верхнього RGH64 та нижнього RGL64 рівнів квантування (такт T_3 , Rflag,3=1) управління передається підпрограмі формування результуючого вихідного рядка зображення площини контролю Pr_RGR64, логіка роботи якої базується на «методі гістерезису». Поточний i -й 64-розрядний бінарний код зображення

площини контролю RGR64 формується шляхом послідовного аналізу (байт за байтом) вмісту поточного i -го рядка верхнього рівня RGH64, i -го рядка нижнього рівня RGL64 та попереднього $i-1$ -го вихідного рядка результату, з використанням побітних операцій алгебри логіки [48].

$$RGR64_{i,j} = \overline{\overline{(RGL64_{i,j} \bullet RGR64_{i-1,j}) \bullet (RGH64_{i,j})}} \quad (3.3)$$

Результати використання «принципу гістерезису» наочно відображає рис. 3.12.

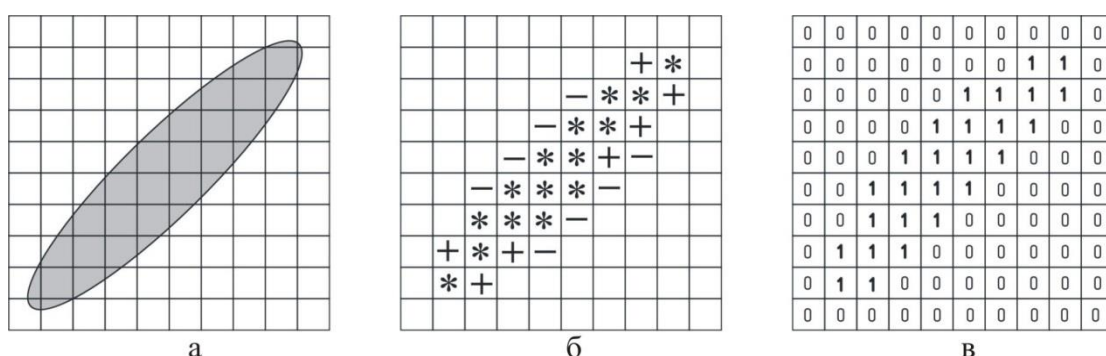


Рис. 3.12. Проекції зображення об'єкта:

а - реальна форма; б - символічна форма; в - бінарний код

Вбудована в підпрограму Pr_RGR64 макропрограма MACRO Sub_BufTr забезпечує послідовне накопичення в буфері пам'яті BufTr мікроконтролера МК1 до 8-ми 64-бітних рядків RGR64 зображення площини контролю за 8-м циклів ($C_i = \sum_{j=0}^7 T_j = 192.мкс$) сканування. Передача сформованого пакету даних Buf_Tr від головного МК1 (DD8) до додаткового МК2 (DD12) (рис. 3.6)

здійснюється підпрограмами SPI_Tr_i_j через SPI інтерфейс з швидкістю 4Мбіт/с за чотири цикла сканування C_5 , C_6 , C_7 і C_0 по два вихідних рядка в кожному. Номера вихідних рядків ($RGR64_i$, $RGR64_{i+1}$) залежать від номера циклу сканування (див. рис.3.7). При цьому, передача даних здійснюється по 4 байта в кожному такті сканування $T_4...T_7$. Алгоритм роботи головної програми мікроконтролера МК2 представлено на рис. 3.13 [49].

Приймання вихідних рядків зображення $RGR64_i$, $RGR64_{i+1}$ через SPI інтерфейс здійснюється програмою обробки переривань SPI-Recieve по сигналу «Запит» ($PortD,2=1$, $Int0$) від мікроконтролера МК1 та сигналу

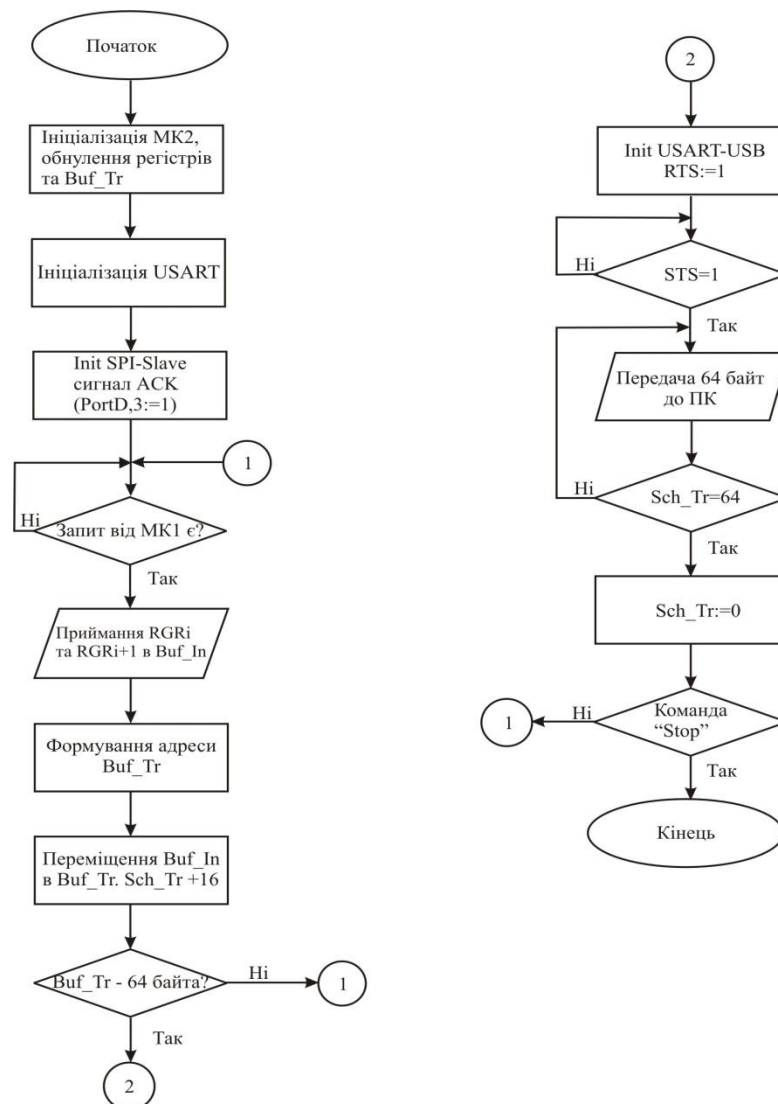


Рис. 3.13 Алгоритм роботи головної програми мікроконтролера МК2

«Готов» (PortD,3=1, Int1) від МК2 за чотири такта сканування $T_4 \dots T_7$ в пакетному режимі (по 4 байта в кожному пакеті). Прийняті байти спершу накопичуються в буфері пам'яті Buf-In, а після завершення циклу сканування рядка ($C_5 \dots C_8$) переносяться в Buf-Tr. Сформований 64-байтний пакет даних з буфера пам'яті Buf-Tr передається через порт USART-USB в пам'ять бортового комп'ютера під час циклів сканування рядка $C_1 \dots C_4$. Наступні цикли передачі даних повторюються до появи ознаки «Кінець роботи».

Функції **вузла обробки та видачі результатів ідентифікації** покладаються на бортовий комп'ютер з дисплеєм та панеллю керування [58-61]. Передані до бортового комп'ютера дані обробляються програмою розпізнавання образів та визначення сигналів сходження об'єктів з площини реєстрації, шляхом побітного формування коефіцієнтів зв'язку сканованих позицій зображення, послідовного аналізу цих коефіцієнтів і формування сигналів сходження. Алгоритм роботи такої програми складається з двох частин.

Перша частина (рис. 3.14) призначена визначенню коефіцієнтів зв'язку між позиціями поточного і попереднього рядків зображення сканованої площини контролю і формування рядка $K_{i,j}$ з цих коефіцієнтів. В залежності від кодів вертикальних пар зображення попереднього і поточного рядків формується і відповідне значення коефіцієнту зв'язку $K_{i,j}$: якщо біти $j-i$ позиції попереднього і поточного рядків нульові, тобто $x_{i-1,j} = 0$ і $x_{i,j} = 0$, то $K_{i,j} = 0$; якщо $x_{i-1,j} = 1$ і $x_{i,j} = 0$, то $K_{i,j} = 1$; якщо $x_{i-1,j} = 0$ і $x_{i,j} = 1$, то $K_{i,j} = 2$; якщо $x_{i-1,j} = 1$ і $x_{i,j} = 1$, то $K_{i,j} = 3$. В результаті визначення коефіцієнтів зв'язку $K_{i,j}$ вертикальних пар попереднього та поточного рядків зображення площини контролю формується поточний рядок аналізу $A_{пз.}$, який заноситься в пам'ять. Розпізнавання та визначення моменту сходження об'єкту за

порівнянням коефіцієнтів зв'язку виконується в другій частині загального алгоритму (рис. 3.15). Це відбувається наступним чином: порівнюються два сусідніх горизонтальних біти поточного рядка $A_{пз}$ коефіцієнтів $K_{i,j}$ в результаті чого формуються усі можливі комбінації зв'язків другого рівня (0,0; 0,1; 0,2; 0,3; 1,1; 1,2; 1,3; 2,1; 2,2; 2,3; 3,1; 3,2; 3,3).

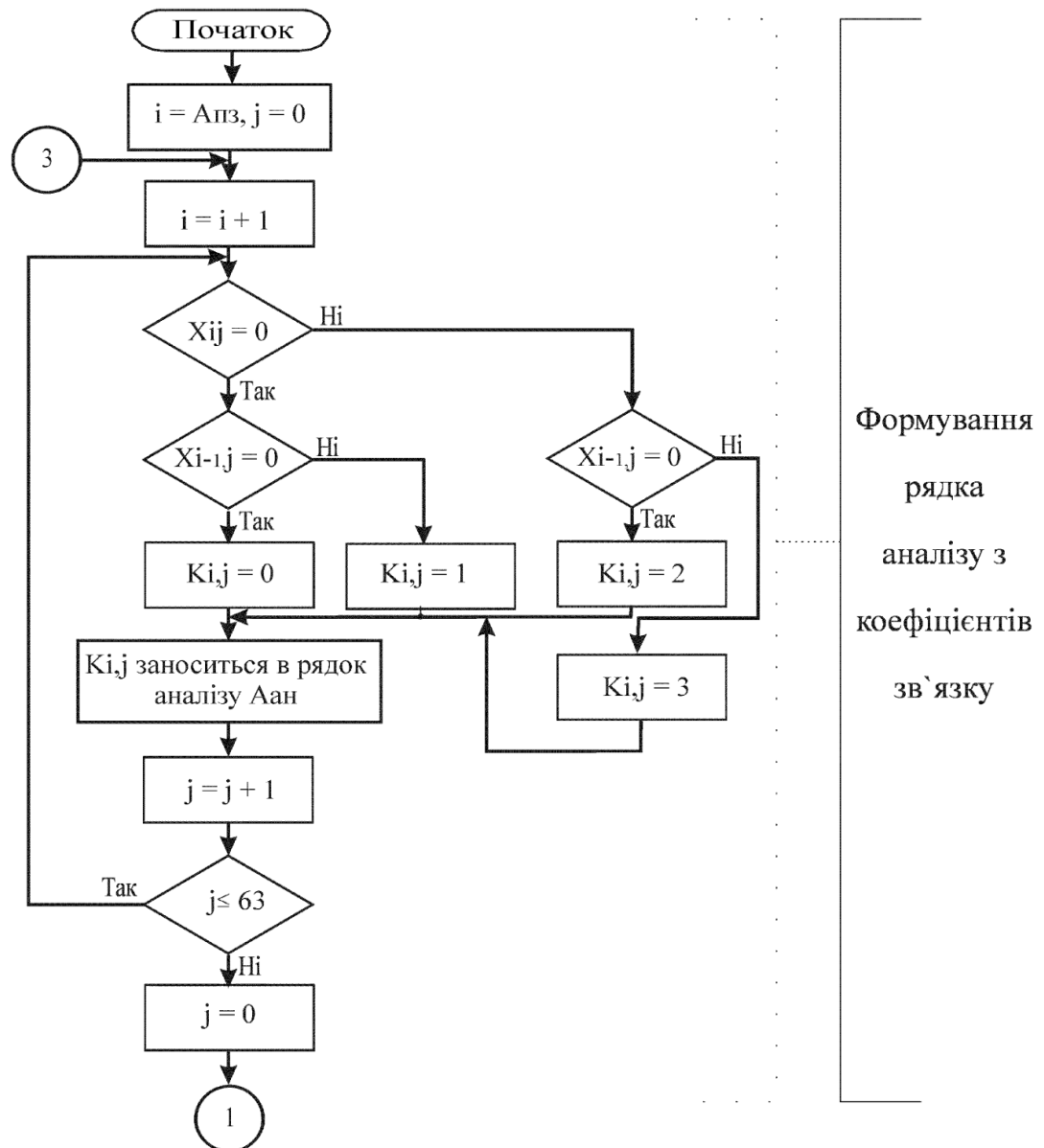


Рис. 3.14 Алогоритм формування рядка аналізу з коефіцієнтів зв'язку

В залежності від аналізу комбінації зв'язків другого рівня формуються ознаки розпізнавання, визначаються координати початку та кінця об'єкту, момент

сходження об'єкту при порівнянні з маскою та протяжність об'єкту вздовж осі падіння (кількість простежених рядків зображення об'єкту).

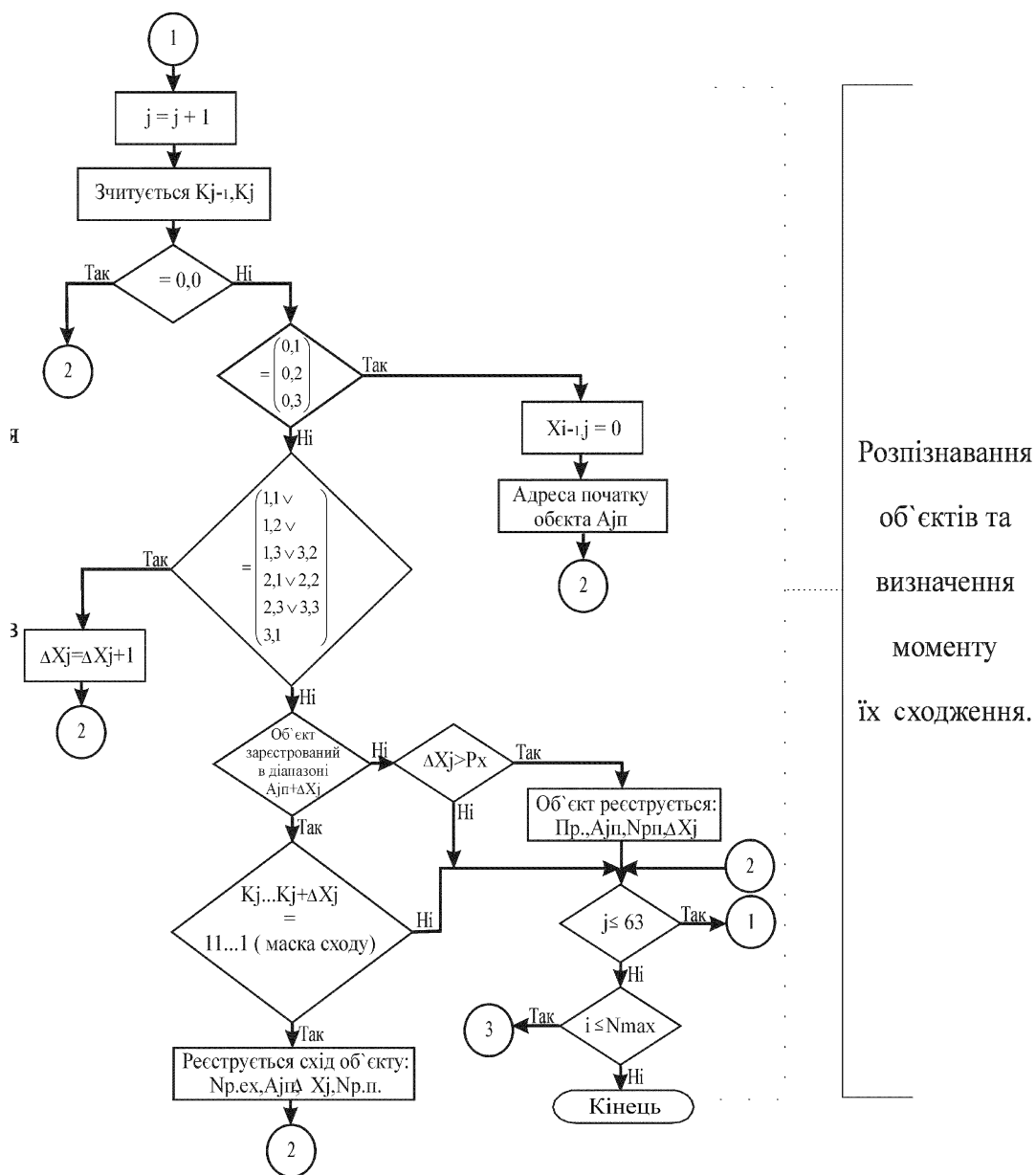


Рис. 3.15. Алгоритм розпізнавання об'єктів та визначення моментів сходження

3.3. Обґрунтування необхідності та шляхів врахування швидкості руху сівалки при визначенні координати сходження об'єкту з площини реєстрації датчика

Сформований за «методом гістерезису» бінарний код порядкового зображення об'єктів з виходу **вузла синхронізації, попередньої обробки та передачі даних** надходить через USB порт до бортового комп'ютера. Отримані дані обробляються програмою розпізнавання образів та визначення сигналів (імпульсів) сходження об'єктів з площини реєстрації Ці імпульси формуються в процесі послідовної обробки даних кожної дискрети (пікселя) координати X , тобто умовно прив'язані до координати місця перетину об'єктом площини контролю $x_k = k \cdot h$, де k - номер пікселя в рядку; h - крок дискретизації. В той же час вони визначають лише момент обробки даного пікселя в часі. Тобто, логіка формування імпульсів враховує момент сходження об'єкта з площини контролю і не несе інформації про координати місця перетину насіниною площини контролю.

Оптико – електронний скануючий пристрій формує імпульси від об'єктів, які рознесені в часі, що дозволяє з високою точністю визначати часові інтервали Δt_i між моментами t_i перетину ними площини реєстрації. Відстань між зернинами в рядку Δx_i можливо визначати як добуток часового інтервалу $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$ на задану швидкість руху сівалки v_c

$$\Delta x_i = v_c \cdot \Delta t_i. \quad (3.4)$$

Залежність (3.4) є справедливою за умови, що усі об'єкти пролітають через середину площини реєстрації. В дійсності ж об'єкти перетинають площину реєстрації в довільних точках [49], що вносить похибку у визначення відстані між зернами в рядку [50]. Тобто пристрій не враховує розсіювання зернового потоку в межах зони контролю. При цьому величина абсолютної похибки Δx дорівнює половині діаметра d або довжини L площини реєстрації вздовж координати X ($\Delta x = \pm d/2$ або $\Delta x = \pm L/2$), тобто

$\Delta x_i = v_c \cdot \Delta t_i \pm \Delta x$. Означена похибка вимірювання допустима при класифікації за щільністю розподілу зерна в заданому часовому інтервалі, але абсолютно не прийнятна при класифікації за щільністю в заданому інтервалі довжини або відстанню між сусідніми зернинами в рядку, що є суттєвим недоліком пристроїв з таким підходом реєстрації.

В випробувальному стенді з “нескінченною клейкою стрічкою” [14, 17, 19] імітація руху сівалки здійснюється за допомогою електромеханічного конвеєра. Вказаний стенд має стаціонарно встановлений висівний апарат, під яким з швидкістю сівалки v_c рухається липка стрічка – “грунт”, на яку укладаються зерна. Відстані між зернинами на стрічці Δx_i , за умови стабільності руху сівалки та прийнятої точності вимірювання ($\pm 0,5\text{см}$), близькі до реальних при висіванні у грунт. З метою зменшення похибки вимірювання та врахування розсіювання зерна в межах зони контролю скануючий пристрій доцільно доповнити імітатором руху сівалки, який, по аналогії з “електромеханічним конвеєром”, можна назвати “електронний конвеєр”. Це дозволить ув’язати момент видачі імпульсу сходження об’єкта t_i з координатою перетину ним площини реєстрації x_k та швидкістю руху сівалки v_c . Отримані при цьому інтервали часу Δt_i між моментами реєстрації двох сусідніх зернин в потоці та визначені за формулою (3.4) відстані Δx_i між зернинами в рядку позбавлені вказаної вище систематичної похибки. Ці дані повністю співпадають з отриманими за допомогою стенда з “нескінченною клейкою стрічкою”.

Теоретичні положення імітатора руху сівалки у складі скануючого пристрою розглянуті в роботах [64, 65]. Роботу імітатора руху сівалки можливо пояснити за допомогою рис.3.16 та рис.3.17. Потік насіння, що формується висівним апаратом сівалки, перетинає площину контролю блока

реєстрації 2, яка сканується променями шляхом ввімкнення оптронних пар (n розрядів по координаті X , направлених вздовж напрямку руху сівалки, та m розрядів по координаті Y , на правленій уперек руху) і яка розміщена на рівні кінця насіннепроводу Двійковий $n+m$ -розрядний код зображення проєкцій x, y площини контролю датчика з виходу блока реєстрації 2 рядок за рядком поступає в блок розпізнавання образів 3, де, в результаті побітного аналізу, в моменти перетину насінинами площини контролю вздовж координати X – напрямку руху сівалки формуються сигнали сходження об'єктів CX_i з координатами місця їх реєстрації x_i на осі X .

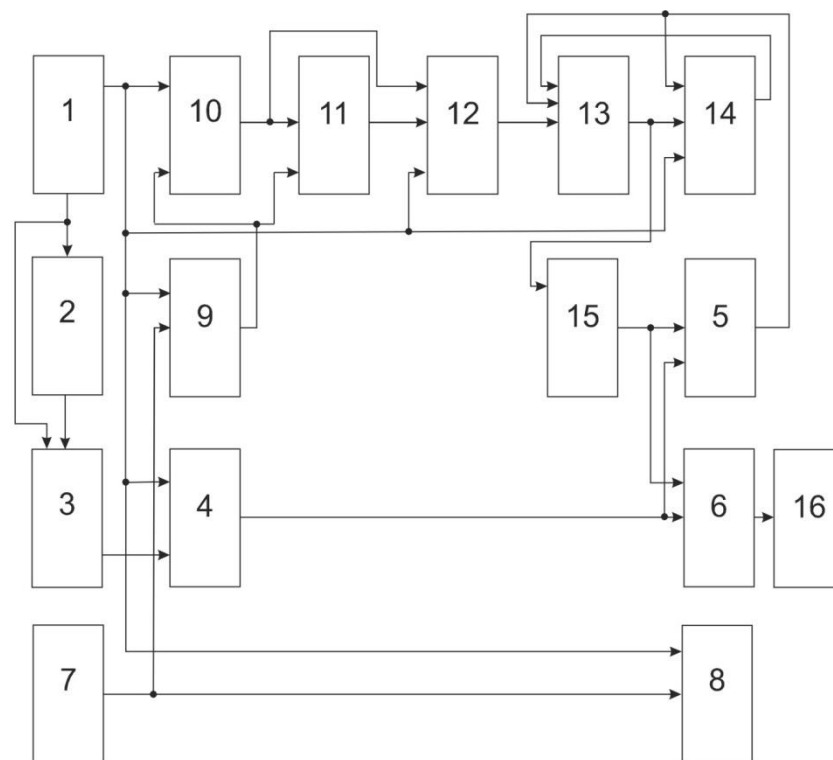


Рис.3.16. Функціональна схема імітатора руху сівалки:

1 - блок синхронізації; 2 - блок реєстрації; 3 - блок розпізнавання об'єктів;
 4 - вузол формування сигналів завантаження та розвантаження комірок пам'яті; 5,6 - схеми логіки; 7 - генератор імпульсів просування адреси; 8 - лічильник швидкості; 9 - вузол формування сигналів просування адреси;
 10 - лічильник адреси; 11 - регістр адреси розвантаження; 12 - комутатор адреси; 13 - модуль пам'яті; 14 - лічильник даних; 15 - вузол блокування;

Лічильник адреси завантаження 10 ($n+m$ -розрядний) комірок модуля пам'яті 13 «електронного конвеєра» працює синхронно з лічильником $n+m$ бітів головної адресної магістралі датчика, до якої входить і блок розпізнавання образів 3 (рис. 3.17, а). До зони завантаження (рис. 3.17, б) відносяться ті комірки модуля пам'яті «електронного конвеєра», адреси яких формуються під час обробки даних координати X блоком розпізнавання 3. Ці адреси з виходу лічильника 10 поступають на входи модуля пам'яті 13 через комутатор адреси 12. Розрядність k кожної комірки пам'яті дорівнює максимально допустимій кількості насінин $Q = 2^k - 1$, які можуть потрапити в комірку.

Завантаження комірок модуля пам'яті здійснюється наступним чином. Кожний сигнал сходження об'єкта CX_i з блока розпізнавання 3 через вузол формування 4 та схему логіки 5, за відсутності сигналу блокування вузла 15 (виробляється при переповненні вмісту комірки або при блокуванні режиму імітації руху сівалки), збільшує вміст лічильника даних 14, який попередньо був зчитаний з модуля пам'яті 13 за адресою, заданою лічильником 10, на одиницю і заносить отриманий результат в модуль пам'яті за адресою зчитування.

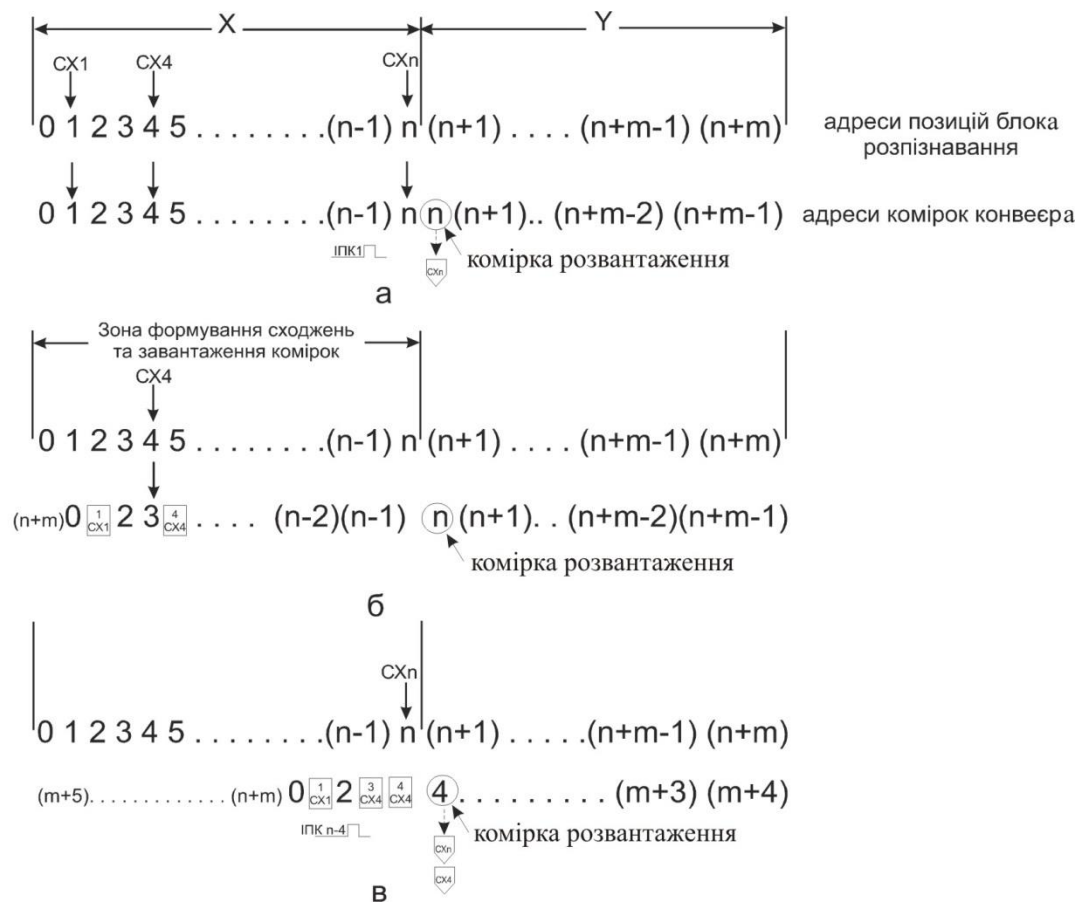


Рис. 3.17. Інформаційна модель роботи імітатора руху сівалки

Адреси комірок модуля пам'яті і адреси позицій блока розпізнавання формуються синхронно, але не співпадають після появи першого ж імпульсу просування адреси комірок пам'яті (рис. 3.17, б). Заповнення комірок здійснюється на протязі усього проміжку часу між появою імпульсів просування, тобто, коли адреси не змінюються. Зафіксоване в кожній комірці число сигналів сходження відповідає кількості зареєстрованих об'єктів.

Циклічне просування адрес комірок пам'яті 13 здійснюється дискретно з періодом $T_{пк}$, залежним від швидкості руху сівалки v_c

$$T_{пк} = h / v_c, \quad (3.5)$$

де h - крок дискретизації площини реєстрації вздовж координати X ($h = 2\text{мм}$).

Період $T_{нк}$ просування адрес комірок пам'яті дорівнює часу проходження сівалкою відстані h з швидкістю v_c .

Період просування адрес комірок пам'яті $T_{нк}$, швидкість руху v_c та заліковий інтервал $t_{зал}$ можливо визначити з співвідношень

$$S_{зал} = v_c \cdot t_{зал} = h \cdot \frac{t_{зал}}{T_{нк}} = h \cdot N_c; \quad (3.6)$$

$$v_c = \frac{h}{t_{зал}} \cdot N_c = C \cdot N_c, \quad (3.7)$$

де $S_{зал}$ - відстань, яку проходить сівалка за термін часу $t_{зал}$ з швидкістю v_c ;

N_c - число, пропорційне швидкості руху сівалки, що визначається виразом $N_c = t_{зал} / T_{нк}$;

C - коефіцієнт пропорційності, який визначає одиницю виміру швидкості.

Коефіцієнт $C = h / t_{зал}$. При $C = 10^{-2} \text{ (м/с)}$, $t_{зал} = h / 10^{-2} \text{ (с)}$, а $v_c = 10^{-2} \cdot N_c \text{ (м/с)}$.

Виходячи з означеного, швидкість руху сівалки $v_c = 10^{-2} \cdot N_c \text{ (м/с)}$ визначається числом імпульсів просування адрес комірок пам'яті, що надійшли на вхід лічильника швидкості 8 від генератора 7 за заліковий термін часу $t_{\text{заб}}^{\text{заб}}$ (при $h = 2 \text{ мм}$, $t_{зал} = 0,2 \text{ с}$), заданий блоком синхронізації 1 (рис. 3.16). Встановлення заданої швидкості здійснюється шляхом регулювання періоду надходження імпульсів просування $T_{нк}$ в генераторі 7.

При надходженні імпульсу просування від генератора 7, в момент переходу від обробки позицій координати X на Y , по сигналу x/y від блока

синхронізації 1 на виході вузла 9 формується сигнал просування, який блокує роботу лічильника адреси 10 на протязі одного тактового синхроімпульсу, які безперервно надходять від блока синхронізації 1, і заносить зафіксовану на даний момент адресу з виходу лічильника 10 в регістр адреси розвантаження 11. Такою адресою завжди є адреса останньої комірки зони завантаження. При цьому відбувається циклічне просування комірок модуля пам'яті на одну позицію праворуч, адреса останньої (на даний момент) комірки координати X виходить за межі зони завантаження і стає адресою комірки розвантаження, адреса якої за дією координати Y комірки модуля пам'яті переходить в зону дії нульової позиції зони завантаження. Таким чином, з надходженням кожного імпульсу просування здійснюється циклічне переміщення адрес комірок модуля пам'яті з швидкістю руху сівалки по відношенню до позицій зони завантаження блока розпізнавання об'єктів.

Розвантаження комірки модуля пам'яті здійснюється під час обробки даних координати Y блоком розпізнавання. При цьому адреса комірки з регістра адреси 11, через комутатор 12 надходить до модуля пам'яті 13. Сигнали розвантаження Cr_i , які формуються на виході вузла 4 на базі тактових імпульсів блока синхронізації 1, за відсутності сигналу блокування від вузла 15 (комірка не порожня), проходять через схему логіки 5 і зменшують кожного разу вміст реверсивного лічильника даних 14, зчитаний попередньо з виходу модуля пам'яті 13, на одиницю і заносять отриманий результат з лічильника даних 14 в модуль пам'яті. Ці ж сигнали Cr_i , за відсутності блокування від вузла 15, через схему логіки 6 передаються до ЕОМ 16 як імпульси розвантаження комірки «електронного конвеєра».

Адреси комірок завантаження і комірки розвантаження циклічно змінюються з швидкістю руху сівалки по відношенню до позицій блока розпізнавання об'єктів. Число сигналів розвантаження відповідає кількості

зафіксованих в даній комірці об'єктів. Таким чином, визначивши часові проміжки між надходженнями сигналів розвантаження від сусідніх заповнених комірок, можна знайти відстані між сусідніми насінинами вздовж рядка висіву за формулою $\Delta x_i = v_c \cdot \Delta t_i$, $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$, де t_{i+1} , t_i - моменти реєстрації сигналів розвантаження комірок пам'яті в ЕОМ. Виміри часових проміжків і розрахунок відстаней між сусідніми насінинами здійснюється ЕОМ на підставі сигналів розвантаження. При цьому моменти формування сигналів розвантаження узгоджені з координатами місця реєстрації об'єктів CX_k в площині контролю датчика та швидкістю руху сівалки v_c .

Похибку виміру відстаней між сусідніми насінинами визначимо на прикладі висіву посівного матеріалу при швидкості $v_c = 3,6 \text{ км/год} = 1 \text{ м/с}$ та з заданою, згідно з агротехнічними вимогами, середньою відстанню між насінинами $\Delta x = 0,12 \text{ м}$.

Абсолютна похибка визначення відстані $\Delta \bar{x}$ пристроями без врахування швидкості досягає половини довжини зони контролю $d = 0,05 \dots 0,1 \text{ м}$ вздовж координати виміру $\Delta x = \pm d/2$. Тоді відносна похибка дорівнює $\delta x = \Delta x / \Delta \bar{x} = 0,21 \dots 0,42$ або $\delta x = 21 \dots 42\%$.

Похибка визначення відстані пристроєм з імітатором руху дорівнює $\Delta x = v_c \cdot \Delta t$. Абсолютна похибка встановлення швидкості дорівнює $\Delta v = 0,005 \text{ м/с}$, а відносна - $\delta v = \Delta v / V_c = 0,005$. Абсолютна похибка визначення моменту формування сигналу розвантаження $\Delta t = \pm T_{\text{ск}} / 2$, а абсолютна похибка визначення часового проміжку $\Delta_T = 2 \cdot \Delta t = \pm T_{\text{ск}} = 0,0002 \text{ с}$. Часовий проміжок $\Delta t = \Delta x / v_c = 0,12 \text{ с}$, тоді відносна похибка виміру часового проміжку $\delta T = \Delta_T / \Delta t = 0,0017$. Відносна похибка виміру відстані пристроєм з імітатором руху дорівнює $\delta x = \delta v + \delta T = 0,007$ або $\delta x = \pm 0.7\%$. Згідно з агротехнічними вимогами похибка не повинна перевищувати $\pm 3\%$.

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	
		№ докум.				80

Таким чином, врахування швидкості переміщення сівалки шляхом імітації її руху дозволяє визначати відстані між сусідніми насінинами на рівні дна борозни з допустимою похибкою, яка значно менша 3%.

ВИСНОВКИ

Виконані дослідження можливостей та шляхів вдосконалення існуючих засобів реєстрації зернового придатних для використання в системи автоматизації керування змінними нормами висіву в умовах точного землеробства дають змогу зробити наступні висновки:

1. Подальша модернізація існуючих типів ємнісного та оптичного, видимої частини спектру, датчиків, як найбільш простих за конструкцією та технологією виготовлення, з метою використання їх для ідентифікації зернового потоку недоцільна і безперспективна. Необхідно розробляти датчики іншого типу, які б забезпечували реєстрацію до 2-3 паралельно пролітаючих зернин в площині його контролю.

2. Доведено, що найбільш придатним для створення системи комп'ютерної ідентифікації зернового потоку найбільш придатним є двохкоординатний оптико-електронний скануючий датчик, створений на основі дискретних оптронних пар, працюючих в інфрачервоному діапазоні та придатних для реєстрації та розпізнавання до 5-7 зернин, які одночасно перетинають площину контролю датчика.

3. Визначено шляхи створення системи комп'ютерної ідентифікації зернового потоку.

4. Обрунтовано необхідність та шляхи створення імітатора руху сівалки, що дозволить визначати координати сходження зареєстрованого об'єкту з врахуванням швидкості руху сівалки.

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	
		№ докум.				81

4 ВИЗНАЧЕННЯ КЕРОВАНОГО ПАРАМЕТРУ РЕГУЛЮВАННЯ ТА ХА-РАКТЕРУ ЙОГО ЗМІНИ ПІД ДІЄЮ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ

4.1.Визначення керованого параметру регулювання в системі автоматизації керування висівом зернових культур

Оскільки налаштування на задану норму висіву Q (кг/га) усіх висівних апаратів сівалки здійснюється одночасно і синхронно, а контроль якості висіву забезпечується лише по одному рядку, то в якості керованого параметра регулювання можна прийняти або щільність розподілу зернового потоку вздовж рядка висіву Q_m (шт/м), або його інтенсивність на виході сошника Q_c (шт/с) які визначаються на підставі заданої норми висіву Q (кг/га). Згідно з агротехнічними вимогами [7, 8] для кожного виду зернової культури встановлена своя норма висіву Q , яка є базовим показником (4.1), залежним від регіону, якості ґрунту, сорту насіння, тощо:

$$Q = 10^4 \cdot \sum q_i / (n_a \cdot b \cdot L) = Q_m \cdot A / (10^2 \cdot b) \text{ (кг/га)}, \quad (4.1)$$

$$Q_m = 10^2 \cdot Q \cdot b / A \text{ (шт/м)}, \quad Q_c = 10^2 \cdot Q \cdot b \cdot V_c / (3,6 \cdot A) \text{ (шт/с)}$$

де Q - задана норма висіву в кг/га; Q_i , Q_c - щільність розподілу зернового потоку вздовж рядка висіву в шт/м та щільність зернового потоку на виході сошника в шт/с при заданій нормі висіву Q (кг/га); $\sum q_i$ - маса насіння, висіяного усіма висівними апаратами сівалки, кг; b - ширина міжряддя, м; A - вага 1000 шт. насіння, грам; L - довжина засіяної ділянки, м; n_a - кількість сошників, шт.; V_c - швидкість руху сівалки, км/год.

Оскільки порційність зернового потоку по мірі його переміщення по насіннепроводу згладжується, то на рівні дна борозни інтенсивність зернового потоку $\lambda(k, L_k, t)$ можна розглядати як незалежну від часу величину $Q_c(Lk, v_c, i)$

[36]

$$Q_c = \frac{L_k \cdot \omega_k \cdot \gamma \cdot 10^{-3}}{2 \cdot A} \cdot \left[\frac{S_T \cdot \mu}{\omega_k} + \frac{d_k \cdot (1 - e^{-b_0 \cdot C_1})}{b_0} \right], \text{ шт/с} \quad (4.2)$$

де $S_T = \frac{1}{T_j} \cdot \int_0^{T_j} (y_1(t) + y_2(t)) \cdot x'(t) \cdot dt$ - середня за період T_j площа розвантаження сектора k – зожолобка;

$\omega_k = 2 \cdot v_c \cdot i / Dk \cdot 3,6$ - кутова швидкість обертання катушки, залежна від швидкості руху сівалки v_c та передаточної величини i ;

$T_j = \pi \cdot Dk \cdot 3,6 / v_c \cdot i \cdot z$ - період розвантаження k – зожолобка.

На рис. 4.1, 4.2, 4.3 представлено графіки залежності інтенсивності зернового потоку Q_c від швидкості руху сівалки при $i = 1,15$; робочої довжини котушки при постійній $i = 1,15$, а також від передаточної величини при постійній швидкості $v_c = 7,2 \text{ км/год}$. Як видно з графіків, інтенсивність зернового потоку лінійно залежить від усіх 3-х факторів $Q_c(L_k, v_c, i)$. Для побудови одномірної системи керування інтенсивністю зернового потоку необхідно, щоб в ній регулювання здійснювалося зміною лише одного вхідного параметра – робочої довжини котушки L_k , передаточної величини i

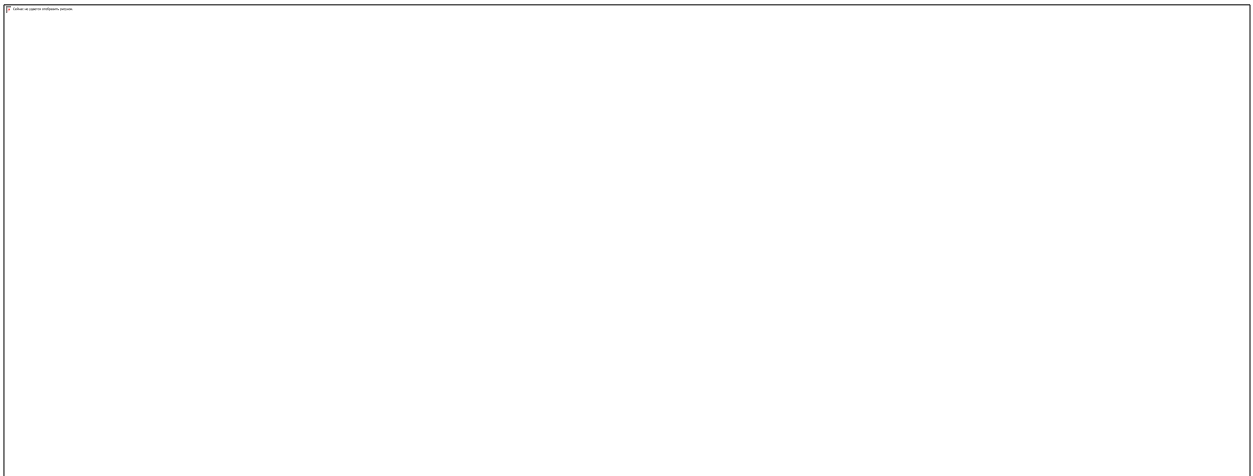


Рис.4.1. Залежності інтенсивності висіву від швидкості руху сівалки при різних L_k

Рис.4.2. Залежності інтенсивності висіву від робочої довжини котушки при різних v_c

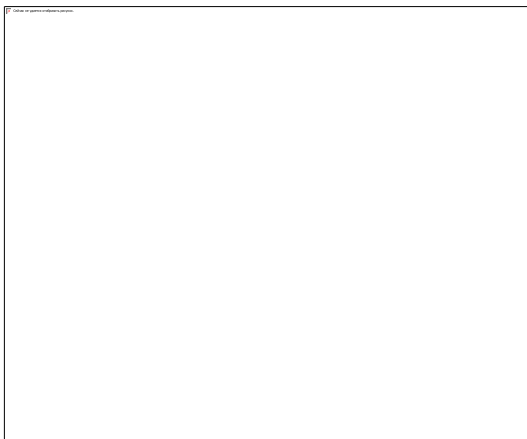


Рис. 4.3. Залежності інтенсивності висіву від передаточної величини при різних v_c

або швидкості руху сівалки v_c при фіксованих значеннях інших факторів. Однак забезпечити такий режим роботи системи практично не можливо, оскільки швидкість руху сівалки в польових умовах не може бути постійною, що приводить до необхідності регулювання в умовах нелінійності, викликаній одночасною дією двох вхідних факторів – робочої довжини котушки L_k і швидкості руху сівалки $v_c - Q_c(L_k, v_c, i = \text{const})$ або швидкості v_c і передаточної величини $i - Q_c(L_k = \text{const}, v_c, i)$. В запропонованій вченими Національного університету біоресурсів і природокористування України системі керування змінними нормами висіву на сівалці СЗ-3,6 передбачено використання електроприводу для обертання валу висівних апаратів з такою частотою, при якій інтенсивність Q_c формованого ними зернового потоку відповідає заданій нормі висіву Q . При цьому частота обертання валу ω_k висівного апарату повинна прямо пропорційно змінюватися з зміною швидкості руху привідного колеса сівалки $\omega_{ок}$, тобто $\omega_k = i \cdot \omega_{ок}$. Крім того, що автоматизована система повинна постійно змінювати частоту обертання валу висівних апаратів при зміні швидкості руху сівалки, вона при місцевизначеному землеробстві, повинна змінювати і задану норму висіву, шляхом зміни коефіцієнта передачі i . Тобто, при сталій робочій довжині котушки L_k , неперервно змінюваній швидкості руху сівалки v_c , необхідно встановити такий коефіцієнта передачі i , при якому новий діапазон змін інтенсивності зернового потоку буде забезпечувати сталість місце визначеної норми висіву. У випадку, коли інтенсивність змінюється під впливом зовнішніх факторів, задача підтримки заданої норми висіву ще більше ускладнюється. Її необхідно розв'язувати або новим регулюванням коефіцієнту передачі i або зміною робочої довжини котушки L_k , що потребує використання ще одного електроприводу. Тому інтенсивність зернового потоку Q_c не бажано використовувати в якості параметра регулювання досліджуваної САК.

Другим показником оцінки якості сіви може виступати щільність розподілу зернового потоку вздовж рядка висіву $Q_m = 3,6 \cdot Q_c / v_c$, шт/м.

Графіки залежності щільності Q_m від робочої довжини котушки $L_k \in 8...32\text{мм}$ при різних швидкостях руху сівалки $v_c = 4,6; 7,2; 12,4\text{ км/год}$ та фіксованій $i = 1,15$, а також від передаточної величини $i \in 0,7...1,92$ при різних швидкостях та фіксованій $L_k = 8\text{мм}$ представлено на рис. 4.4, рис. 4.5.

Як видно з графіків, щільність розподілу зернового потоку Q_m також

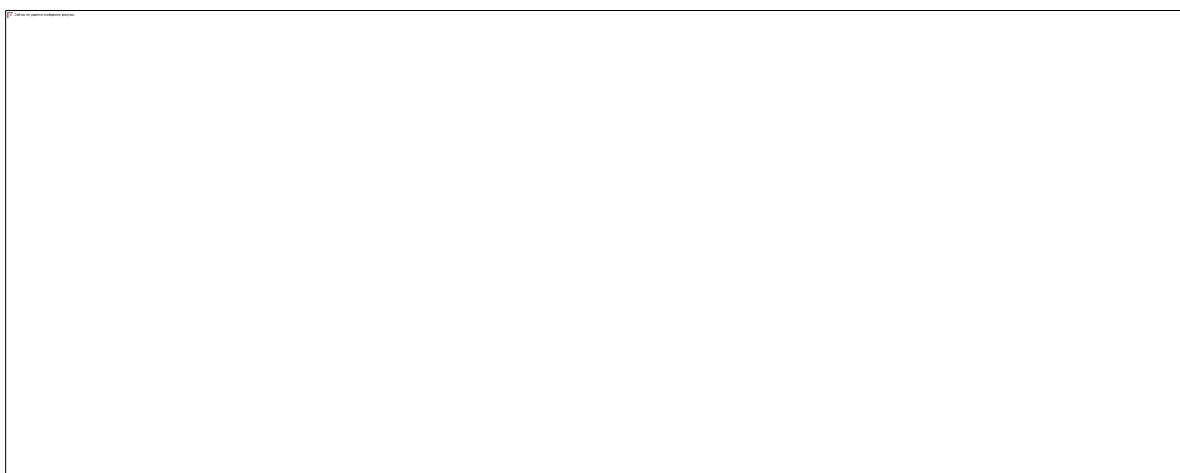


Рис. 4.4. Залежність щільності від робочої довжини котушки при $i = 1,15$ та різних v_c : 1 – 4,6 км/год; 2 – 7,2 км/год; 3 – 12,4 км/год.
Рис. 4.5. Залежність щільності від передаточної величини при $L_k = 8\text{мм}$ та різних i : 1 – 0,7; 2 – 1,15; 3 – 1,92.

лінійно залежить від робочої довжини котушки L_k при фіксованій i та від передаточної величини i при постійній L_k і не залежить від зміни швидкості руху сівалки v_c , тобто $Q_m(L_k, v_c, i) = Q_m(L_k, i)$, тому цей показник, який до того ж відноситься до основних агротехнічних показників оцінки якості висіву зернових сівалок, є найбільш прийнятним в якості керованого параметра регулювання одомірної САК. Але при цьому датчик зернового потоку повинен формувати для САК поточні дані про щільність зернового потоку $Q_m(\text{шт/м})$, а не про його інтенсивність Q_c , що ускладнює структуру і функції датчика.

Примітка. В діючих сівалках передаточне відношення i між кутовими швидкостями котушки ω_k та опорно-приводного колеса сівалки $\omega_{ок}$ ($\omega_k = i \cdot \omega_{ок}$)

) задається через ступеневу або безступеневу (варіатор) коробку передач. В нових конструкціях сівалок вказаний механізм можна замінити на електропривід валу висівних апаратів з функцією $\omega_k = i \cdot \omega_{ок}$.

4.2. Дослідження характеру зміни щільності зернового потоку під дією зовнішніх факторів

При якісній сівбі кожному погонному метрі рядка повинна бути вкладена задана кількість зерен. Нерівномірний розподіл зерен, їх розрідження або згущення, викликані дією випадкових та регулярних факторів, призводять до значних втрат врожаю з одиниці посівної площі (розд. 2.2), тому виникає необхідність в керуванні процесом висіву для забезпечення заданої щільності розподілу зерна вздовж рядка висіву по усьому полю.

Оскільки передаточне відношення i та відстань до денця катушки C_1 для кожного поля та типу посівного матеріалу встановлюються перед початком сівби і в процесі висіву залишаються незмінними для усіх ділянок поля до завершення технологічної операції як при традиційній, так і при точній технології землеробства, то щільність розподілу Q_m (шт/м) (4.2) можна розглядати як лінійно залежну від робочої довжини катушки L_k функцію

$$Q_m = \frac{i \cdot \gamma \cdot 10^{-3}}{A \cdot D_k} \cdot \left[\frac{S_j \cdot \mu}{2 \cdot \pi} + \frac{d_k \cdot (1 - e^{-b_0 \cdot C_1})}{b_0} \right] \cdot L_k = b'_m \cdot L_k \quad (4.3)$$

де b'_m - умовно сталий коефіцієнт пропорційності є залежною від ряду параметрів величиною, які для заданих умов сівби можна вважати незмінними: конструктивних констант - r_j, b_j, d_k, D_k, z ; умовно змінних констант - γ, A , які характеризують конкретний посівний матеріал; змінних конструктивних сталих - i, C_1 , які встановлюють при налагодженні сівалки

перед сівбою.

Це вказує на зручність використання залежності (4.3) у системі автоматизованого керування процесом висіву, яка зводиться до простої підтримки параметра регулювання Q_m шляхом зміни робочої довжини котушки при умовно сталому значенні коефіцієнта пропорційності b'_m . Однак це не зовсім так. Як показано в розд. 2.2, коефіцієнт заповнення жолобків $\mu = f(\gamma, A, \phi, V_{зб}, S)$, в результаті дії ряду факторів (поточного об'єму зерна в бункері - $V_{зб}$, показників типу фракції - γ, A , запиленості жолобків - ϕ , довжини пройденого сівалкою шляху S), в процесі висіву неперервно змінюється. На значення коефіцієнта пропорційності b'_m впливає і коефіцієнт проковзування ε привідного колеса сівалки. Звідси ми приходимо до висновку, що щільність розподілу зернового потоку на виході висівної системи Q_m (шт/м) функціонально залежить від сукупності вхідних факторів

$Q_m = f(L_k, \mu(\gamma, A, \phi, V_{зб}, S), i, V_c, \varepsilon, C)$, що порушує однозначність лінійного зв'язку $Q_m = b'_m \cdot L_k$ (4.3) і в процес регулювання вноситься похибка внаслідок варіювання коефіцієнта пропорційності. Оскільки найбільш суттєвим змінним фактором впливу на щільність розподілу зернового потоку Q_m на виході висівної системи в польових умовах є коефіцієнт заповнення жолобків, значення якого в довільний момент часу визначити не можливо, то умовно постійний коефіцієнт пропорційності b'_m (4.3) можна визнати залежним від змінного коефіцієнта заповнення жолобків $b_{m1}(\mu)$. Тоді залежність (4.3) перетвориться в нелінійну (4.4).

$$Q_m = b_{m1}(\mu) \cdot L_k. \quad (4.4)$$

Для того, щоб проаналізувати характер впливу коефіцієнта заповнення жолобків на щільність розподілу зернового потоку вздовж рядка висіву

визначимо спершу довжину пройденого сівалкою шляху до повного розвантаження бункера та параметри налагодження сівалки на задану норму висіву при висіванні різних фракцій насіння пшениці на прикладі сівалки СЗ-3,6А. Дані для розрахунку: задана норма висіву , щовідповідаєваговим нормам висіву при та при ; ємкість бункера ; число сошників ; характеристика посівного матеріалу – пшениця масою , густиною та коефіцієнтом заповнення жолобків .

Кількість зернин в бункері N_B (шт) визначаємо за співвідношенням , а пройдений сівалкою шлях до повного розвантаження бункера - за виразом (м). Результати розрахунків представимо у вигляді таблиці 4.1. та графіку - рис. 4.6.

Таблица 4.1.

Залежність довжини пройденого сівалкою шляху до повного розвантаження бункера від фракції пшениці

Маса 1000шт насіння (тип фракції) A , г /тис.шт.	25	30	35	40	45
Густина данного матеріалу γ , г/дм ³	760	753	747	742	730
Кіль-ть зернин в бункері N_B , шт.	13771	11370	9668	8403	7349
Пройдений шлях S_B , м.	12750	10528	8952	7781	6804

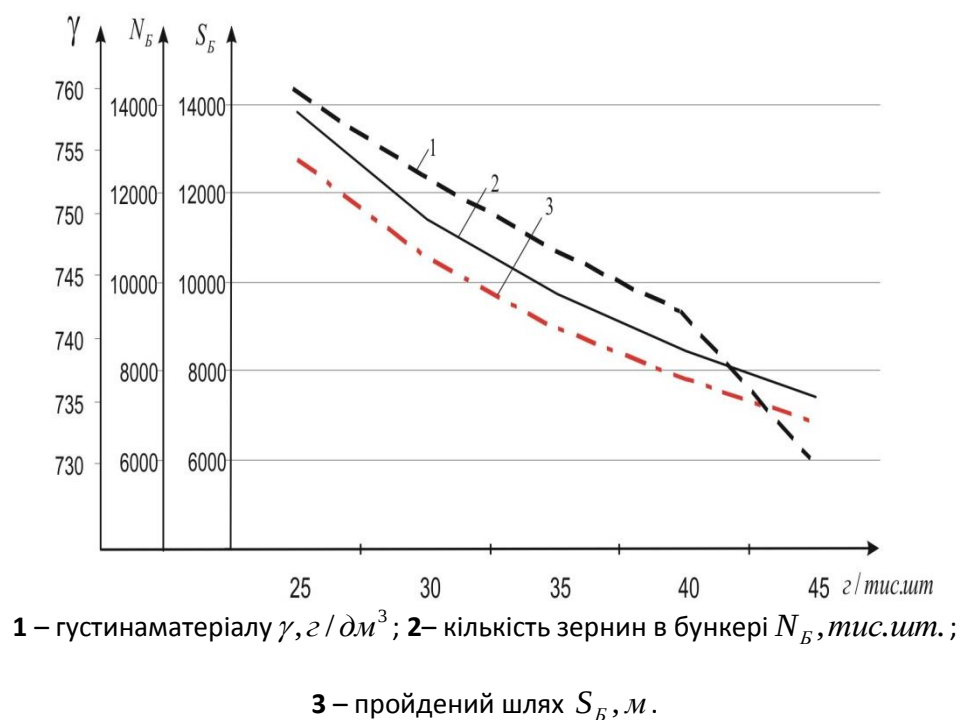


Рис. 4.6. – Взаємозв'язок густини матеріалу, кількості зернин у бункері та пройденого шляху від фракції пшениці при повному розвантаженні бункера.

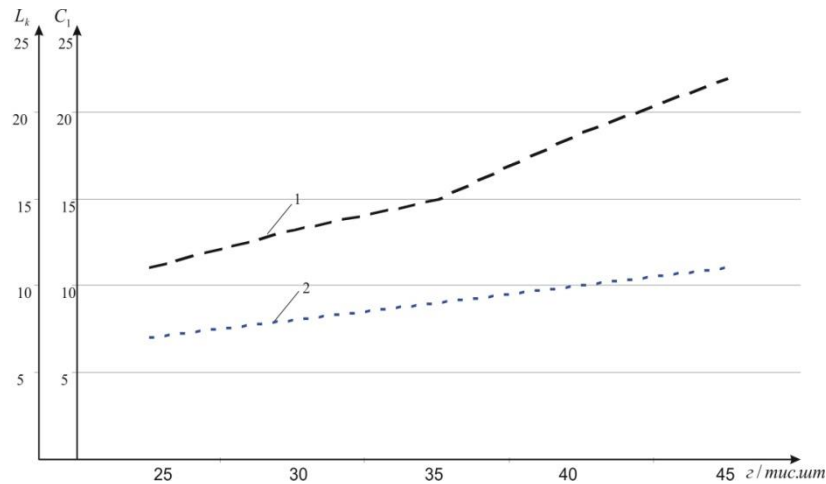
При дослідженні характеру залежності фактичних значень щільності $Q_m(\mu, S)$ від коефіцієнту заповнення μ та довжини пройденого шляху S необхідно спершу, при заповненому бункері, аналогічно з польовими умовами, налаштувати сівалку на задану норму висіву. Параметри налагодження сівалки на задану норму висіву $Q_{\text{нв}} = 45 \text{ шт/м}$ для різних фракцій пшениці визначені за формулою (4.1) при фіксованих значеннях передаточної величини $i = 0,77$ відстані до денця катушки C представлено в таблиці 4.2 та графіку – рис 4.7.

Таблица 4.2.

Параметри налагодження сівалки на задану норму висіву

Маса 1000шт насіння (тип фракції) $A, \text{г/тис.шт}$	25	30	35	40	45
---	----	----	----	----	----

Передаточна величина i	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Відстань до денця котушки C_1 , мм	7	8	9	10	11
Робоча довжина котушки L_k , мм	11,0	13,2	15,0	18,8	21,9



1 – робоча довжина котушки L_k , мм; 2 – відстань до денця котушки C_1 , мм.

Рис. 4.7. – Взаємозв'язок параметрів налагодження сівалки на задану норму висіву від фракції пшениці.

З графіку рис. 4.6 видно, що при зростанні крупності зерен , зменшенні кількості зерен у заповненому бункері і зменшенні густини матеріалу γ (г/дм³) пройдений сівалкою шлях суттєво скорочується. Це скорочення відбувається майже у два рази. За цих умов для забезпечення заданої норми висіву необхідно збільшувати відстань до денця та робочу довжину котушки . Налаштування висівних апаратів можна здійснити за допомогою графіку, зображеного на рис. 4.7.

Визначену для кожної фракції посівного матеріалу довжину гону (таблиця 4.2) розбиваємо на 12 рівних відрізків і визначаємо координати вузлів інтерполяції, значення яких заносимо в таблицю 4.3.

На підставі емпірично визначених значень коефіцієнта заповнення жолобків (2.10) та параметрів налагодження сівалки на задану норму

висіву (рис. 4.7) розрахуємо значення щільності розподілу зернового потоку у вузлах інтерполяції для різних фракцій посівного матеріалу за формулою [36]

Таблиця 4.3

Координати гону в вузлах інтерполяції для різних типів фракцій

Тип фракції $S_i, \text{м}$ г/тис. шт	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}
A=25	0	1160	2320	3480	4640	5800	6960	8120	9280	10440	11600	12760
A=30	0	955	1910	2865	3820	4775	5730	6685	7640	8595	9550	10505
A=35	0	814	1628	2442	3256	4070	4884	5698	6512	7326	8140	8954
A=40	0	707	1414	2121	2828	3535	4242	4949	5656	6363	7070	7777
A=45	0	619	1238	1857	2476	3095	3714	4333	4952	5571	6190	6809

$$\text{де } S_i - \text{координати гону в вузлах інтерполяції для різних типів фракцій}, \quad (4.5)$$

де - період розвантаження жолобка; - середня за період площа розвантаження сектора k -го жолобка; - кутова швидкість обертання котушки. Поточні значення щільності $Q_m(S)$ в довільних точках пройденного сівалкою шляху до повного розвантаження бункера визначимо за інтерполяційним поліномом Ньютона [40]

$$\text{де } S_i - \text{координати гону в вузлах інтерполяції для різних типів фракцій}, \quad (4.6)$$

де - індекс координати пройденого сівалкою шляху;

- номер вузла інтерполяції;

- значення щільності в 0-му та му вузлах інтерполяції;

 Contenuto: si applica all'indirizzo persona.

© 2010 by Stephen J. Lieberman, Ph.D.

Cálculo de argumentos aritméticos por pares.

Таблиця 4.4.

• Celulas se potrivez
maturam, pozitiva,

Фракція пшениці:

	0	619	1238	1857	2476	3095	3714	4333	4952	5571	6190	6809
--	---	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Як видно з даних табл.4.4, довжина шляху і зміна щільності зернового потоку при висіванні різних фракцій пшениці мають суттєві відмінності.

По мірі розвантаження бункера та збільшенні величини пройденого сівалкою шляху щільність розподілу зернового потоку змінюється пропорційно крутизні зміни коефіцієнта заповнення жолобків (рис.4.8).

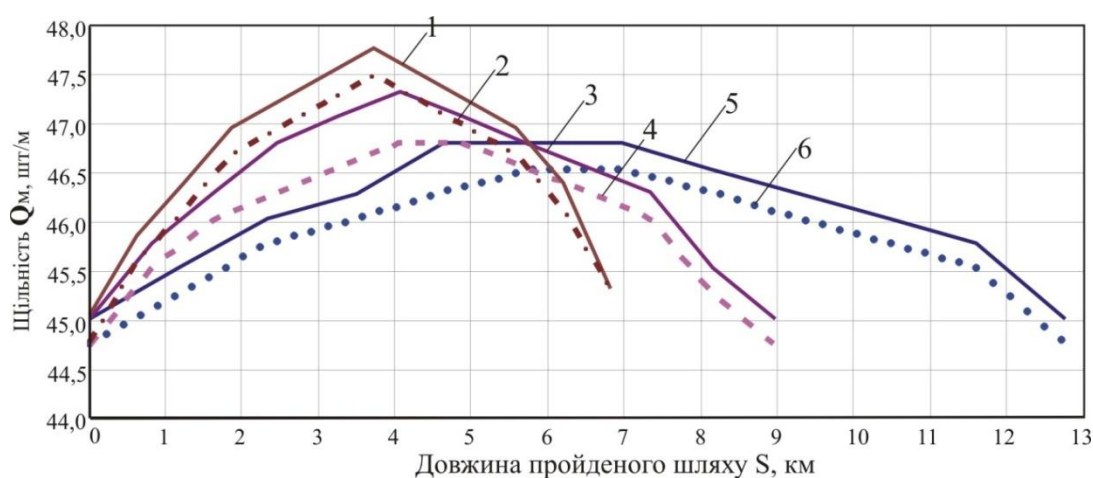


Рис. 4.8. Графіки зміни щільності розподілу зернового потоку при висіванні насіння пшениці за 1-м та 2-м наповненням бункера:

1 – A=45-1; 2-A=45-2; 3-A=35-1; 4-A=35-2; 5-A=25-1; 6-A=25-2;

1 – за 1-м проходженням шляху S_B ; 2 – за 2-м проходженням шляху S_B .

Наприклад, для фракції при зменшенні коефіцієнта заповнення жолобків на 0,05 () щільність зернового потоку зменшується на 3,2%, а при зменшенні на 0,1 () щільність знижується на 5,7%. При висіванні насіння однієї і тієї ж фракції щільність з кожним повторним проходженням шляху (при повторному заповненні бункера) під впливом запиленості змінюється, але характер її зміни залишається практично тим же самим. Зрозглянутого видно, що в процесі сівби в результаті дії зовнішніх факторів щільність розподілу зернового потоку змінюється в значних межах.

	№ докум.		

Курсовое задание

Callus is another organism's perception.

Фракціяпшениці: ,												
	0,02	1,16	2,29	2,58	4	4	4	3,42	2,84	2,29	1,71	0.02
	-0.56	0.58	1.71	2.29	2.87	3.42	3.42	2.87	2.29	1.71	1.16	-0.56
	0	1160	2320	3480	4640	5800	6960	8120	9280	10440	11600	12760
Фракціяпшениці: ,												
	0	1,73	2,89	4,02	4,6	5,18	4,6	4,02	3,44	2,89	1,16	0
	-0.58	1.16	2.29	2.89	3.44	4.02	4.02	3.44	2.89	2.29	0.58	-0.58
	0	814	1628	2442	3256	4070	4884	5698	6512	7326	8140	8954
Фракціяпшениці: ,												
	0,11	1,91	3,11	4,33	4,93	5,53	6,13	5,53	4,93	4,33	3,11	0,71

	-0.49	1.31	2.51	3.73	4.33	4.93	5.53	4.93	4.33	3.73	2.51	0.71
	0	619	1238	1857	2476	3095	3714	4333	4952	5571	6190	6809

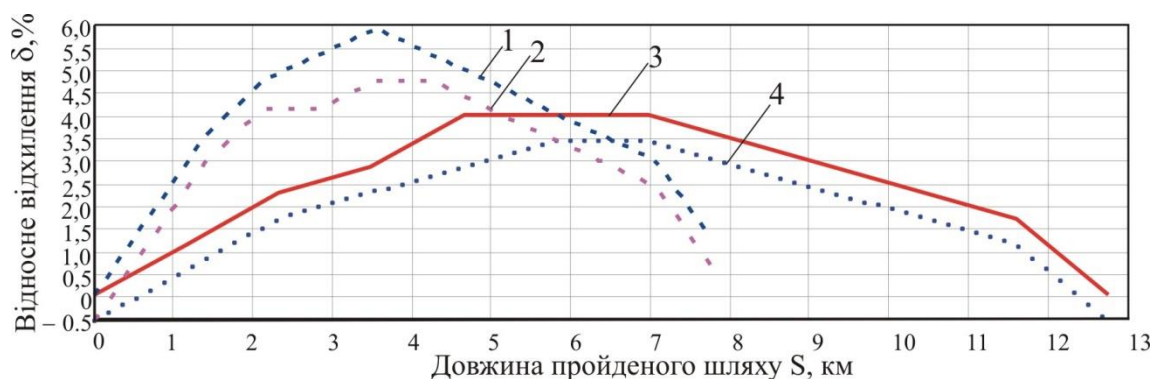


Рис. 4.9. Відносне відхилення фактичного значення щільності розподілу зернового потоку від заданого:

1 – $A=40-1$; 2 – $A=40-2$; 3 – $A=25-1$; 4 – $A=25-2$;

1 – за першим проходженням шляху S_B ; 2 – за другим проходженням шляху S_B

максимуму 6,13%, а для більш дрібних фракцій 4...5,18% при допустимій за агро вимогами нормі відхилення 2...3%. Тобто, при налагоджуванні сівалки

на задану норму висіву з наповненим бункером майже половина шляху буде мати щільність посіву на 3% більшу допустимої, що призводить до перевитрати посівного матеріалу та зниження врожаю. Якщо налагодження сівалки здійснити з наполовину наповненим бункером, то інша половина шляху буде мати на 3% розріджений посів, що також призводить до зниження врожаю. При ємкості бункера сівалки СЗ-3,6 та нормі висіву насіння пшениці (фракція) з однієї заправки можна засіяти близько 3 га поля (8 км гону при ширині захвату 3,6 м). Якщо врахувати вплив означених вище факторів, то можна прийти до висновку, що близько 1/3 частини поля буде засіяно зі значним відхиленням від допустимих агротехнічних вимог.

В результаті проведеного дослідження встановлено, що на роботу

MP-151.21.0101.00.00.ПЗ

висівних апаратів зернової сівалки в польових умовах діють зовнішні фактори, які впливають на зміну норми висіву. За конкретних умов (відсутності тряски, вібрації, запиленості тощо) сівалка, яка представляє собою систему з розімкнутим циклом керування, забезпечує стабільну норму висіву і рівномірний розподіл зернин вздовж рядка. Найбільш вагомим регулярним фактором впливу на зміну фактичної норми висіву в польових умовах є коефіцієнт заповнення жолобків катушки, залежний від наявного обсягу зерна в бункері, типу фракції посівного матеріалу, запиленості жолобків та довжини пройденного сівалкою шляху. Сівалка самостійно не може виправити таке положення і допускає значні відхилення в нормі висіву, що приводить до втрати валового збору зернових культур і великих економічних збитків.

Для подолання цього недоліку необхідно покращити якість керування технологічним процесом шляхом встановлення на зернові сівалки системи автоматичного керування висівом, яка повинна оперативно реагувати як на фракцію посівного матеріалу, так і на характер зміни щільності розподілу зернового потоку в довільних точках шляху і забезпечувати сталість норми висіву в допустимих агрономічними межах [8].

Проведені дослідження відкривають перспективу створення засобів контролю зернового потоку та управління ним у конкретних технологічних умовах.

ВИСНОВКИ

1. Визначено, що параметрами регулювання в створюваній САК можуть бути інтенсивність зернового потоку або щільність розподілу зернового потоку на виході висівного апарату.
2. Обґрунтовано, що найбільш прийнятним для регулювання є

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	91
		№ докум.				

щільність розподілу зернового потоку.

3. Досліджено характер впливу коефіцієнту заповнення жолобка на щільність розподілу зернового потоку і визначено їх функціональну залежність.

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	
		№ докум.				92

5 ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЗМІННИМИ НОРМАМИ ВИСІВУ В УМОВАХ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

5.1 Дослідження методів регулювання щільності розподілу зернового потоку $Q_{мз}$, що формується висівними апаратами сівалки СЗ-3.6

Як описано в розділах 2.2 та 4.2. на роботу висівних апаратів зернової сівалки в польових умовах діє цілий ряд зовнішніх факторів, які впливають на якість сівби шляхом неперервної зміни норми висіву. Незважаючи на те, що сівалка за технологією своєї роботи безперервно змінює інтенсивність зернового потоку в залежності від швидкості її руху, реагувати на зміни щільності розподілу зернового потоку, викликані дією зовнішніх факторів, вона не може. Це приводить до зниження якості висіву, зменшення врожайності та збільшення витрат посівного матеріалу. Головною задачею стабілізуючої системи автоматичного керування при традиційній технології землеробства є забезпечення попередньо заданої сталої щільності розподілу зернового потоку $Q_{мз}$ на всіх ділянках поля. При цьому абсолютне відхилення ΔQ_m фактичної щільності розподілу зернового потоку $Q_{мф}(S)$ в довільній точці пройденого шляху S від заданої $Q_{мз}$ повинно прямувати до нуля, тобто $\Delta Q_m = |Q_{мф}(S) - Q_{мз}| \rightarrow 0$. При технології точного (місцевизначеного) землеробства зі змінними нормами висіву $Q_{мз}(x, y)$ слідкуюча система автоматичного керування повинна забезпечувати виконання умови $\Delta Q_m = |Q_{мф}(x, y) - Q_{мз}(x, y)| \rightarrow 0$. Оскільки, як розглянуто в розд. 4, регульована величина -щільності розподілу зернового потоку $Q_{мз}$ не залежить від швидкості руху сівалки, тому перехідні процеси більш зручно розглядати у функції пройденого шляху S .

Виконаємо побудову перехідних процесів з різними законами автоматичного регулювання за кривою щільності розподілу зернового потоку 3 (рис. 5.1,а), отриманою за умови використання традиційного

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	90
		№ докум.				

регулювання(ланцюгової передачі приводу вала висівного апарата від привідного колеса сівалки $\omega_k = i \cdot \omega_{ок}$)[66-71]. Вказана крива побудована за інтерполяційною формулою Ньютона (4.6) за 23-ма вузлами інтерполяції при висіванні насіння пшениці ($A=40г/тис.шт$) з заданою щільністю розподілу зернового потоку $Q_{мз} = 45шт/м$ (пунктирна 1, рис.5.1,а).

Як видно з рис. 5.1,а, фактична щільність розподілу зернового потоку $Q_{мф}(S_{j,i})$ (крива 3)не відповідає заданій $Q_{мз}$. Для покращення якості регулювання можна застосувати **закон регулювання за відхиленням**(крива 2, рис.5.1а), (5.1):

$$Q_{мф}(S_{j,i}) = \begin{cases} Q_{мф}(S_{j,i}), & \text{якщо } |Q_{мф}(S_{j,i}) - Q_{мз}| < \Delta Q_{мт} \\ Q_{мф}(S_{j,n}) \mp \Delta Q_{мт}, & \text{якщо } |Q_{мф}(S_{j,n}) - Q_{мз}| \geq \Delta Q_{мт} \end{cases}, \quad (5.1)$$

де $j = 0,1,2,...,n$ - інтервали перерегулювання;

$i = 0,1,2,...,n$ - індекси поточних $S_{j,i}$ та кінцевої $S_{j,n}$ координат виміру щільності $Q_{мф}(S_{j,i})$ у середині j -го інтервалу;

$\pm \Delta Q_{мт}$ - заданий поріг регулювання (межа відхилення поточного значення щільності) $Q_{мф}(S_{j,i})$ від заданої $Q_{мз}$.

Згідно заготехнічними вимогами відхилення щільності розподілу зернового потоку не повинно перевищувати 2-3%, тобто де $\Delta Q_{мт} \leq 3$ [8].

При побудові перехідного процесу за цим законом (крива 2, рис.5.1,а) межа відхилення була встановлена на рівні 1% відносно $Q_{мз} = 45шт/м$, тобто $\pm \Delta Q_{мт} = 0,45шт/м$. Як видно з кривих 2 і 3 (рис. 5.1,а), число інтервалів перерегулювання та їх тривалість ΔS_j залежать від крутизни нахилу кривої 3. Вони також будуть залежати від величини порогу регулювання $\pm \Delta Q_{мт}$. Це буде характерним для кожної з фракцій посівного матеріалу.

Найкращих результатів управління процесом висіву можна досягти, якщо процес оцінювати за відносним, усередненим відхиленням регульованої величини від заданого значення $Q_{мз}$ на повній відстані S_B . Це відповідає

критерію якості управління, який можна подати у вигляді функціоналу

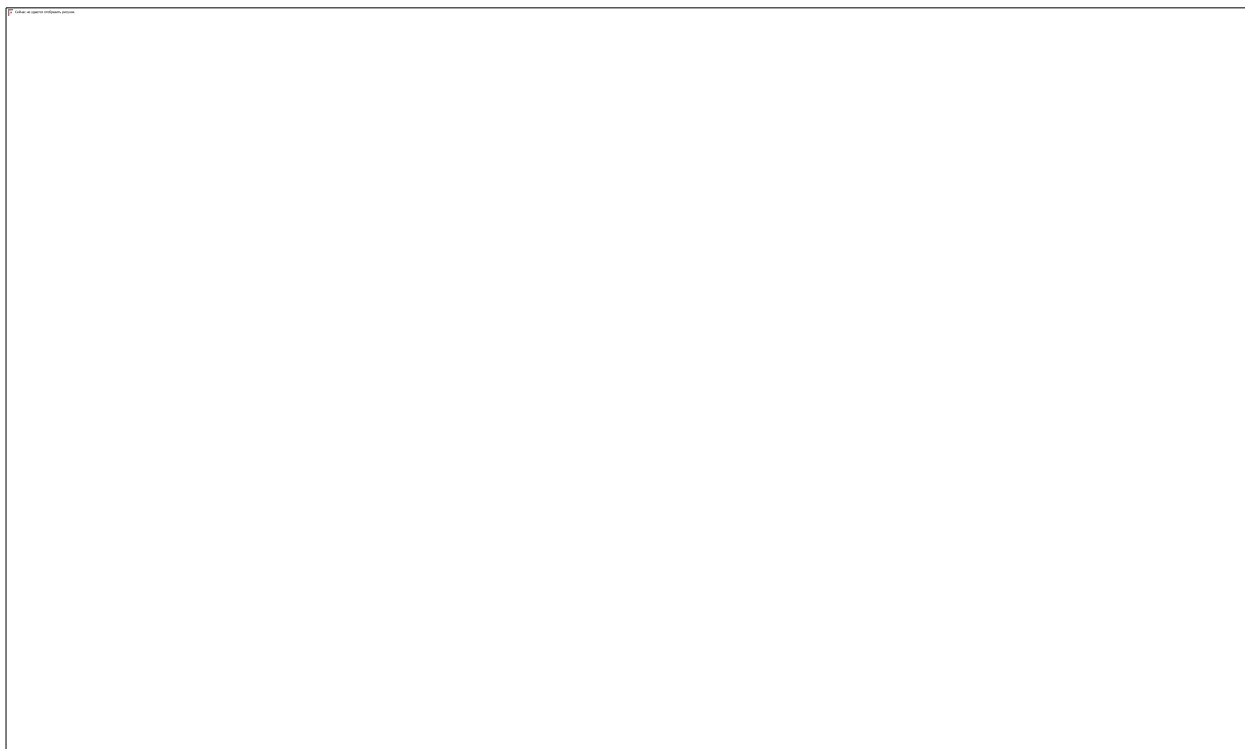


Рис.5.1. Перехідні процеси зміни щільності зернового потоку:

1 – задана для підтримання величина; 2 – регульована у відповідності з запропонованим законом; 3 – традиційно регульована величина;
а – при традиційному регулюванні за відхиленням; б – при регулюванні з упередженням; в – при регулюванні за оптимальним законом

$$J[Q_{\text{мр}}(S)] = \frac{\left| \frac{1}{S_n - S_0} \int_{S_0}^{S_n} Q_{\text{мр}}(S) \cdot dS - Q_{\text{мз}} \right|}{Q_{\text{мз}}} \cdot 100, \% = \frac{\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n \left| \frac{1}{\Delta S_j} \int_0^{S_j} Q_{\text{мр}}(S_{ji}) \cdot dS - Q_{\text{мз}} \right|}{Q_{\text{мз}}} \cdot 100, \%. \quad (5.2)$$

Знайдені за формулою (5.2) усереднені значення абсолютного відхилення щільності зернового потоку $\Delta \bar{Q}_{\text{мр}}$ по кожному з лінеаризованих інтервалів регулювання ΔS_j (чисельник 2-го виразу рівняння) за даними кривої 2 (рис. 5.1,а) дозволили визначити усереднене по шляху $S_B = S_n - S_0$ абсолютне відхилення щільності $\Delta \bar{Q}_{\text{мр}}$ (чисельник 1-го виразу рівняння), що дорівнює $\Delta \bar{Q}_{\text{мр}} = 0,225$ шт/м. Для даного випадку функціонал, що оцінює якість сівби, дорівнює $J[Q_{\text{мр}}(S)] = 0,5\%$. Відносна похибка відхилення щільності зернового потоку від заданого значення знаходиться в межах $\pm 0,5\%$. Зменшити величину функціоналу $J[Q_{\text{мр}}(S)]$ можливо зменшенням порога

регулювання $\pm \Delta Q_m$, пропорційного кроку переміщення виконавчого механізму, тобто інтервалу зміни довжини котушки $\pm \Delta L_k$, мінімальна величина котрого обмежена можливостями існуючих технічних засобів $|\Delta L_k| \geq 0,1 \text{ мм}$. Це примушує вводити обмеження і на величину ΔQ_m . Таке управління можливо здійснити за допомогою системи автоматичного керування, поданої на рис.5.2.

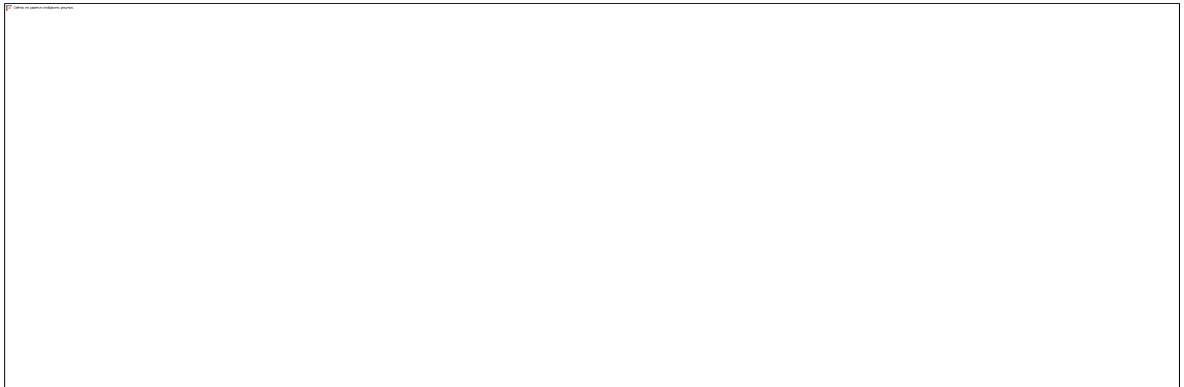


Рис. 5.2. Структурна схема системи автоматичного керування процесом висіву

Регульованим об'єктом тут виступає висівна система зернової сівалки, на виході якої формується зерновий потік. Система комп'ютерної ідентифікації зернового потоку забезпечує визначення поточних значень щільності $Q_{mf}(S)$. До початку сівби в блок обробки інформації вводять обрані значення Q_{m3} , ΔQ_m , i , C_1 . Під час сівби в нього поступають імпульси від зареєстрованих насінин T_3 , сигнали TV_c , які інформують про проходження сівалкою фіксованих ділянок шляху з швидкістю V_c , інформація про об'єм зерна в бункері V_{36} та сигнали "Запуск/Зупинка" ($T_{п/с}$) процесу висіву. На виході даного блока формуються граничні значення параметра відхилення $\Delta Q_m = Q_{mf}(S) - Q_{m3}$. Блок регулювання забезпечує зміну робочої довжини котушки на ΔL_k , пропорційнальну величині відхилення ΔQ_m , тобто

$$\pm \Delta Q_m = \mp b_m \cdot \Delta L_k \quad (5.3)$$

Дослідимо можливості вдосконалення закону керування. Якщо бункер сівалки кожного разу завантажувати насінням однаково, то при кожному проходженні шляху S_b характер зміни щільності зернового потоку буде

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	93
		№ докум.				

повторюватись (графік 3, рис. 5.1,а). Це дозволяє організувати процес керування з упередженням, за яким при кожній наступній зміні робочої довжини котушки $\pm \Delta L_k$ (в кінці попереднього інтервалу регулювання) враховується крутизна зміни щільності в наступному інтервалі на підставі значення критичної щільності, зафіксованої в пам'яті бортового комп'ютера за результатами реєстрації даних на попередньому відрізку шляху S_B . На підставі цього створено **закон регулювання з упередженням**, який можна подати залежностями (5.4).

$$Q_{MPY}(S_{j,i}) = \begin{cases} Q_{mf}(S_{j,i}), & \text{якщо } |Q_{mf}(S_{j,i}) - Q_{MB}| < \Delta Q_{MPY} \\ Q_{mf}(S_{j,n}) \mp \Delta Q_{MPY} \mp Q_{MB} \cdot N \cdot \operatorname{tg}_{j+1} \alpha, & \text{якщо } |Q_{mf}(S_{j,n}) - Q_{MB}| \geq \Delta Q_{MPY} \end{cases}, \quad (5.4)$$

де $\operatorname{tg} \alpha$ - тангенс кута нахилу кривої щільності в попередньому інтервалі перерегулювання, який визначається з співвідношення $\operatorname{tg}_{j-1} \alpha = (Q_{mf}(S_{j-1,n}) - Q_{mf}(S_{j-1,0})) / (S_{j-1,n} - S_{j-1,0})$.

N - коефіцієнт пропорційності, який використовується при визначенні регульованої величини відхилення з упередженням $\mp \Delta Q_{MPY} = \mp Q_{MB} \cdot N \cdot \operatorname{tg}_{j+1} \alpha$ і визначається за умови $\Delta Q_{MPY} = 0,005 \cdot Q_{MB}$ при максимальній кривизні $\operatorname{tga}(S)_{\max}$ кривої щільності $Q_{mf}(\mu, S)$. Наприклад. Допустимо, що найбільша крутизна кривої 3 (рис. 5.1,а) знаходиться в інтервалі пере регулювання j_3 . Тоді $\operatorname{tg}_{\max} \alpha = (Q_{mf}(S_{j_3,n}) - Q_{mf}(S_{j_3,0})) / (S_{j_3,n} - S_{j_3,0}) = (45,45 - 44,57) / (1500 - 900) = 0,00147$. Звідси $N = 0,005 / 0,00147 = 3,4$. Значення коефіцієнтів пропорційності N та діапазонів варіювання тангенса кута нахилу $\operatorname{tg} \alpha$ подані в табл. 5.1.

Таблиця 5.1.

Діапазони зміни тангенса кута нахилу кривої щільності на шляху S_6 і значення коефіцієнта пропорційності N для різних фракцій посівного матеріалу

Тип фракції $A \geq / \text{мис.шт}$	25	30	35	40	45
$\operatorname{tga}(S)$	$5 \cdot 10^{-4} \dots 0$	$6 \cdot 10^{-4} \dots 0$	$1 \cdot 10^{-3} \dots 0$	$1,3 \cdot 10^{-3} \dots 0$	$1,5 \cdot 10^{-3} \dots 0$
N	13	10	6	5	4

З даних таблиці видно, що поправки, які вносяться при реалізації даного закону керування, суттєво відрізняються як вздовж шляху S_B , так і в межах окремої фракції посівного матеріалу. Крива перехідного процесу для даного закону керування приведена на рис. 5.1,б – крива 2. Функціонал оцінки якості сівби, визначений для даного закону регулювання, при $Q_{мв} = 45 \text{ шт/м}$ та $\Delta Q_{мт} = 0,45 \text{ шт/м}$ дорівнює $J[Q_{мпу}(S)] = 0,416\%$, що вказує на часткове підвищення якості регулювання.

Враховуючи позитивний вплив регулювання з упередженням на показники якості сівби та фактор технічного обмеження зміни робочої довжини котушки ($|\Delta L_k| \geq 0,1 \text{ мм}$, $|\Delta Q_{мт}| \cdot 100\% / Q_{мв} \geq \delta_{\text{мін}}, \%$), можна запропонувати більш спрощений **оптимальний закон** автоматичного регулювання у вигляді залежностей (5.5).

$$Q_{мпо}(S_{j,i}) = \begin{cases} Q_{мф}(S_{j,i}), & \text{якщо } |Q_{мф}(S_{j,i}) - Q_{мв}| < \Delta Q_{мо}(S_{j,1}), \\ Q_{мф}(S_{j,n}) - [\pm(\Delta Q_{м}(S_{j,n}) \pm \Delta Q_{мо}(S_{j,1}))], & \text{якщо } |Q_{мф}(S_{j,n}) - Q_{мв}| \geq \Delta Q_{мо}(S_{j,1}) \end{cases}. \quad (5.5)$$

Цей закон дозволяє встановити поріг регулювання на рівні $\Delta Q_{мо} = \Delta Q_{мп} / 2$ і звести величину відхилення за упередженням до мінімально допустимої зміни робочої довжини котушки. Перехідний процес зміни щільності зернового потоку фракції $A = 40 \text{ г/тис.шт.}$ відповідно даному закону керування подано на рис. 5.1,в – графік 2. При цьому функціонал оцінки якості сівби, визначений при $Q_{мв} = 45 \text{ шт/м}$ і $\Delta Q_{мт} = 0,45 \text{ шт/м}$, дорівнює $J[Q_{мпо}(S)] = 0,25\%$, що є найбільш оптимальним з розглянутих вище законів. Реалізувати останні два закони за допомогою розглянутої САК (рис. 5.2) не можливо, оскільки вона повинна оперативно реагувати на вплив зовнішніх факторів. Для цього їй необхідно доповнити блоком адаптації, який повинен на підставі розширених вхідних даних $Q_{мв}$, i , A , γ , C_1 визначати коефіцієнт пропорційності b_m і відповідний для даної фракції посівного матеріалу поріг регулювання $\Delta Q_{мо}$, пропорційний встановленому кроку переміщення ΔL_k [39]. Для подолання цього недоліку на зернові сівалки необхідно

встановлювати такі системи автоматичного керування, які б оперативно реагувати як на фракцію посівного матеріалу, так і на характер зміни щільності розподілу зернового потоку на довільних ділянках поля і забезпечували сталість щільності розподілу зернового потоку в допустимих агровимогами межах.

5.2 Дослідження шляхів створення адаптивної системи керування при традиційному землеробстві

Дослідимо шляхи побудови такої адаптивної системи керування, параметри якої при зміні значень внутрішніх і зовнішніх факторів будуть автоматично змінюватися, підтримуючи тим самим близький до оптимального режим роботи. Оскільки на щільність розподілу зернового потоку в польових умовах явно або неявно впливає цілий ряд факторів, значення яких задаються не точно (i, C_1, A, γ) або їх не можна визначити $(\mu, \varepsilon, \phi, V_{зб})$, а з іншого боку доведено, що щільність залежить від робочої довжини котушки, то виходить, що в коефіцієнті пропорційності b_m опосередковано відображається вплив усіх означених вище факторів

$$Q_{мф} = f(L_k, \mu, \gamma, A, \phi, V_{зб}, i, \varepsilon, C_1, S) = b_m \cdot L_k. \quad (5.6)$$

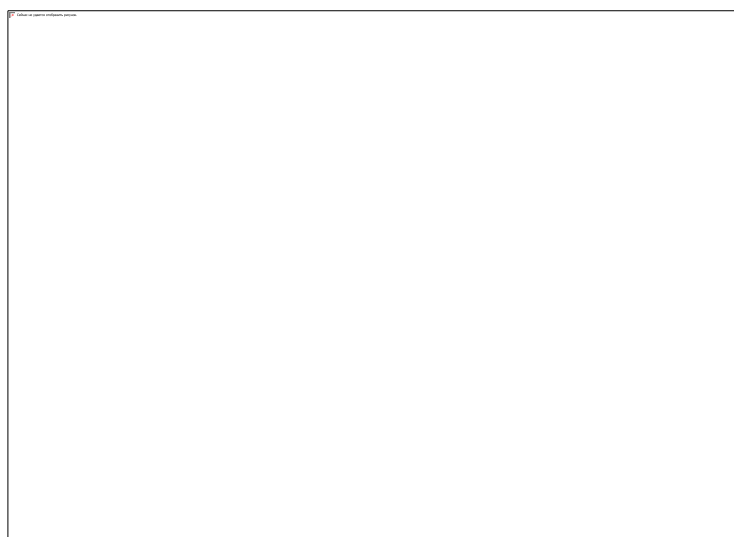
Тому і виникла необхідність в дослідженні шляхів визначення коефіцієнта пропорційності b_m . Для цього дослідимо більш детально залежність між щільністю $Q_{мф}$ та робочою довжиною котушки L_k для різних фракцій пшениці на підставі визначених раніше формул (4.1, 4.3).

Як видно з графіків (рис.5.3.), робоча довжина котушки L_k залежить від величини заданої щільності розподілу зернового потоку $Q_{мз}$ та типу фракції. Кути нахилу α (табл. 5.2) та коефіцієнти пропорційності $b_m = \tan \alpha$ прямих $Q_m(L_k)$ зменшуються по мірі збільшення величини фракції і збільшуються при зростанні передаточної величини i . При цьому відсоток $\delta(\Delta L_k) = \Delta Q_m \cdot 100\% / Q_{мз}$ відносного відхилення ΔQ_m фактичної щільності

Таблиця 5.2.

Показники оцінки залежності $Q_m(L_k)$

$A(z / \text{мис.ит.})$		25	30	35	40	45
$i = 0,6$	b_m	3,89	3,23	2,7	2,3	1,98
	α	75,4 ⁰	72,85 ⁰	69,74 ⁰	68,49 ⁰	63,27 ⁰
	$\delta(0,1)\%$	0,86	0,72	0,60	0,51	0,44
	$\delta(0,2)\%$	1,73	1,44	1,20	1,02	0,88
$i = 0,66$	b_m	4,28	3,56	2,98	2,53	2,18
	α	76,9 ⁰	74,34 ⁰	71,46 ⁰	68,49 ⁰	65,40 ⁰
	$\delta(0,1)\%$	0,95	0,79	0,66	0,56	0,48
	$\delta(0,2)\%$	1,9	1,58	1,32	1,12	0,97
$i = 0,72$	b_m	12,05	11,31	10,55	10,13	9,71
	α	85,3 ⁰	84,99 ⁰	84,63 ⁰	84,40 ⁰	84,16 ⁰
	$\delta(0,1)\%$	2,67	2,52	2,34	2,25	2,16
	$\delta(0,2)\%$	5,36	5,03	4,7	4,5	4,3

Рис.5.3.Залежність Q_m від L_k при $i = 0,6$ 1 - $\mu = 0,82$; $A = 25$; $\gamma = 760$; $C_1 = 7$ 2 - $\mu = 0,8$; $A = 30$; $\gamma = 753$; $C_1 = 8$ 3 - $\mu = 0,75$; $A = 35$; $\gamma = 745$; $C_1 = 9$

розподілу зернового потоку $Q_{мф}$ від заданої $Q_{мз} = 45 \text{ ит/м}$ при зміні робочої довжини котушки на $\Delta L_k = 0,1 \text{ мм}$ не перевищує $\delta(\Delta L_k) \leq 1\%$ для передаточних величин $i \leq 0,67$ і перевищує $\delta(\Delta L_k) > 2\%$ при $i > 0,7$. При зміні робочої довжини котушки на $\Delta L_k = 0,2 \text{ мм}$ відсотковідхилення при $i \leq 0,67$ не перевищує $\delta(\Delta L_k) \leq 2\%$ і перевищує $\delta(\Delta L_k) > 5\%$ при $i > 0,7$. Тобто, чутливість

висівної системи до мінімальних змін в робочій довжині котушки ΔL_k більша для менших за розміром фракцій посівного матеріалу і суттєво збільшується при підвищенні значення передаточної величини. Для забезпечення більш високої якості регулювання необхідно, щоб передаточна величина i не перевищувала максимально допустимої межі для даної щільності розподілу зернового потоку, наприклад: для $Q_{мз} = 45 \text{ шт/м}$, $i \leq 0,67$; для $Q_{мз} = 60 \text{ шт/м}$, $i \leq 0,72$. Згідно агротехнічних вимог [8] відхилення поточної щільності розподілу зернового потоку від заданої не повинно перевищувати $|\delta(\Delta L_k)| \leq 2 \div 3\%$, а це означає, що зміна робочої довжини котушки при регулюванні не повинна перевищувати $|\Delta L_k| \leq 0,2 \text{ мм}$ при $i \leq 0,67$. В той же час мінімально допустимий інтервал переміщення робочої довжини котушки обмежений технічними можливостями блока регулювання $|\Delta L_{k \min}| \geq 0,1 \text{ мм}$. Це обмеження найбільш ефективно використовується оптимальним законом регулювання $Q_{мрО}(S_{ji})$ (5.5) (див.рис. 5.1,в – графік 2).

Результати цих досліджень дають підставу для створення адаптивної САК з програмним налагодженням [39, 67, 68]. Для цього розглянутий вище контур САР (рис. 5.2) доповнюється блоком налагодження, який повинен на підставі розширених вхідних даних $(Q_m^3, i, A, \gamma, C1)$ визначати за табличними показниками (табл. 5.2) коефіцієнт пропорційності b_m і, відповідний для даної фракції, поріг регулювання $\Delta Q_{мО}$, пропорційний інтервалу переміщення $\Delta L_k = 0,1$ або $0,2 \text{ мм}$. Зформовані значення оптимального порога регулювання $\Delta Q_{мО}$ передаються в блок обробки інформації, а коефіцієнта пропорційності b_m – в блок регулювання, де формується значення інтервалу переміщення $\Delta L_k = -[\pm(\Delta Q_m + \Delta Q_{мО})/b_m]$ (5.5). Розглянута САК програмно адаптується до фракції посівного матеріалу, але не формує відповідних реакцій на динамічні зміни щільності $Q_{мФ}(\mu, S)$ викликані діями зовнішніх факторів $(\mu, \varepsilon, \phi, V_{зб})$.

Звідси і виникла необхідність в розробці методу непрямого

визначення коефіцієнту пропорційності b_m між щільністю зернового потоку та робочою довжиною котушки і побудові на його основі адаптивної системи автоматичного керування процесом висіву на зернових сівалках, як при традиційній так і при точній технології землеробства.

Метод визначення коефіцієнта пропорційності b_m полягає у знаходженні відношення фактичної величини зміни щільності $\Delta Q_{мФ}$ розподілу зернового потоку в момент перерегулювання до заданого інтервалу ΔL_k переміщення робочої довжини котушки. Використання цього методу дозволяє встановити реальну прямо пропорційну залежність між величиною зміни щільності та робочою довжиною котушки ($\Delta Q_{мФ} = b_m \cdot \Delta L_k$), оскільки параметри регулювання $\Delta Q_{мФ}$, ΔL_k і коефіцієнт пропорційності b_m визначаються за фактичними даними. Найбільш вагомим у цьому методі є те, що величина зміни щільності $\Delta Q_{мФ}$, яка визначається за результатами виміру значень щільності на початку $Q_{мФ}(S_{j-1,0})$ та в кінці $Q_{мФ}(S_{j-1,k})$ попереднього терміну перерегулювання, вміщує в собі інформацію про вплив регулярних (μ , A , γ , ϕ , $V_{зб}$) та випадкових (ε) зовнішніх факторів. Усе це дає можливість створити адаптивну самоналагоджувальну САК щільності розподілу зернового потоку, структурна схема якої представлена на рис. 5.4.

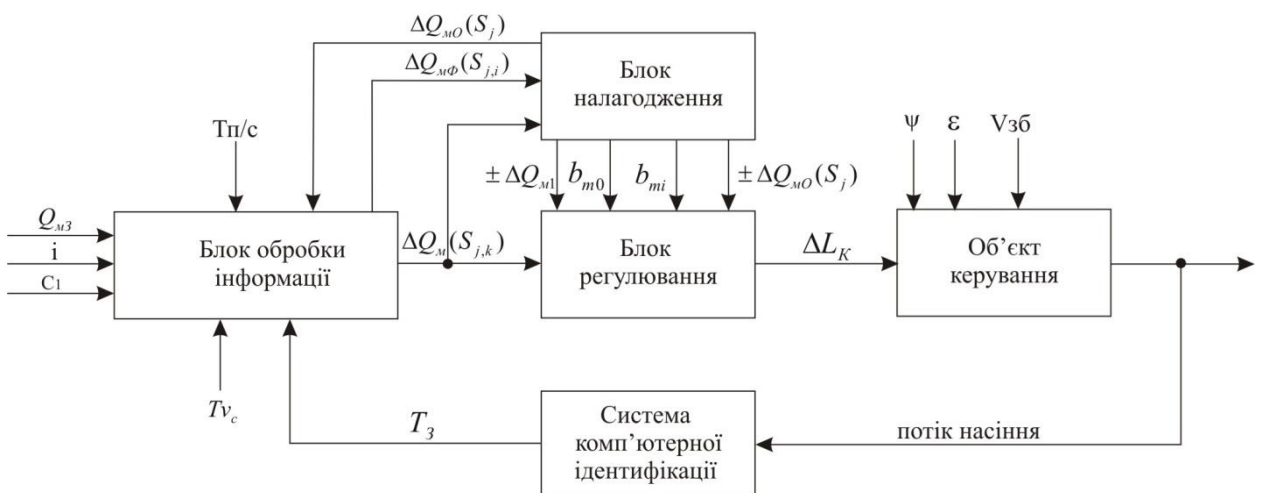


Рис.5.4.Структурна схема адаптивної САК процесу висіву

Вона отримана шляхом доповнення розглянутої вище одноконтурної

САР блоком налагодження. Головною задачею означеного блоку є формування сигналів керування b_{m0} , ΔQ_{m1} , b_{mj} та $\Delta Q_{mO}(S_j)$ для блоків регулювання та обробки інформації на підставі мінімально допустимих вхідних даних: поточних значень фактичної щільності розподілу зернового потоку $Q_{m\Phi}(S_{j,i})$, заданої величини переміщення ΔL_{kj} та сигналу початку перерегулювання $\Delta Q_m(S_{j,k})$, який формується за оптимальним законом регулювання $Q_{mPO}(S_{j,i})$ (5.5).

Принцип функціонування адаптивної САК можна наочно пояснити на підставі графіка (рис. 5.5), структурної схеми (рис. 5.4), закону регулювання (5.5) та співвідношень (5.7)...(5.18). На початку першого гону після введення в роботу висівних апаратів сівалки за сигналом «Пуск» ($T_{II/C} = 1$) на виході блока обробки інформації формується перше довільне, за відсутності попереднього.



Рис. 5.5 Перехідні процеси зміни щільності зернового потоку:
1 – задана для підтримання величина; 2 – регульована у відповідності з оптимальним законом

Налагодження сівалки на задану норму висіву Q_{m3} , значення фактичної щільності розподілу зернового потоку $Q_{m\Phi}(S_{0,0})$. Одночасно в блоці налагодження визначається наближене значення початкового коефіцієнта пропорційності b_{m0} із співвідношення $b_{m0} = \Delta Q_{m01} / \Delta L_{k \min}$, де відхилення $\Delta Q_{m01} = 0,01 \cdot Q_{m3}$ приймається на рівні 1% від заданої норми висіву Q_{m3} , а величина початкового переміщення ΔL_{k0} – на рівні мінімально допустимого інтервалу переміщення робочої довжини катушки $\Delta L_{k \min} = 0,1 \text{ мм}$. В тому ж блоці при кожному поточному вимірі обчислюється величина відхилення поточної щільності $Q_{m\Phi}(S_{0,i})$ від заданої Q_{m3} , яка на самому першому інтервалі

$$\Delta Q_{\text{м}}(S_{0,i}) = Q_{\text{мФ}}(S_{0,i}) - Q_{\text{мЗ}}, \quad (5.8)$$

перерегулювання порівнюється з допустимою величиною відхилення прийнятою на рівні 2% від $Q_{\text{мЗ}}$, тобто ($\Delta Q_{\text{м02}} = 0,02 \cdot Q_{\text{мЗ}}$). Якщо на одному з чергових тактів порівняння виконується умова $|\Delta Q_{\text{м}}(S_{0,k})| \geq \Delta Q_{\text{м02}}$, то на підставі оптимального закону регулювання (5.5) за співвідношення (5.9) розраховується перший параметр регулювання $\Delta Q_{\text{м1}} = \pm(\Delta Q_{\text{м}}(S_{0,k}) + 0,01 \cdot Q_{\text{мЗ}})$, де згідно закону регулювання (5.5) величина оптимального переміщення $\Delta Q_{\text{м0}}$ дорівнює $\Delta Q_{\text{м0}} = \Delta Q_{\text{м02}} / 2 = 0,01 \cdot Q_{\text{мЗ}}$

$$\Delta Q_{\text{м1}} = \begin{cases} \Delta Q_{\text{м}}(S_{0,i}), & \text{якщо } |Q_{\text{мФ}}(S_{0,i}) - Q_{\text{мЗ}}| < 0,02 \cdot Q_{\text{мЗ}} \\ \pm(\Delta Q_{\text{м}}(S_{0,k}) + 0,01 \cdot Q_{\text{мЗ}}), & \text{якщо } |Q_{\text{мФ}}(S_{0,k}) - Q_{\text{мЗ}}| \geq 0,02 \cdot Q_{\text{мЗ}} \end{cases} \quad (5.9)$$

На підставі розрахованого параметра регулювання $\Delta Q_{\text{м1}}$, першого з початку роботи системи, в блоці регулювання за співвідношенням (5.10) визначається перший інтервал переміщення ΔL_{k1} .

$$\Delta L_{\text{k1}} = -\frac{\pm \Delta Q_{\text{м1}}}{b_{\text{м0}}}. \quad (5.10)$$

Оскільки коефіцієнт пропорційності $b_{\text{м0}}$ визначений умовно, то заданий величина переміщення робочої довжини котушки ΔL_{k1} може не відповідати величині фактичної зміни щільності $\Delta Q_{\text{мФ}}(S_{j-1,k})$ в попередньому $j-1$ інтервалі перерегулювання

$$\Delta Q_{\text{мФ}}(S_{j-1,k}) = Q_{\text{мФ}}(S_{j-1,k}) - Q_{\text{мФ}}(S_{j-1,0}). \quad (5.11)$$

Значення коефіцієнту пропорційності b_{mj} для наступного j -го інтервалу пере регулювання розраховується блоком налагодження за співвідношенням

$$b_{\text{mj}} = \left| \frac{\Delta Q_{\text{мФ}}(S_{j-1,k})}{\Delta L_{\text{kj}}} \right|, \quad (5.12)$$

де $\Delta Q_{\text{мФ}}(S_{j-1,k})$ визначається за результатами виміру фактичних значень щільності на початку $Q_{\text{мФ}}(S_{j-1,0})$ та в кінці $Q_{\text{мФ}}(S_{j-1,k})$ попереднього терміну пере

регулювання (5.11), а інтервал переміщення ΔL_{kj} відповідає реально заданому на момент перерегулювання. Визначений коефіцієнт пропорційності b_{mj} забезпечує в процесі регулювання виконання прямо пропорційної залежності між величиною зміни щільності $\Delta Q_{mPO}(S_{j,k})$ та інтервалом переміщення ΔL_k . Це дозволяє знаходити для висіваємої фракції насіння поріг регулювання $\Delta Q_{mI}(S_j)$, пропорційний мінімально допустимому інтервалу переміщення робочої довжини котушки $\Delta L_k = 0,1\text{мм}$ за співвідношенням

$$\Delta Q_{mI}(S_j) = b_{mj} \cdot 0,1 \quad (5.13)$$

та відповідний йому відсоток відхилення

$$\delta_j(0,1) = \frac{\Delta Q_{mI}(S_j)}{Q_{мЗ}} \cdot 100\% . \quad (5.14)$$

На підставі отриманого значення $\Delta Q_{mI}(S_j)$ визначається оптимальний для поточного j -го інтервалу поріг регулювання

$$\Delta Q_{mO}(S_j) = \frac{\Delta Q_{mI}(S_j)}{2} , \quad (5.15)$$

що передається в блок обробки інформації. Коли відхилення $\Delta Q_m(S_{j,k})$ поточної щільності $Q_{мФ}(S_{j,i})$ від заданої $Q_{мЗ}$ перевищує заданий поріг регулювання $\Delta Q_{mO}(S_j)$, то його значення

$$\Delta Q_m(S_{j,k}) = Q_{мФ}(S_{j,k}) - Q_{мЗ} \quad (5.16)$$

передається в блок регулювання та в блок налагодження. Для останнього це слугує сигналом для передачі в блок регулювання значень b_{mj} та $\Delta Q_{mO}(S_j)$, в якому за законом $Q_{mPO}(S_{j,i})$ знаходиться величина перерегулювання

$$\Delta Q_{mPO}(S_{j,k}) = \Delta Q_m(S_{j,k}) + \Delta Q_{mO}(S_j) , \quad (5.17)$$

а за співвідношенням (5.18) визначається інтервал встановлення робочої довжини котушки ΔL_{kj+1} .

$$\Delta L_{kj+1} = - \frac{[\pm \Delta Q_{mPO}(S_{j,k})]}{b_{mj}} \quad (5.18)$$

Після виконання операції переміщення ΔL_{kj+1} визначається величина фактичного відхилення щільності $\Delta Q_{\text{мф}}(S_{j-1,k})$ (5.11) і коефіцієнт пропорційності b_{mj} (5.12) для наступного j -го інтервалу. Для кожного поточного інтервалу (циклу) регулювання усі означені вище операції повторюються послідовно, починаючи з виконання співвідношення (5.11) і закінчуючи (5.18).

Оскільки коефіцієнт пропорційності визначається в кожному інтервалі регулювання, то це дозволяє системі адаптуватися не лише до типу фракції насіння, але й до змін викликаних діями зовнішніх факторів на протязі усього процесу висіву. При цьому система самостійно здійснює переналадження параметрів для забезпечення оптимального режиму висіву.

Функціональна схема адаптивної САК щільністю розподілу зернового потоку на базі сівалки СЗ-3,6 наведена на рис. 5.6. Вона діє відповідно алгоритму, що представлений на рис.5.7 (аркуші 1). До її складу входять наступні елементи: програмні модулі (налагодження – 1, обробки інформації – 3, визначення швидкості – 7, визначення щільності – 8, імітатора руху сівалки – 10, розпізнавання образів та формування «сходів» - 11), які працюють на базі бортового комп'ютера з панеллю управління та індикації 2; блок формування сигналів регулювання 4 у складі програмного модуля, що діє на базі бортового комп'ютера та мікроконтролера, який слугує для управління актуатором; виконавчий механізм 5; об'єкт керування – висівна система сівалки 6; датчик швидкості 9; вузол синхронізації, попередньої обробки та передачі даних 12 та вузол реєстрації 13.

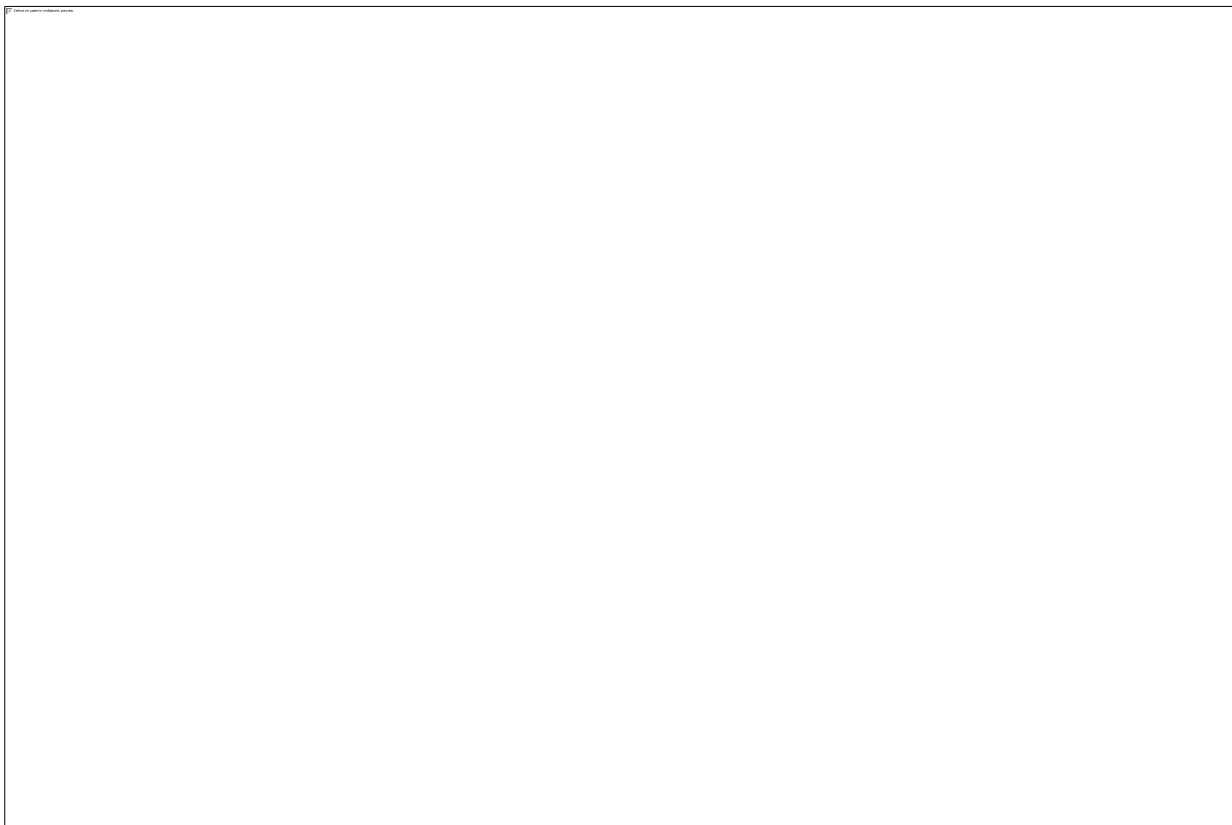


Рис. 5.6. Функціональна схема адаптивної САК щільністю розподілу зернового потоку на базі сівалки СЗ-3,6

З розглянутого та рис.5.6 видно, що всі складові адаптивної САК щільністю розподілу зернового потоку реалізовані на засобах мікропроцесорної техніки. Оригінальними є лише вузол реєстрації, виконавчий механізм та засіб вимірювання швидкості руху сівалки.

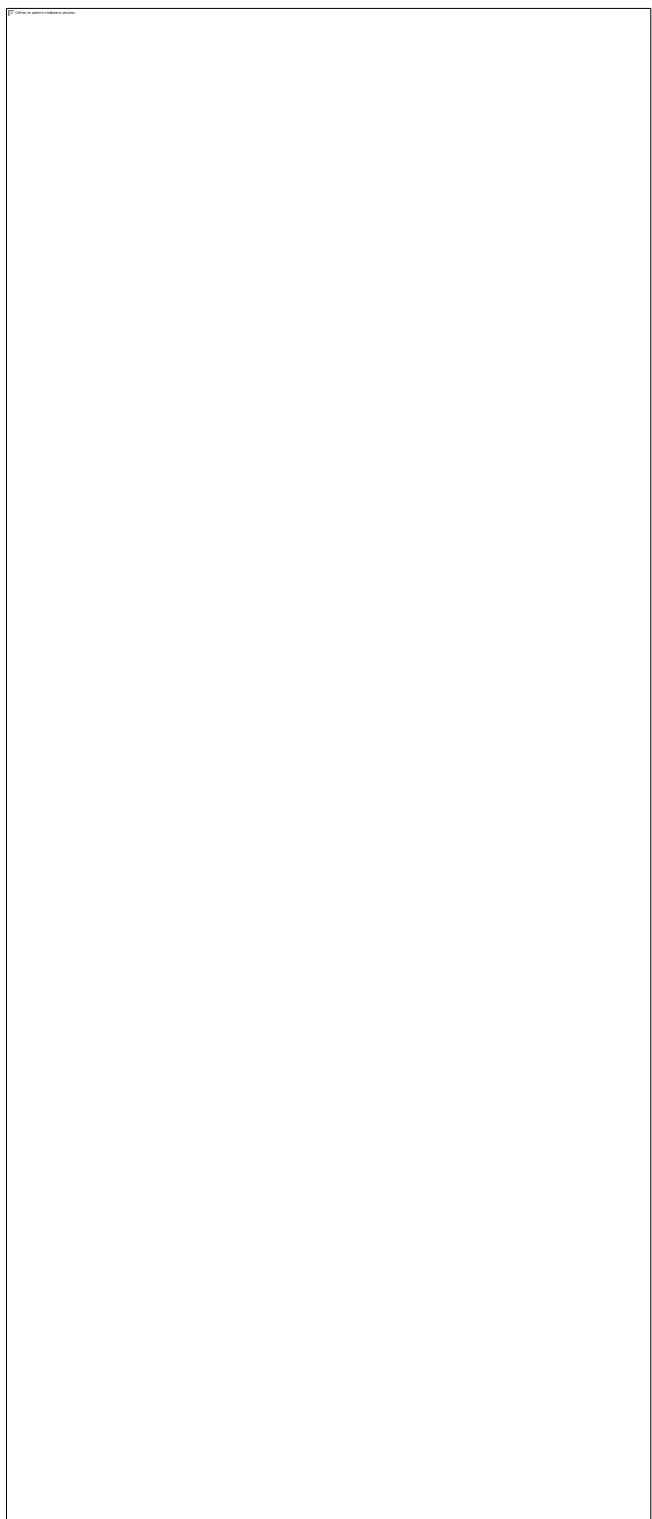


Рис.5.7. Алгоритм роботи адаптивної самоналагоджувальної САК нормою висіву (арк.1)

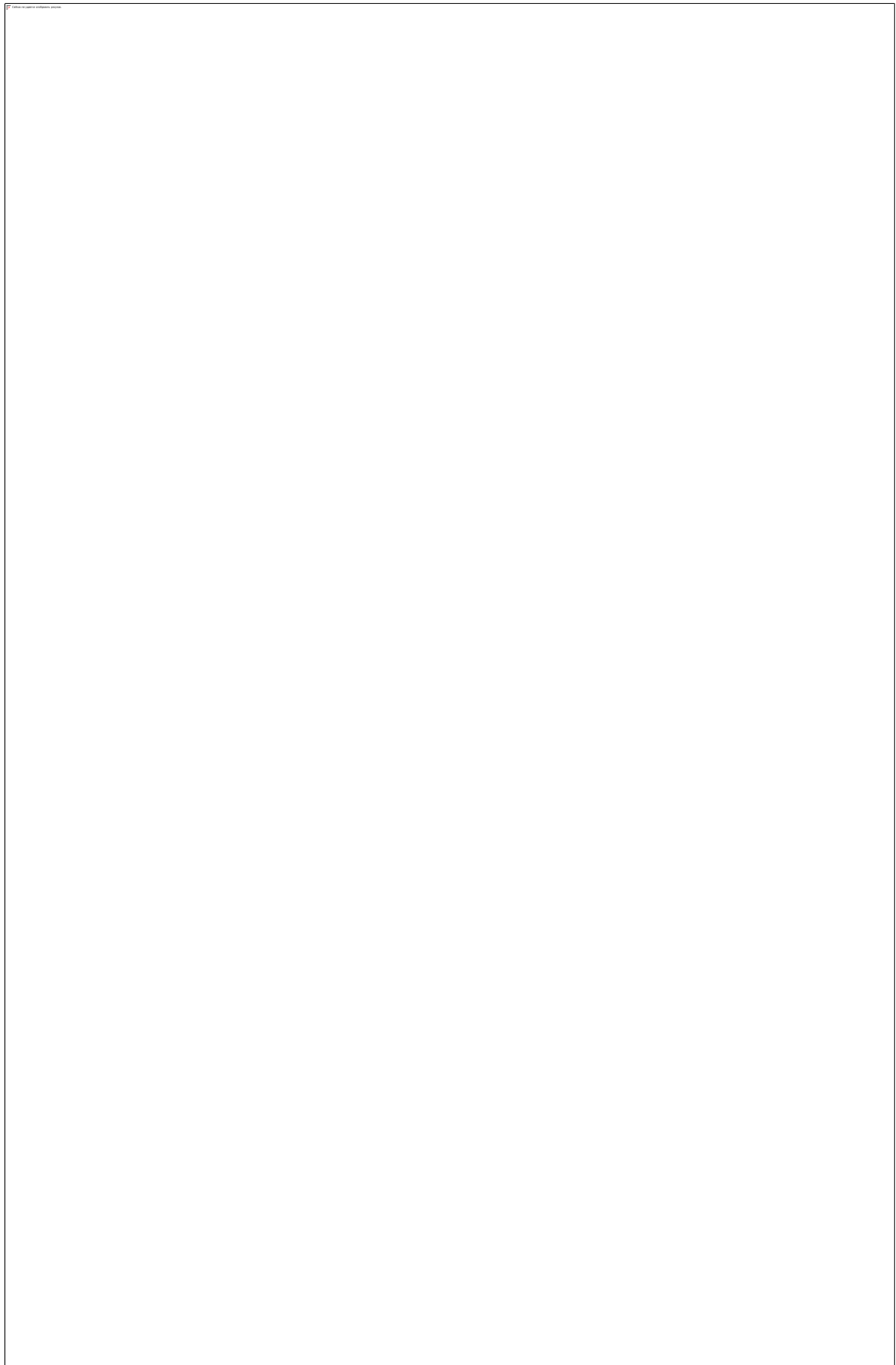


Рис.5.7. Алгоритм роботи адаптивної самоналагоджувальної
САК нормою висіву (арк.2)

5.3. Аналіз можливості використання адаптивної САК при змінних нормах висіву за технологією точного землеробства на базі сівалки СЗ-3,6

За результатами аналізу можливостей засобів реєстрації зернового потоку, результатів дослідження методів та засобів регулювання щільності розподілу зерна вздовж рядка висіву Q_m та виміру швидкості руху сівалки, а також структури апаратно-програмного комплексу, призначеного для проведення місцевизначеної сівби, запропонованого вченими Національного університету біоресурсів і природокористування України [34], було досліджено можливість використання адаптивної системи регулювання щільності розподілу зернового потоку (розділ 5.2) в САК процесом висіву за технологією точного землеробства на базі сівалки СЗ-3,6.

Апаратна частина проектуємої САК (рис. 5.8) включає: бортовий комп'ютер з дисплеєм; ГСП-приймач; технологічну карту-завдання змінних норм висіву на електронному носіїві (картограму сівби); датчик швидкості руху сівалки; датчик включення сівалки в роботу; вузол реєстрації та вузол синхронізації, попередньої обробки та передачі даних, які входять до складу системи комп'ютерної ідентифікації (СКІ) і відіграють роль зворотнього зв'язку; лінійний електропривод з блоком керування та важелем подачі валу висівних апаратів сівалки.

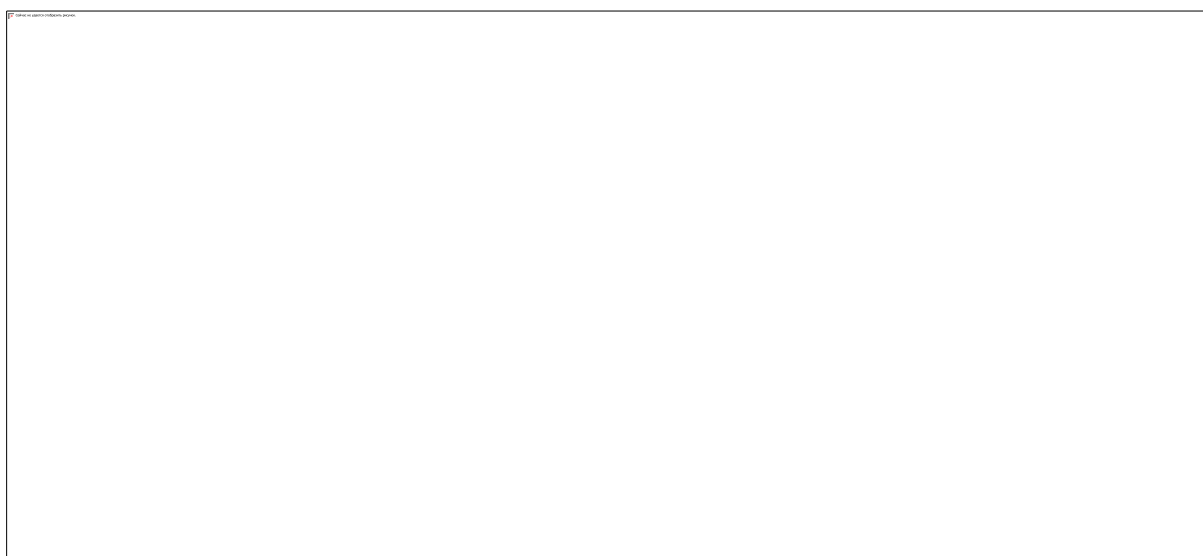


Рисунок 5.8 - Загальна структура САК процесом висіву при точному землеробстві

Функції блока обробки вхідних даних та формування поточних значень щільності розподілу зерна покладаються на бортовий комп'ютер. В цілому, описаний комплекс представляє собою замкнену динамічну САК, принцип роботи якої наочно ілюструє функціональна схема (рис. 5.9).

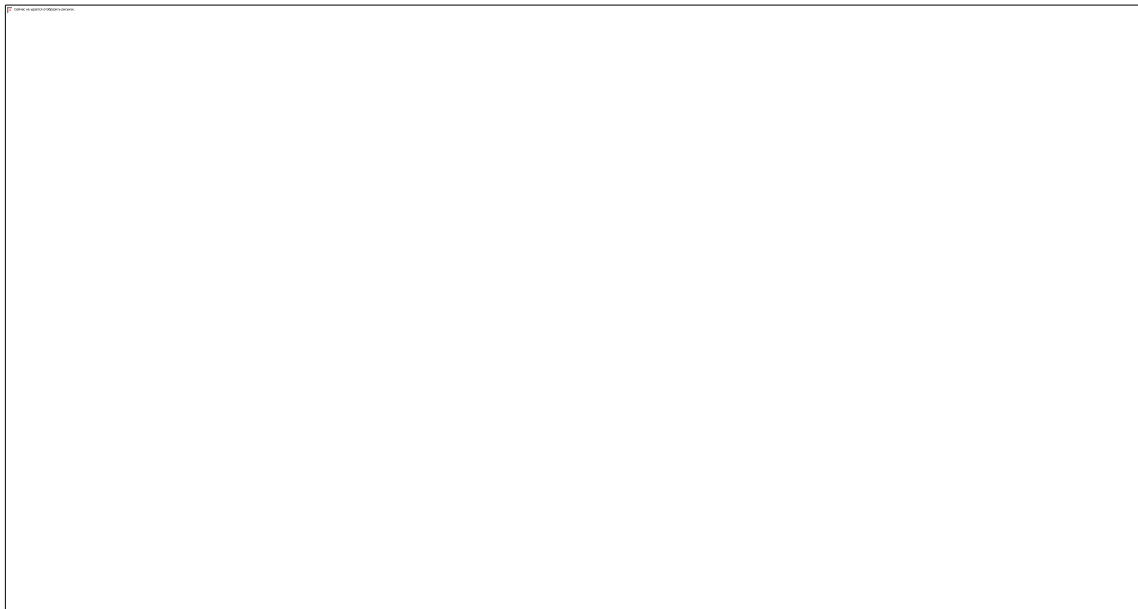


Рисунок 5.9 - Функціональна схема роботи автоматизованої системи керування процесом висіву

Перед початком сівби, на сівалці за допомогою редуктора встановлюється передаточна величина i приводу висівних апаратів, розрахована на мінімально допустиму задану норму висіву $Q_{\min}^3 \text{ кг/га}$. Робоча довжина катушок висівних апаратів L_k може бути довільною. Не менше ніж за 10÷20 метрів до початку сівби вмикається електроживлення ($U = \pm 12V$) системи керування процесом висіву. При цьому активізується робота програмних модулів №1÷3, №8÷13 (рис. 5.9). Аналогові сигнали $A_0 \dots A_7$ з виходу вузла реєстрації 14 поступають на вхід вузла синхронізації,

попередньої обробки та передачі даних 13, з виходу якого зформований двійковий код зображення рядка реєстрації через USB – порт бортового комп'ютера поступає в блок розпізнавання образів та формування «сходів» 12. Зформовані блоком 12 сигнали «сходження» зерна $C_{xi}(t)$ надходять до модуля – імітатора руху сівалки 10, з виходу якого сигнали

«сходження» $C_x(S)$, узгоджені з швидкістю руху сівалки $V_{ci}(м/с)$, поступають в модуль 11 - визначення щільності розподілу зерна вздовж рядка висіву $Q_{mi}^\Phi(шт/м)$. Визначені ГСП-приймачем координати МТА узгоджуються з картограмою поля (модуль 1), в результаті чого формуються місцевизначені координати (x_i, y_i) сівби, які надходять до модуля зчитування 4. З моменту подачі живлення вмикається в роботу датчик виміру швидкості руху сівалки, за сигналами якого на виході мікропроцесорного модуля 9 через кожний фіксований інтервал шляху $S = 10м$, пропорційний заданій $N_3 = k \cdot S$ кількості імпульсів датчика, визначається поточний термін часу $T_{III}(с)$ проходження сівалкою вказаної відстані S і формується сигнал-запит до бортового комп'ютера на передачу отриманих даних.

По сигналу-запиту від модуля швидкості 9 програма обробки переривання: зчитує значення $T_{III}(с)$; визначає поточну швидкість сівалки $V_{ci}(м/с)$; корегує значення швидкості в модулі-імітаторі руху сівалки 9; зчитує кількість $K_i(шт)$ зареєстрованих модулем 10 за період $T_{III}(с)$ «сходів» зернин $C_x(S)$; розраховує інтенсивність зернового потоку за формулою $Q_{ci}^\Phi = K_i / T_{III}(шт/с)$; визначає щільність розподілу зерна $G_{mi}^\Phi = Q_{ci}^\Phi / V_{ci}(шт/м)$ і формує ознаку наявності даної величини на виході модуля 11; за координатою місцевизначеної сівби (x_i, y_i) (модуль 1) зчитує з технологічної карти-завдання 3 величину змінної норми висіву $Q_{mi}^3(шт/м)$ і формує ознаку наявності даної величини на виході модуля 4.

Модуль порівняння 5 працює лише при ввімкненому датчику включення сівалки в роботу. Цей датчик вмикається одночасно з приводом обертання валу висівних апаратів сівалки під дією механізму опускання сошників, який вмикає тракторист перед початком сівби. Під час розвороту або після завершення сівби тракторист вмикає механізм піднімання сошників, який вимикає привід обертання валу висівних апаратів сівалки і датчик висіву, що приводить до блокування роботи модуля порівняння. При

появи на вході модуля порівняння ознак наявності фактичної Q_{mi}^{ϕ} та заданої Q_{mi}^3 норм висіву, визначається величина відхилення першої від другої ($\pm \Delta Q_i = Q_{mi}^3 - Q_{mi}^{\phi}$), значення якої передається до блоку формування сигналів регулювання 6.

Для того, щоб привести фактичну норму висіву до заданої, необхідно скорегувати робочу довжину котушок висівних апаратів в ту або іншу сторону на величину $\pm \Delta L_k$ (мм), пропорційну відхиленню $\pm \Delta Q_{mi}$ (5.19).

$$\Delta Q_{mi} = b_m \cdot \Delta L_{ki}; \quad \Delta L_{Pi} = V_{II} \cdot \Delta T_i; \quad \Delta T_i = a_1 \cdot \Delta L_{ki} / V_{II} = a_1 \cdot \Delta Q_{mi} / b_m \cdot V_{II} \quad (5.19)$$

Щоб здійснити це переміщення на вхід лінійного електроприводу 7 необхідно подавати, за принципом широтно-імпульсної модуляції, напругу заданої полярності $U(t) = \pm 12V$ протягом терміну перерегулювання ΔT_i , пропорційному величині переміщення $\pm \Delta L_k$ (мм) та відхилення $\pm \Delta Q_{mi}$ (5.19). Згідно з цим положенням, в блоці 6 спершу визначається термін перерегулювання ΔT_i та напрямок переміщення передачі гвинт-гайка (вперед – «+», назад – «-»), а потім виконується послідовність команд, направлених на вироблення визначеного набору керуючих дій, які забезпечують комутацію та терміни подачі напруги на обмотки двигуна електроприводу через мостові схеми з силовими ключами.

Комутована блоком 6 напруга $U(t) = \pm 12V$ подається на протязі терміну перерегулювання ΔT_i до виконавчого механізму – лінійного електроприводу з передачею гвинт-гайка та важелем переміщення валу висівних апаратів. В результаті цих дій робоча довжина котушок висівних апаратів змінюється на величину $\pm \Delta L_k$ (мм), що призводить до зміни щільності розподілу зернового потоку ($Q_{mi}^{\phi} = Q_{mi}^3$), який виступає в якості об'єкта управління. Через кожний фіксований інтервал шляху ($S = 10m$) ця процедура повторюється.

ВИСНОВКИ

В результаті дослідження методів регулювання щільності розподілу

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	110
		№ докум.				

зернового потоку, який формується висівними апаратами сівалки СЗ-3.6 – за відхиленням, з упередженням та оптимального було встановлено, що найбільш ефективним за результатами регулювання є оптимальний закон, який теоретично може забезпечити відхилення щільності розподілу зернового потоку в межах $0,25 \div 0,5$ % від заданої по усьому полю.

Запропонований проект адаптивної системи керування змінними нормами висіву за технологією точного землеробства, завдяки наявності дослідних зразків оптико-електронного скануючого датчика зернового потоку, який є базовим і найбільш проблемним в розроблюваній системі, та досягненням цифрової техніки може отримати практичну реалізацію.

Визначено, що адаптивна система регулювання щільності розподілу зернового потоку спроектована для висіву за традиційною технологією може бути використана в САК змінними нормами висіву за технологією точного землеробства.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі надана характеристика технології точного землеробства і обґрунтовано необхідність розробки автоматизованої системи керування змінними нормами висіву. Досліджено можливості об'ємних датчиків контролю зернового потоку та існуючих методів регулювання змінними нормами висіву.

Досліджено фактори впливу на зміну норми висіву зерна сівалкою СЗ-3,6 в польових умовах. Визначено параметр регулювання і досліджено характер його зміни під дією зовнішніх факторів. Визначено закон регулювання та шляхи побудови САК нормами висіву. Досліджено шляхи модернізації та розроблено принципи побудови пристрою реєстрації та комп'ютерної ідентифікації зернового потоку на базі оптико-електронного скануючого датчика ПДС-02/03.

Досліджено шляхи створення автоматизованої системи керування змінними нормами висіву за технологією точного землеробства на базі сівалки СЗ-3,6 з використанням бортового комп'ютера та пристрою реєстрації та комп'ютерної ідентифікації зернового потоку.

Результати даної магістерської роботи можна практично використовувати при створенні САК нормами висіву на сівалках СЗ-3,6, як при традиційній так і при точній технології землеробства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизовані системи керування технологічними процесами: колективна монографія / [Фурман І. О., Краснобаєв В. А., Рожков П. П. та ін.]; за ред. І. О. Фурмана. – Харків: Факт, 2006. – 317с.
2. Автоматика и автоматизация мобильных сельскохозяйственных машин / Г. Р. Носов, В. А. Кондратец, Л. Г. Сакало, Л. И. Середа. – К.: Вища школа, 1984. – 248с.
3. Бузенков Г. М. Автоматизация посевных агрегатов / Бузенков Г. М., Хорошенков В. К., Тамиров М. Л. — М.: Россельхозиздат, 1979. — 88с.
4. Мартыненко И. И. Автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства / Мартыненко И. И. – К.: Урожай, 1995. – 224с.
5. Гром-Мазничевский Л. И. Направления автоматизации мобильной сельскохозяйственной техники в Украине / Гром-Мазничевский Л. И. // Автоматизация производственных процессов в сельском хозяйстве: сб. науч. трудов. – М.: Агропромиздат, 1995. – С. 46 – 48.
6. Аніскевич Л. В. Моделювання адаптивних технологічних процесів місцевизначеного землеробства: звіт про НДР НАУ, №0103U005909 / Л. В. Аніскевич, Д. Г. Войтюк. – Київ, 2007. – 65с.
7. Машины посівні. Випробування сільськогосподарської техніки. Методи випробувань: СОУ 74.3-37-129: 2004. - [Чинний від 2006-08-01]. – К.: Мінагрополітики України, 2006. – 86 с. – (Стандарт Мінагрополітики України).
8. Агротехнические требования на сельскохозяйственные машины: сб. Госкомсельхозтехники СССР. – М.: ЦНИИТЭИ, 1983. - Т. 32. – 342с.
9. Погорелый Л. В. Инженерные методы испытаний

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	113
		№ докум.				

сельскохозяйственных машин: 2-е изд., перераб. и доп. / Погорелый Л. В. – К.: Техніка, 1992. – 176с.

10. Ясинецький В. Випробування сільськогосподарської техніки в DLG / Ясинецький В., Боженко В., Тронь М.// Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: зб. наук. праць УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. –2009. – Вип. 13 (27), кн. 1. – С. 100-109.

11. Сисолін П. В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Кн.1 / П. В. Сисолін, В. М. Сало, В. М. Кропівний; за ред. М. І. Черновола. – К.: Урожай, 2001. –384 с.

12. Машины для точного посева пропашных культур: конструирование и расчет / [В. С. Басин, В. В. Брей, Л. В. Погорелый и др]; под ред. Л. В. Погорелого. – К.: Техника, 1987. – 151с.

13. Логин В. В. Развитие отечественных и зарубежных конструкций датчиков контроля высева семян сельскохозяйственных культур / Логин В. В. - М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1980. - 60с. – (Серия “Сельскохозяйственные машины, агрегаты и узлы”, Вып. 1).

14. Пархоменко М. Д. Исследование, разработка, изготовление, испытание электронного преобразователя пропашных и других культур в поток электрических импульсов / М. Д. Пархоменко, А. А. Лукьяненко // Отчёт по НИР, №80032803. – Кировоград: КИСМ, 1985. – 210с.

15. Логин В. В. Современное состояние и тенденции развития отечественных и зарубежных устройств контроля нормы высева / В. В. Логин, М. Г. Кинкер.- М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1982. - 64с. – (Серия “Сельскохозяйственные машины и орудия”, Вып. 12).

16. А. с. 938787 СССР, МКИ³ А 01 С 7/00. Устройство для

испытаний высевяющих аппаратов сеялок / Ликкей А. В., Пархоменко М. Д., Сысолин П. В., Иваница К. Г. (СССР). - №2723240/30-15; заявл. 06.02.79; опубл. 30.06.82, Бюл. №24.

17. Прибор для контроля качества работы высевяющих аппаратов сеялок / [М. Д. Пархоменко, А. А. Лукьяненко, Э. И. Кривороженко и др.]. – Кировоград.: Кировоградский ЦНТИ, 1982. - ИЛ №82-29. – 4с.

18. Пархоменко М. Д. Разработка, создание и испытание стендовой аппаратуры для оперативной оценки качества работы высевяющих аппаратов сеялок / Пархоменко М. Д., Сысолин П. В., Лукьяненко А. А. // Отчёт по НИР, №01840081763. – Кировоград: КИСМ, 1986. – 296с.

19. Пат. 25077 Україна, МПК⁷ А 01 С 7/00. Пристрій для контролю роботи посівного агрегата / Лушніков В. М., Златопольський Ф. Й., Татаров А. В., Волков І. В., Катеринич С. В.,; заявник та патентовласник Кіровоград. нац. техн. універ. - №u200702867; заявл. 29.03.07; опубл. 25.07.07, Бюл. №11.

20. Патент 2016408 Российская федерация, МПК⁷ G 01 N 33/48, G 01 V 3/08, F 01 C 1/00, F 01 G 7/00. Устройство для контроля характеристик сельскохозяйственных материалов / Сакало Н. Г., Сакало Л. Г., Сердюк М. И., Руденко В. П., Рихва В. Я.; заявитель и патентообладатель Гринченко Л. Я., Сакало Н. Г., Сакало Л. Г., Сердюк М. И., Руденко В. П., Рихва В. Я. - №93002601/15; заявл. 04.02.93; опубл. 15.07.94, Бюл. №19.

21. А. с. 1356981 СССР, МКИ³ А 01 С 7/00, G 01 D 9/00. Устройство регистрации семян в потоке / Пархоменко М. Д., Лукьяненко А. А., Крамаренко В. Н., Кривороженко Э. И. (СССР). - №3888780/30-15; заявл. 25.04.85; опубл. 07.12.87, Бюл. №45.

22. Логин В. В. Первичные преобразователи контроля высева

фотоэлектрического типа / Логин В. В. //Машины почвообрабатывающие, посевные и для внесения удобрений: реферат. сб. - М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1980.- С. 27-30. – (Серия “Сельскохозяйственные машины, агрегаты и узлы”, Вып. 3).

23. Логин В. В. Динамика работы фотоэлектрических датчиков контроля высева / Логин В. В.- М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1979. -73с. (Серия “Сельскохозяйственные машины и орудия”, Вып.9).

24. Пат. 54483 Российская Федерация, МПК⁷ А 01 С 7/00. Устройство с оптическим окном и фотодиодной матрицей / Киреев И. М., Таригин Н. К., Коваль З. М.; заявитель и патентообладатель ФГНУ «РосНИИТиМ». – № 2005126001; заявл. 15.08.2005; опубл. 10.07.2006, Бюл. № 19.

25. Пат. 178055 ВНР, МКИ³ 06 М 7/00. Прибор для испытания высевающего аппарата пунктирных сеялок / Х. Бороди (ВНР), 1982.

26. Пархоменко М. Д. Устройство ИП195 для определения качества работы высевающих аппаратов сеялок / [Пархоменко М. Д., Лукьяненко А. А., Коржов С. И. и др.] – Кировоград.: Кировоградский ЦНТИ, 1988. - ИЛ №88-10. – 6с.

27. Пат. 49674 Российская Федерация, МПК⁷ А 01 G 7/00. Стенд для испытания высевающих аппаратов сеялок / Таригин Н. К., Киреев И. М., Коваль З. М.; заявитель и патентообладатель ФГНУ «РосНИИТиМ». – № 2005120140; заявл. 28.06.2005; опубл. 10.12.2005, Бюл. № 34.

28. Пустынский И. Н. Адаптивные фотоэлектрические преобразователи с микропроцессорами / Пустынский И. Н. - М.: Энергоиздат, 1990. - 80 с.

29. Система контроля высева «НИВА 23». Техническое описание и инструкция по эксплуатации. - Полтава, 2002. - 42с.

30. Руденко В.П. Полтавская технологія посєва. Посοбие для

агрономов, інженерів с/х производства, конструкторов. – Полтава: ООО «Копи-Центр», 2013, 54с.

31. Волошин М. Перспективна техніка для посіву дрібнонасінневих культур: сівалки СЗТ – 5,4 та СЗ-5,4-0,6 «Клен» / Волошин М. // Техніка АПК. — 2008. - № 3-4. - С. 36-38.

32. Система контролю висева RECORD. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Херсон, 2016., ТОВ «ТРАК», <http://seeding.com.ua>. – 27с.

33. Система контролю висева MONADA.. Документация, паспорта, инструкции, программное обеспечение. НПФ «МОНАДА. », г. Херсон, <http://www.monada.ks.ua>.

34. Аніскевич Л. В. Комплексна навігаційна система машино-тракторного агрегату для технологій точного землеробства / Аніскевич Л. В. //Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвідом. наук.- техн. збірник. – 2006. - Вип. 36. – С. 3-12.

35. Ликкей А. В. Исследование технологического процесса высев семян катушечными аппаратами: дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук: 05.20.01 /Ликкей Анатолий Васильевич. – Кировоград, 1973. – 160с.

36. Пархоменко Ю. М. Теоретичне дослідження статистики зернового потоку катушкового висівного апарата / Пархоменко Ю. М. // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. – 2007. – № 19. – С. 151-156.

37. Семенов А. Н. Зерновые сеялки / Семенов А. Н. - М. - К.: Машгиз, 1959. – 316с.

38. Заїка П. М. Машины для сівби та садіння / Заїка П. М. - Харків: Око, 2002. - 452с. - (Теорія сільськогосподарських машин: у

2ч., ч. II).

39. Пархоменко Ю.М. Теоретичне обґрунтування адаптивної системи автоматичного керування висівом зернових культур / Пархоменко Ю. М. // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. – 2011. – №24, частина I. – С. 223-232.

40. Джон Г. Мэтьюз. Численные методы. Использование МАТЛАБ: 3-е издание / Джон Г. Мэтьюз, Куртиз Д. Франк. –М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 720с.

41. Пархоменко Ю.М Аналіз можливостей датчиків об'ємної дії, що застосовуються в діючих системах контролю висіву / Пархоменко Ю.М., Пархоменко М.Д., Бокій А.Р. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин:загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб-к ЦНТУ, - 2018.- вип. №48, - С. 79 – 88

42. Пархоменко Ю. М. Дослідження підходів до реалізації пристрою реєстрації та ідентифікації зернового потоку / Ю.М. Пархоменко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвідомч. наук. – техн. збірник. – 2007. – Вип.37. – С. 126–131.

43. Пархоменко М. Д. Визначення математичної моделі розрахунку коефіцієнта опору повітря та критичної швидкості зерна при його транспортуванні висівним апаратом / Пархоменко М. Д., Кондратець В. О., Пархоменко Ю. М. // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. – 2008. – №21. – С. 105-109.

44. Кондратець В.О. Підвищення дозволяючої здатності пристрою ідентифікації потоку насіння в зернових сівалках / В.О. Кондратець, Ю.М. Пархоменко // Вісник Харківського національного

технічного університету сільського господарства. Технічні науки. – 2011. – Вип.117 “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – С. 47–49.

45. Аксененко М. Д. Приемники оптического излучения: справочник / М. Д. Аксененко, М. Л. Бараночников – М.: Радио и связь, 1987. – 296с.

46. Шрайбер Г. Инфракрасные лучи в электронике / Г. Шрайбер; пер. с франц. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 240с.

47. Киес Р. Дж. Фотоприемники видимого и ИК диапазонов/ Киес Р. Дж.; пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1985. - 328с.

48. Испытание сельскохозяйственной техники. Машины посевные. Программа и методы испытаний. ОСТ 70.5.1-82. – М.: ЦНИИТЭИ Госкомсельхозтехники СССР, 1983. – 148с.

49. Пархоменко М. Д. Дослідження динаміки розподілу зернового потоку в площині реєстрації датчика / Пархоменко М. Д., Пархоменко Ю. М., Горевий І. М. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвідом. наук. - техн. збірник. – 2004. – Вип. 34. – С. 152-158.

50. Пархоменко М. Д. Стохастичне моделювання розподілу зерен в рядку / Пархоменко М. Д., Кондратець В. О., Пархоменко Ю. М. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвідом. наук. - техн. збірник. – 2006. – Вип.. 36. - С. 221-229.

51. Кондратець В. О. Розвиток теорії ємнісних датчиків як засобів автоматичного контролю технологічних процесів / Кондратець В. О. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: междунар. сб. научн. трудов. – Донецк: ДГТУ, 2000. – Вып. 12. – С. 116-120.

52. Васильев В. И. Распознающие системы: справочник /

Васильев В. И. - К.: Наукова думка, 1983. - 420 с.

53. Фор А. Восприятие и распознавание образов / Фор А.; пер. с франц. – М.: Машиностроение, 1989. – 272 с.

54. Фурман Я. А. Цифровые методы обработки и распознавания изображений / Фурман Я. А., Юрьев А. Н., Яншин В. В. – Красноярск: Изд-во Красноярского университета, 1992. – 248с.

55. Бегунов Б. Н. Теория оптических систем: учебник для вузов / Бегунов Б. Н. - М.: Машиностроение, 1981. - 432с.

56. Красильников Н. Н. Теория передачи и восприятия изображений / Красильников Н. Н. - М.: Радио и связь, 1986. - 248с.

57. Агуров П. В. Интерфейсы USB. Практика использования и программирования / Агуров П. В. – СПб.: БХВ, 2004. – 576с.

58. Белов А. В. Создаём устройства на микроконтроллерах / Белов А. В. – М.: Наука и техника, 2007. – 304с.

59. Пархоменко М. Д. Принципы формирования дискретных изображений в системах технического зрения / М. Д. Пархоменко, Ю. М. Пархоменко // Штучний інтелект. – 2005. - №3. – С. 671-681.

60. Голубцов М. С. Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному / Голубцов М. С. - М.: СОЛОН-Пресс, 2003. - 288с.

61. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы «Atmel» / Евстифеев А. В. - М.: Изд. дом «ДОДЕКА-XXI», 2004. - 560с.

62. Бойко В. І. Основи схемотехніки електронних схем: підручник / [Бойко В. І., Гурій А. М., Жуйков В. Я. та ін.]. – К.: Вища школа, 2004. – 527с.

63. Пархоменко М. Д. Принципи формування та передачі даних зображення зернового потоку до ПК / Пархоменко М. Д., Кондратець В. О., Пархоменко Ю. М. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвідомч.

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	120
		№ докум.				

наук. - техн. збірник. - 2008. - Вип. 38. – С. 288-293.

64. Пархоменко М. Д. Імітація руху сівалки при визначенні якості висіву в лабораторних умовах / Пархоменко М. Д., Пархоменко Ю. М., Єніна І. І. // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. - 2004. – № 15. – С. 362-369.

65. Патент 22421 Україна, МПК⁷ А01С 7/00, G01D 9/00. Пристрій реєстрації та оцінки параметрів висіву / М. Д. Пархоменко, В. О. Кондратець, О. О. Лук'яненко, Ю. М. Пархоменко; заявник та патентовласник Кіровоград. нац. тех. ун-т. - №u200611880; заявл. 13.11.06; опубл. 25.04.07, Бюл. №5.

66. Иващенко Н. Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем: учебник для вузов; 4-е изд., переаб. и доп. / Иващенко Н. Н. – М.: Машиностроение, 1978. – 736с.

67. Певзнер Л.Д. Теория систем управления / Певзнер Л. Д. - М.: Изд. МГУ, 2002.- 472с.

68. Кондратець В. О. Системи керування технологічними та виробничими процесами і проектуванням: підручник / Кондратець В. О. - К.: Вища школа, 1993. – 319с. - (Автоматика та автоматизація виробництва сільськогосподар-ських машин: у 2ч., ч. II).

69. Зайцев Г. Ф. Теорія автоматичного управління / Зайцев Г. Ф., Стеклов В. К., Бріцький О. І.: за ред. проф. Г. Ф. Зайцева.- К.: Техніка, 2002.- 688 с.

70. Пархоменко М. Д. Моделювання пристроїв та систем автоматики: навч. посібник / М. Д. Пархоменко, І. М. Горьовий. – Кіровоград: КДТУ, 2003. – 172с.

71. Тунік А. А. Основи сучасної теорії управління: навчальний посібник /А. А. Тунік, О. О. Абрамович. – Київ: НАУ-друк, 2010. – 260с.

72. Жиდეцький В.Ц. Основи охорони праці: Підручник / В.Ц Жиდეцький – К.: Знання, 2010. – 375с.

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	
		№ докум.				122

Додатки

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	
		№ докум.				123

ДОДАТОК А

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

А.1. Техніко-економічне обґрунтування розробки САК змінними нормами висіву в умовах точного землеробства

Україна є однією з найбільших виробників зерна в Європі і входить в ТОП-10 країн виробників зерна в світі (7-8 місце). За офіційними даними Міністерства аграрної політики та продовольства України, прогнозований урожай зернових та зернобобових культур у 2021-2022 маркетинговому році становитиме близько 75,8 млн тонн. Експорт може становити близько 56 млн тонн зерна. Зерновий сектор України є стратегічною галуззю економіки держави, оскільки збільшення обсягів ВВП в аграрному секторі забезпечує вдвічі більший ефект порівняно з іншими сферами господарства. В той же час внаслідок слабкого матеріально-технічного забезпечення та пониженої ефективності праці, які не відповідають світовим стандартам і потребам галузі, урожайність зернових, всупереч усталеним твердженням про високу родючість українських ґрунтів, сьогодні значно поступається провідним країнам.

Відомо, що сівба є одним із основних технологічних процесів в рослинництві, яка сильно впливає на врожайність культур. Вона повинна виконуватися якісно і в стислі строки. Одним із основних резервів підвищення продуктивності та якості сівби є впровадження автоматизованих систем контролю та керування процесом висіву. В останні роки швидкими темпами розвивалися лише системи контролю процесу висіву просапних культур, а розробка і впровадження систем автоматичного керування процесом висіву практично не здійснювалися. До сьогодні більшість систем контролю концентруються на підвищенні інформативності тракториста. Він і лише він приймає рішення і задає керуюче діяння. Як показала практика, використання систем автоматизованого контролю дозволяє: підвищити урожайність за рахунок усунення просівів на 8-10% для просапних культур

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	124
		№ докум.				

та на 2-5% для зернових культур; зекономити до 40% посівного матеріалу; скоротити календарні строки висіву на 20-30%; підвищити точність висіву до 97-98% і виключити просіви

В останні десятиліття в агросекторі почали впроваджуватися технології точного землеробства, забезпечення яких потребує створення систем автоматизованого керування змінними нормами висіву. Самий низький рівень автоматизації контролю та регулювання якості сівби на сьогодні мають зернові сівалки через відсутність надійних і точних засобів ідентифікації формуємого ними зернового потоку. Це стримує розвиток автоматизованих систем керування процесом висіву і приводить до значних збитків у галузі. Тому розробка засобів автоматизації процесів керування висівом зернових культур і засобів ідентифікації потоку насіння є актуальною задачею. Особливо актуально ця проблема постала на шляху впровадження технології точного землеробства при проведенні місцевизначеного посіву зернових культур.

Виконана робота відповідає напрямку “Створення високоадаптивних комплексів машин для виробництва продукції рослинництва” Державної науково-технічної програми “Технічні засоби нового покоління для сільськогосподарського виробництва”, включеної до переліку Державних наукових та науково-технічних програм, визначених Законом України “Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки”.

Метою даної магістерської роботи є підвищення ефективності сівби забезпеченням щільності розподілу зернин вздовж рядка у відповідності з приписаним значенням в умовах дії збурюючих факторів шляхом створення автоматизованої системи керування змінними нормами висіву за технологією точного землеробства на базі сівалки СЗ-3.6 з використанням модернізованого пристрою реєстрації та комп’ютерної ідентифікації зернового потоку.

Спроектowana САК включає: бортовий комп’ютер, пристрій реєстрації та ідентифікації зернового потоку, регулюючий орган і датчик швидкості. Блок

реєстрації в новому пристрої залишається не змінним. Новим в конструкції є блок синхронізації, попередньої обробки та передачі даних, а також бортовий комп'ютер.

Оскільки ця апаратура розробляється вперше, то аналога для порівняння при розрахунку економічної ефективності на даний час не існує. Тому, при розрахунку економічної ефективності від впровадження дослідного зразка розроблюваної САК будемо виходити з прогнозованої прибудови урожаю та економії витрат посівного матеріалу.

А.2. Витрати на виконання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт

Витрати на проведення НДДКР являються складовою частиною капітальних вкладень, які передбачаються для виготовлення дослідного зразка розроблюваної САК. Вартість НДДКР визначаємо шляхом розрахунку за окремими статтями витрат у вигляді кошторису (табл. 2). Трудомісткість робіт, з урахуванням кваліфікаційних рівнів виконавців по кожній стадії, залежить від призначення, ступені новизни, особливостей конструкції виробу. Перелік основних робіт приведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Трудомісткість виконання НДДКР

Статті витрат та зміст робіт	Трудомісткість в людино – днях
Постановка задачі, збір інформації, формулювання технічного завдання	1,5
Пошук методів та шляхів реалізації САК	3
Розробка ескізного проекту, функціональних схем та алгоритмів програм	10,5
Розробка принципових електричних схем та прикладного програмного забезпечення	26
Виготовлення, монтаж та наладка САК	12,5
Розробка робочої документації та інструкції по експлуатації	2,5
Всього витрат часу, $T_{нд}$	56

На основі трудомісткості НДДКР розраховується плановий фонд

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	126
		№ докум.				

заробітної плати для ведення наукових досліджень за формулою:

$$З_{нд} = Т_{нд} \cdot О_{нд} \cdot (1 + 0,01Н_c),$$

де $О_{нд} = 272,73$ грн. – середньоденний оклад конструктора;

$Н_c = 22\%$ – норматив відрахування у соціальні фонди.

$$З_{нд} = 56 \cdot 272,73 \cdot (1 + 0,01 \cdot 22) = 18632,91 \text{ грн.}$$

Витрати на наукові відрядження становлять 10% від заробітної плати:

$$В_{нд} = 18632,91 \cdot 0,10 = 1863,29 \text{ грн.}$$

Загальногосподарські витрати становлять 20% від заробітної плати:

$$Н_{ак} = 18632,91 \cdot 0,2 = 3726,58 \text{ грн.}$$

Величина витрат по кожній статті кошторису НДДКР визначається методом прямого розрахунку і заноситься до табл. 2.

Таблиця 2. Кошторис витрат на виконання НДДКР

Найменування статей	Позначення	Величина,
Заробітна плата науково-виробничого	$З_{нд}$	18632,91
Витрати на наукові відрядження	$В_{нд}$	1863,29
Загальногосподарські витрати	$Н_{ак}$	3726,58
Всього	$К_{нд}$	24222,78

А.3. Матеріальні витрати на виготовлення виробу

Величина матеріальних витрат $В_{MB}$, необхідних для виготовлення виробу, визначається методом прямого розрахунку в залежності від їх застосування та норм розходу на один виріб з урахуванням вартості матеріалів і транспортно-заготівельних операцій.

Витрати на основні і допоміжні матеріали $М_o$, покупні комплектуючі та вироби розраховується за формулою 2:

$$М_o = Н_M \cdot Ц_M \cdot К_{ТЗ},$$

де $Н_M$ - норма витрат матеріалу на один виріб; $Ц_M$ - ціна матеріалу за одиницю вимірювання, грн; $К_{ТЗ}$ - коефіцієнт транспортно-заготівельних витрат ($К_{ТЗ} = 1.05$).

Результат зводимо в таблицю 3, де $V_{MB} = M_O + M_{II} + M_D$. Величини зворотних відходів складають 2% від матеріальних витрат:

$$V_{зв} = (M_O + M_{II} + M_D) \cdot 0,02 = 14911,33 \cdot 0,02 = 298,23 \text{ грн.}$$

Таблиця 3 - Матеріальні витрати

Найменування витрат	Позначення	Норма витрат	Вартість одиниці, грн	Затрати на один виріб, грн
1. Основні матеріали				
Кабельна продукція, м	M_{oi}	12	0,80	10,08
2. Покупні матеріали				
Бортовий ПК, к-т	M_{ni}	1	7600	7980
Блок реєстрації		1	1320	1836
Мікроконтролер		2	16	33,6
Мікросхема K555IP23		2	3	6,3
Мікросхема K555JE5		1	2	2,1
Перетворювач UM232		1	167	175,35
Кварц		2	8	16,8
Підсилювач		1	4	4,2
Мікросхема K555TM2		8	1,2	10,08
Резистор МЛТ0,25-1кОм		8	0,2	1,68
Конденсатор К73-17Н		8	0,3	2,52
Роз'єм ОВЛ-24ЕМ		5	3	15,75
Блок живлення, шт.		1	340	357
Мотор-редуктор типу BG 45 PI		1	2800	2940
ГСП-приймач		1	1440	1512
Усього Мп				14893,38
3. Допоміжні матеріали				
Стекло текстоліт (12x20см), м ²	M_{oi}	0,024	36	0,86
Припой (50г), кг		0,05	81	4,05
Розчинники (40г), кг		0,04	12	0,5

Найменування витрат	Позначення	Норма витрат	Вартість одиниці, грн	Затрати на один виріб, грн
Усього Мд				7,87
Усього матеріальні витрати	B_{MB}			14911,33

Витрати на електроенергію для технологічних цілей визначаються з урахуванням витрат електроенергії при регулюванні та випробуванні пристрою під навантаженням:

$$T_{\text{ел}} = M \cdot 10^{-3} \cdot (T_{\text{рег}} + T_{\text{вип}}) \cdot C_{\text{ел}} = 240 \cdot 10^{-3} \cdot (4,2 + 0,5) \cdot 3,8 = 4,29 \text{ грн},$$

де M – потужність пристрою, $M=240\text{Вт}$;

$T_{\text{рег}}, T_{\text{вип}}$ - норми часу на регулювання та випробування пристрою, год;

$C_{\text{ел}}$ - ціна одного кіловату електроенергії, $C_{\text{ел}} = 3,8 \text{ грн}$;

А.4. Визначення ціни дослідного зразка САК

Проектна ціна дослідного зразка (C_H) визначається на підставі її собівартості $C_{\text{дз}}$, що включає всі витрати, доповненої граничним рівнем рентабельності ($P_H = 30\%$).

$$C_{\text{дз}} = K_{\text{нд}} + B_{\text{мв}} + B_{\text{зв}} + T_{\text{ел}} = 24222,78 + 14911,33 + 298,23 + 4,29 = 39486,63 \text{ грн}$$

$$C_{\text{дз}} = C_{\text{дз}} \cdot (1 + 0,01 \cdot P_H) = 39486,63 \cdot 1,3 = 51267,61 \text{ грн}.$$

Балансова вартість дослідного зразка САК з урахуванням витрат на транспортування і підготовку до експлуатації $K_{\text{тп}} = 1,1$ дорівнює

$$C_{\text{дз}}^{\text{б}} = C_{\text{дз}} \cdot K_{\text{тп}} = 51267,61 \cdot 1,1 = 56394,37 \text{ грн}.$$

Амортизаційні витрати за сукупними капіталовкладеннями не проводяться.

А.5. Визначення економічної ефективності від впровадження та експлуатації дослідної САК змінними нормами впливу

До основних показників оцінки якості сівби відносять: забезпечення заданої норми висіву та якість розподілу посівного матеріалу в рядках. Згідно з агротехнічними вимогами для кожного виду зернової культури встановлена

своя норма висіву Q , яка є базовим показником, залежним від регіону, якості ґрунту, сорту насіння, тощо [8]. При цьому відхилення стабільності норми висіву при рядковому способі сівби зернових культур від заданої не повинні виходити за межі встановлених агротехнічних допусків - $\pm 3\%$.

Впровадження системи автоматичного керування змінними нормами висіву в комплексі з пристроєм реєстрації та ідентифікації зернового потоку дозволить упевнено знизити відхилення від заданої норми висіву до $\pm (1...2)\%$, що значно зменшує відсоток розрідженого або загущеного посіву і забезпечує стабільність норми висіву відносно заданої в межах агровимог ($2\div 3\%$), а також підвищення урожаю на $2...4\%$. При середній урожайності пшениці в Україні в 2021 році $39,3\text{ц/га}$, підвищення урожайності (2%) складе $0,786\text{ц/га}$ ($0,0786\text{т/га}$). Вартість пшениці в 2021 році коливається в межах $8500\text{--}8900\text{грн/т}$. Звідси прибуток на 1 га складе $8500 \cdot 0,0786 = 668\text{грн/га}$.

Дана система легко монтується на зерновій сівалці СЗ-3.6, практично не потребує налагодження. Її може обслуговувати відповідний персонал без перепідготовки. Вона забезпечує точність, яка відповідає вимогам технологічного процесу. Крім підвищення якості сівби, дана система виключає необхідність передпосівного налагодження сівалки на задану норму висіву, оскільки ця операція виконується автоматично на першій фазі технологічного процесу. Розроблена система може працювати як при традиційній технології так і за технологією точного землеробства, для чого їй необхідно забезпечити модулем визначення координат поля (на базі ГСП-приймача) та технологічною карткою – завданням змінних норм висіву. Балансова вартість дослідного зразка САК з урахуванням витрат на транспортування і підготовку до експлуатації складає $56394,37\text{грн}$, при вартості сівалки $140...155\text{тис.грн}$. Тобто, встановлення навіть дослідного зразка САК змінними нормами висіву на зернову сівалку окупається при засіванні зерновими площі $84,4\text{га}$, що близьке до річної норми її завантаження. Це приводить до висновку, що впровадження навіть дослідної

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	130
		№ докум.				

САК може окупитися для сільгоспвиробника усього за рік. При організації дрібносерійного виробництва, балансова вартість САК не буде перевищувати 50 тис.грн і її установка буде окупається при засіванні площі 74,85га. Згідно з даними АПК на 1 листопада 2013 року число фермерських господарств на Україні налічувало 40752 одиниці, кожне з яких мало в середньому 109,2 га ріллі. Отже, фермер може окупити встановлення виробничої САК на зернову сівалку за один рік.

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	
		№ докум.				131

ДОДАТОК Б

ОХОРОНА ПРАЦІ

Б.1. Законодавчі та нормативні акти України з питань охорони праці

Питання охорони праці регулюються Законом України „Про охорону праці”, Кодексом законів про працю України, Законом України „Про загальнообов’язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності”, а також рядом постанов Кабінету Міністрів України.

Правовою основою законодавства щодо охорони праці є Конституція України, Закони України: "Про охорону праці", "Про охорону здоров'я", "Про пожежну безпеку", "Про використання ядерної енергії та радіаційний захист", "Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення", а також Кодекс законів про працю України (КЗпП). [24]

В ст. 43 Конституції України записано: "Кожен має право на працю, що включає можливість заробляти собі на життя працею, яку він вільно обирає, або на яку вільно погоджується". "Кожен має право на належні, безпечні і здорові умови праці, на заробітну плату, не нижчу від визначеної законом". "Використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їх здоров'я роботах забороняється".

Кожен, хто працює, має право на відпочинок (ст. 45 Конституції України). Це право забезпечується наданням днів щотижневого відпочинку, а також оплачуваної щорічної відпустки, встановленням скороченого робочого дня щодо окремих професій і виробництв, скороченої тривалості роботи у нічний час.

У тексті ст. 46 Конституції України вказано на те, що громадяни мають право на соціальний захист, що включає право на забезпечення їх у разі повної, часткової або тимчасової втрати працездатності, втрати годувальника, безробіття з незалежних від них обставин, а також у старості та в інших випадках, передбачених законом.

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	
		№ докум.				132

Основоположним законодавчим документом в галузі охорони праці є Закон України "Про охорону праці", прийнятий Верховною Радою України 14 жовтня 1992 року. Цей Закон визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян про охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим ним органом і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

В системі законодавства щодо охорони здоров'я та гігієни праці ключове місце займає Закон України "Про охорону здоров'я", який визначає правові, організаційні, економічні та соціальні засади охорони здоров'я в Україні, регулює суспільні відносини у цій сфері з метою забезпечення гармонійного розвитку фізичних і духовних сил, високої працездатності і довголітнього активного життя громадян, усунення факторів, що шкідливо впливають на їх здоров'я, попередження і зниження захворюваності, інвалідності та смертності, поліпшення спадковості.

Закон України "Про пожежну безпеку" визначає загальні правові, економічні та соціальні основи забезпечення пожежної безпеки на території України, регулює відносини державних органів, юридичних і фізичних осіб у цій галузі незалежно від виду їх діяльності та форм власності.

Забезпечення пожежної безпеки підприємств, установ та організацій покладається на їх власників і уповноважених ними осіб, якщо інше не передбачено відповідними договорами.

Держава виступає гарантом створення безпечних та нешкідливих умов праці для працівників підприємств, установ, організацій усіх форм власності.

Закон "Про використання ядерної енергії та радіаційний захист" є основоположним у ядерному законодавстві України. Він встановлює

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	
		№ докум.				133

пріоритет безпеки людини та навколишнього природного середовища, права і обов'язки громадян у сфері використання ядерної енергії, регулює діяльність, пов'язану з використанням ядерних установок та джерел іонізуючого випромінювання, встановлює також правові основи міжнародних зобов'язань України щодо використання ядерної енергії.

Закон України "Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення" регулює відносини, які виникають у сфері забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя, визначає відповідні права та обов'язки державних органів, підприємств, установ, організацій і громадян, встановлює порядок організації державної санітарно-епідемічної служби і здійснення державного санітарно-епідемічного нагляду в Україні. [25]

КЗпП України регулює трудові відносини всіх працівників, сприяючи зростанню продуктивності праці, поліпшенню якості роботи, підвищенню ефективності суспільного виробництва і піднесенню на цій основі матеріального і культурного рівня життя трудящих, зміцненню трудової дисципліни і поступовому перетворенню праці на благо суспільства в першу життєву потребу кожної працездатної людини. [26]

Спеціальними законодавчими актами є державні нормативні акти з охорони праці (ДНАОП). Це — [правила](#), стандарти, норми, положення, інструкції та інші документи, яким надано чинність правових норм, обов'язкових для виконання. [27]

Вимогам нормативних актів з охорони праці мають відповідати:

- умови праці на кожному робочому місці;
- безпека технологічних процесів, машин, механізмів, обладнання й інших засобів виробництва;
- стан засобів колективного та індивідуального захисту;
- санітарно-побутові умови.

Державні нормативні акти з охорони праці залежно від сфери дії поділяються на міжгалузеві та галузеві.

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	
		№ докум.				134

Міжгалузевий нормативний акт про охорону праці - це ДНАОП загальнодержавного користування, дія якого поширюється на всі підприємства, установи, організації незалежно від відомчої (галузевої) належності та форм власності.

Галузевий нормативний акт про охорону праці - це ДНАОП, дія якого поширюється на підприємства, установи, організації певної галузі.

Власники підприємств, установ, організацій або уповноважені ними органи розробляють на основі ДНАОП і затверджують власні положення, інструкції або інші нормативні акти з охорони праці, що діють у межах підприємства, установи, організації. Відповідно до розроблених рекомендацій Держгірпромнагляду щодо опрацювання і затвердження роботодавцем нормативних актів з охорони праці, які діють на підприємстві, до основних нормативних актів підприємства належать: [28]

- Положення про систему управління охороною праці на підприємстві;

- Положення про службу охорони праці підприємства;

- Положення про комісію з питань охорони праці підприємства;

Положення про роботу уповноважених трудового колективу (уповноважених найманими працівниками осіб) з питань охорони праці;

- Положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці;

- Положення про організацію і проведення первинного та повторного інструктажів, а також пожежно-технічного мінімуму;

- Наказ про порядок атестації робочих місць щодо їх відповідності до нормативних актів з охорони праці;

- Положення про організацію попереднього і періодичного медичних оглядів працівників;

- Положення про санітарну лабораторію підприємства;

- Інструкції з охорони праці для працюючих за професіями і видами робіт;
- Інструкція про порядок зварювання і проведення інших вогневих робіт на підприємстві;
- Загальнооб'єктні та цехові інструкції про заходи пожежної безпеки;
- Перелік робіт з підвищеною небезпекою;
- Перелік посад працівників підприємства, які зобов'язані проходити попередню і періодичну перевірку знань з охорони праці;
- Наказ про організацію безкоштовної видачі працівникам певних категорій лікувально-профілактичного харчування;
- Наказ про організацію безкоштовної видачі молока або інших рівноцінних харчових продуктів працівникам підприємства, зайнятим на роботах з шкідливими умовами;
- Наказ про порядок забезпечення працівників підприємства спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту.

З огляду на специфіку виробництва та вимоги чинного законодавства, роботодавець затверджує нормативні акти із вищезазначеного списку та інші, що регламентують питання охорони праці.

Б.2. Шкідливі та небезпечні фактори, що виникають при експлуатації та обслуговуванні зерновихсівалок СЗ-3.6

Залежно від виробничих обставин в процесі праці організм людини сприймає комплекс чинників, що можуть позитивно або негативно впливати на стан її здоров'я та рівень працездатності.

Залежно від інтенсивності та часу дії ці чинники (або фактори) можуть бути небезпечними або шкідливими.

Небезпечними називаються чинники, здатні при відповідних умовах викликати гостре порушення здоров'я або загибель організму; *шкідливими* – чинники, що чинять негативний вплив на працездатність або викликають професійні захворювання і інші професійні наслідки. [29]

Відповідно до державного стандарту шкідливі і небезпечні фактори за дією та природою впливу поділяються на чотири класи: фізичні, хімічні, біологічні й психофізіологічні.

Під час використання сільськогосподарської техніки, а саме сівалок СУПН-8, мають місце такі фактори:

Психофізіологічні небезпечні та шкідливі виробничі чинники:

- фізичні перевантаження (статичні та динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження).

Хімічні небезпечні та шкідливі виробничі чинники:

- токсичні;
- подразливі;
- сенсibiliзуючі;
- канцерогенні;
- мутагенні;

такі, що впливають на репродуктивну функцію.

До цієї групи належать пестициди, агрохімікати, гази розкладання органічних речовин, відпрацьовані гази двигуна внутрішнього згорання, підвищена концентрація пилу із вмістом SiO_2 тощо.

Біологічні небезпечні та шкідливі виробничі чинники:

- патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, рикетсії, спірохети, гриби, найпростіші) та продукти їхньої життєдіяльності;
- макроорганізми (загалом тварини такі, як кліщі, комахи, гризуни).

Фізичні небезпечні та шкідливі виробничі чинники:

- рухомі агрегати й механізми;
- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена чи знижена температура поверхні обладнання й матеріалів;
- підвищена чи знижена температура повітря робочої зони;

- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- підвищений рівень інфразвуку та ультразвуку;
- підвищена чи знижена вологість повітря;
- підвищена чи знижена рухомість повітря;
- підвищений рівень іонізуючого випромінювання у робочій зоні;
- підвищений рівень статичної електрики;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання;
- відсутність або недостатній рівень природного освітлення;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищена яскравість світла;
- знижена контрастність світла;
- підвищений рівень ультрафіолетового випромінювання чи інфрачервоного випромінювання;
- радіаційне забруднення радіонуклідами робочої зони.

До цієї групи також належить небезпека, що виникає при попаданні блискавки в місце розташування даної сівалки.

Б.3. Заходи, що зменшують вплив шкідливих і небезпечних факторів при експлуатації та обслуговуванні зерновихсівалок СЗ-3.6

Щоб зменшити вплив психофізіологічних небезпечних і шкідливих факторів треба дотримуватись таких вимог:

1. До посіву допускаються особи не молодші 18 років, які не мають медичних протипоказань і пройшли інструктаж та стажування;
2. Перед початком роботи необхідно перевірити наявність та комплекцію аптечки першої медичної допомоги;
3. Забороняється допускати до роботи у стані алкогольного, наркотичного або медикаментозного сп'яніння, у хворобливому або стомленому стані;
4. При організації праці, пов'язаної з використанням сівалки СЗ-3.6,

для збереження здоров'я працюючих, запобігання професійним захворюванням і підтримки працездатності передбачаються внутрішньозмінні регламентовані перерви для відпочинку.

З метою запобігання або зменшення впливу на працюючих шкідливих і небезпечних виробничих чинників застосовують засоби колективного та індивідуального захисту. [30]

Засобами індивідуального захисту від хімічних, біологічних та фізичних факторів є:

1. Ізолюючі костюми (пневмокостюми, скафандри);
2. Засоби захисту органів дихання (респіратори, пневмошлеми, пневмомаски);
3. Спеціальний одяг (комбінезони, куртки, брюки, костюми, халати, плащі, кофухи, фартухи, жилети, наруківники);
4. Спеціальне взуття (чоботи, черевики, боти);
5. Засоби захисту рук (рукавиці, рукавички);
6. Засоби захисту очей (захисні окуляри);
7. Засоби захисту обличчя (захисні маски, захисні щитки);
8. Засоби захисту голови (каска, шоломи, шапки, берети);
9. Засоби захисту органів слуху (протишумові шоломи, навушники, вкладиші);
10. Захисні дерматологічні засоби (змиваючі розчини, креми, мазі).

Засобами колективного захисту від хімічних факторів є огороження, герметизація, вентиляція та очистка повітря, дистанційне керування, знаки безпеки;

У комплексі заходів протибіологічного захисту обов'язковою складовою частиною є дезинфекція, дезинсекція і дератизація.

Засобами захисту від фізичних факторів також є:

1. Засоби нормалізації повітряного середовища виробничих приміщень і робочих місць (вентиляція, кондиціонування, опалення, автоматичний контроль і сигналізація);

2. Засоби нормалізації освітлення виробничих приміщень і робочих місць (джерела світла, освітлювальні прилади, світлозахисне обладнання, світлофільтри);

3. Засоби захисту від іонізуючих, інфрачервоних, ультрафіолетових, електромагнітних, лазерних, магнітних та електричних полів (огороження, герметизація, знаки безпеки, автоматичний контроль і сигналізація, дистанційне управління тощо);

4. Засоби захисту від шуму, вібрації (огороження, звукоізоляція, віброізоляція);

5. Засоби захисту від ураження електричним струмом (огороження, захисне заземлення, автоматичне відключення, дистанційне управління);

6. Засоби захисту від дії механічних факторів (огороження, автоматичний контроль і сигналізація, знаки безпеки);

Важливим заходом є перевірка відповідності машин та обладнання вимогам правил з охорони праці, пожежної безпеки, безпеки дорожнього руху та електробезпеки.

Під час експлуатації сівалки СЗ-3.6 в полі для зменшення впливу небезпечних і шкідливих факторів, а саме несприятливих погодніх умов, необхідно також дотримуватися таких правил:

1. Припинити всі види польових робіт під час грози, зливи, урагану;

2. Не ховатися від дощу і грози під транспортними засобами, сільськогосподарськими машинами, в копицях, скиртах, під одинокими деревами й іншими предметами, які височіють над навколишньою місцевістю. Під час грози необхідно знаходитись від названих предметів на відстані не менше 20 м.;

3. Для уникнення пожежі необхідно мати вогнегасники і всі знаряддя

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	140
		№ докум.				

пожежної безпеки;

4. Місце розташування сівалок СЗ-3.6 повинно бути оснащено системою блискавкозахисту.

Б.4. Розрахунок системи тросового блискавкозахисту ангара для сівалок

Блискавкозахистом називається комплекс захисних пристроїв, які призначені для забезпечення безпеки людей, захисту будівель і споруд, приладів та матеріалів від вибухів, загорянь і руйнування. Для сприймання електричного розряду блискавок і відводу струмів блискавки в землю служать спеціальні пристрої – блискавковідводи. Блискавковідводи складаються із несучої частини (опори); блискавкоприймача, який безпосередньо сприймає удари блискавки; струмовідводу (спуску), що з'єднує блискавкоприймач з заземлювачем і заземлювача для відводу струму в землю.

Блискавковідводи поділяють на стрижневі, тросові і сітчасті. По кількості діючих блискавкоприймачів їх поділяють на одиночні, подвійні і многократні (три і більше).

Захисна дія блискавковідводів заснована на властивості блискавки вражати найбільш високі і добре заземлені металеві споруди. Завдяки цьому більш низькі за висотою будинки, які входять у зону захисту даного блискавковідводу, не будуть уражені блискавкою.

Задача полягає в тому, щоб захистити ангар, в якому зберігаються сівалки СУПН-8, тросовим блискавковідводом, опори якого передбачається зміцнити по торцях будинку на відстані $R_x = 3$ м. Будинок прямокутний у плані з розмірами $A \times B = 40 \times 10$ м. Висота стіни (краю даху) $H = 4$ м. Висота гребеня даху над землею однакова вздовж будинку і дорівнює $H_k = 5$ м.

Необхідно визначити висоту опори тросового блискавкоприймача. Зона захисту будинку – зона Б.

Розв'язок відбувається згідно методики, вказаної в навчальному посібнику по охороні праці при проектуванні систем автоматизації виробництва. [31]

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	141
		№ докум.				

Зона захисту одинарного тросового блискавковідводу висотою $H < 150$ м зображена на рис. 6.1, де H – висота троса в точці найбільшого провисання. З врахуванням стріли провисання висота опори $H_{оп} = H + 3$ м при $L = 120-150$ м, або $H_{оп} = H + 2$ м при $L = 120$ м.

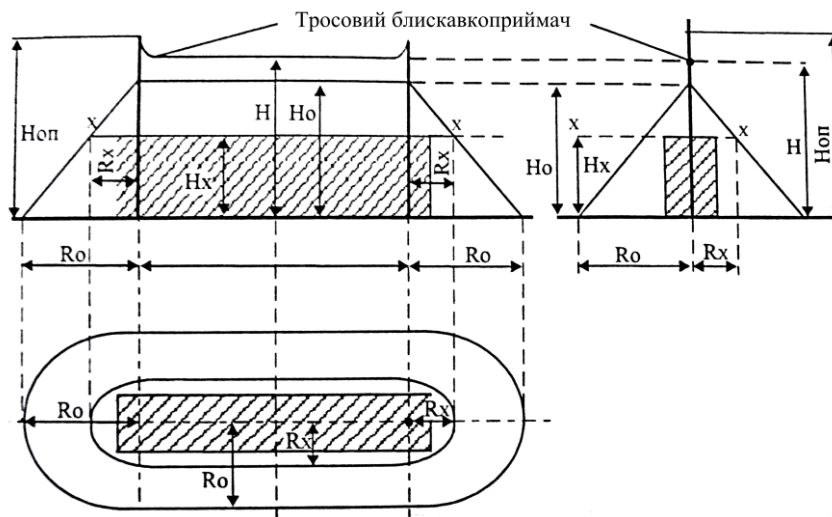


Рис. 6.1 – Схема захисту будівлі від блискавки одинарним тросовим блискавковідводом

Одинарний тросовий блискавковідвід доцільно застосовувати при співвідношенні сторін споруди більше, ніж 1:3.

Зона захисту одинарних тросових блискавковідводів має габарити:

Зона Б:

$$H_0 = 0,92H;$$

$$R_0 = 1,7H;$$

$$R_x = R_0 \left(f - \frac{f}{f_i} \frac{\delta}{i} \right). \quad (6.1)$$

Підставивши значення H_0 та R_0 до виразу (6.1), одержуємо:

$$R_x = 1,7 \left(f - \frac{f}{0,92} \frac{\delta}{i} \right).$$

При відомих величинах H_x та R_x висота H для зони Б може бути визначена за формулою:

$$H = \left(\frac{R_0 + 1,58 \cdot H_0}{R_i} \right). \quad (6.2)$$

В даному випадку проведемо такі дії:

1. Визначимо висоту тросового блискавковідводу за формулою (6.2):

$$H = \left(\frac{3 + 1.58 \cdot 4}{1.7} \right) = 6,13 \text{ м.}$$

2. Визначимо висоту опори блискавкоприймача. Оскільки $L < 120\text{м}$, то
 $H_{\text{оп}} = H + 2\text{м.}$

$$H_{\text{оп}} = 6,13 + 2 = 8,13 \text{ м.}$$

Опори піднімаються над гребенем даху на відстань:

$$H_{\text{оп}} - H_{\text{к}} = 8,13 - 5 = 3,13 \text{ м.}$$

					MP-151.21.0101.00.00.ПЗ	
		№ докум.				143