

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Автоматизації виробничих процесів»

«Допущено до захисту»

Зав. кафедри АВП

к.т.н., доцент

_____ Олександр ДІДИК

« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему

**«Дослідження та розробка автоматизованої системи
керування нормою висіву для пневматичної сівалки»**

Виконав здобувач II курсу групи АК-24М
ОПП «Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології»
спеціальності 174 «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

_____ Віталій ПУШКАРЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник проекту

доцент, канд.техн.наук

_____ Сергій ПЛЄШКОВ

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

_____ Олег КИСЛУН

« ____ » _____ 2025 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра автоматизації виробничих процесів

Рівень вищої освіти магістр

Галузь знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Дідик О.К.

“ ___ ” _____ 2025 року

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

Пушкаренко Віталія Олеговича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження та розробка автоматизованої системи керування нормою висіву для пневматичної сівалки

2. Керівник роботи Плешков Сергій Петрович, канд. техн. наук, доцент,

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту 01.12.2025 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи Розробити та дослідити пристрій керування нормою висіву 1. Аналіз існуючих методів та засобів реєстрації зернового потоку; 2. Розробка функціональної та структурної схем пристрою, дослідження шляхів побудови системи; 3. Розрахунок характеристик елементів автоматики; 4. Провести математичне моделювання процесу керування зміною норми висіву та метод глибокої дискретизації частоти обертання приводного електродвигуна для фіксованих кодів керування.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>Жесан Р.В.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Призначення та область застосування пристрою</i>	20.10.25	
2	<i>Аналіз існуючих методів реєстрації зернового потоку</i>	28.10.25	
3	<i>Аналіз та вибір датчику</i>	06.11.25	
4	<i>Розробка функціональної та структурної схем</i>	15.11.25	
5	<i>Математичне моделювання процесу керування зміною норми висіву</i>	20.11.25	
6	<i>Розгляд заходів з охорони праці</i>	26.11.25	

Дата видачі завдання 01.09.2025 р.

Керівник роботи _____ Ю.М. Пархоменко « ____ » _____ 2025 р.

Завдання прийнято до виконання

Здобувач _____ Е.Я. Бабій « ____ » _____ 2025 р.

Анотація

на випускню кваліфікаційну роботу студента групи АК-24М Пушкаренка Віталія Олеговича зі спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» на тему: «Дослідження та розробка автоматизованої системи керування нормою висіву для пневматичної сівалки».

У роботі представлено результати дослідження та розроблення програмно-адаптивної автоматизованої системи керування нормою висіву просапних культур на сівалці СУПН-8 у межах концепції точного землеробства. Актуальність роботи обумовлена необхідністю підвищення рівня автоматизації технологічних операцій під час сівби, що забезпечує економію посівного матеріалу, рівномірність розподілу насіння та формування оптимальних умов для зростання культур. Запропоновано структурну схему автоматизованої системи, у якій функції регулювання параметрів висівного апарата реалізуються на основі даних GPS-навігації та датчиків контролю потоку насіння. Наведено математичну модель керування зміною норми висіву та метод глибокої дискретизації частоти обертання вала приводу, що дозволяє забезпечити високу точність подачі насіння при використанні електродвигуна постійного струму з редуктором. Визначено оптимальні параметри передавального механізму та обґрунтовано можливість впровадження замкненого контуру керування. Запропонована система дозволяє здійснювати оперативне локальне регулювання норми висіву в режимі реального часу залежно від агротехнологічних вимог та просторового розташування агрегату на полі.

Ключові слова: автоматизована система керування, норма висіву, точне землеробство, потік насіння, регулювання, сівалка.

Summary

for the final qualification work of the student of the AK-24M group Pushkarenko Vitaliy Olegovich in the specialty 174 "Automation, computer-integrated technologies and robotics" on the topic: "Research and development of an automated seeding rate control system for a pneumatic seeder".

The work presents the results of research and development of a software-adaptive automated seeding rate control system for row crops on the SUPN-8 seeder within the concept of precision agriculture. The relevance of the work is due to the need to increase the level of automation of technological operations during sowing, which ensures seed saving, uniform seed distribution and the formation of optimal conditions for crop growth. A structural diagram of an automated system is proposed, in which the functions of regulating the parameters of the sowing device are implemented based on GPS navigation data and seed flow control sensors. A mathematical model of control of seed rate change and a method of deep discretization of the drive shaft rotation frequency are presented, which allows to ensure high accuracy of seed supply when using a DC electric motor with a gearbox. The optimal parameters of the transmission mechanism are determined and the possibility of implementing a closed control loop is substantiated. The proposed system allows for operational local regulation of seed rate in real time depending on agrotechnological requirements and the spatial location of the unit on the field.

Keywords: automated control system, seed rate, precision farming, seed flow, regulation, seeder.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	2
1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ЗМІННИМИ НОРМАМИ ВИСІВУ	5
1.1 Роль і місце процесу висіву в технології точного землеробства	5
1.2 Критерії оцінки якості сівби	7
1.3 Обґрунтування необхідності розробки автоматизованої системи регулювання змінними нормами висіву	9
2. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ РОЗРОБКИ АСК.....	13
2.1 Опис сівалки СУПН-8 та можливість створення автоматизованої системи керування нормами висіву.....	13
2.2 Аналіз та вибір датчиків систем автоматичного регулювання (САР)	16
2.3 Огля існуючих систем контролю висіву.....	19
2.4 Дослідження методів та засобів регулювання процесу висіву.....	25
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РОЗПОДІЛУ ЗЕРНОВОГО ПОТОКУ ВЗДОВЖ РЯДКА ВИСІВУ	31
3.1 Параметри оцінки якості висіву	31
3.2 Дослідження моделі розподілу зернового потоку вздовж рядка висіву	32
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НОРМОЮ ВИСІВУ ДЛЯ ПНЕВМАТИЧНОЇ СІВАЛКИ	40

4.1 Аналіз факторів впливу на інтенсивність і якість розподілу зернового потоку	40
4.2 Аналіз та обґрунтування апаратної частини АСК нормою висіву	41
4.3 Розробка функціональної схеми АСК нормою висіву	47
5 РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ТА ШВИДКОДІЇ СИСТЕМИ	52
5.1 Розрахунок швидкодії системи	52
5.2 Розрахунок надійності	56
ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	60
ДОДАТОК А.....	65

ВСТУП

Актуальність теми. Зерновий сектор України є стратегічною галуззю економіки держави, джерелом сталого розвитку агропромислового комплексу та основою аграрного експорту. Наявні світові тенденції — дефіцит та подорожчання енергії, скорочення посівних площ, зміни клімату та зростання населення — зумовлюють необхідність підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва шляхом впровадження енергозберігаючих технологій та систем точного землеробства. Одним з основних факторів підвищення врожайності є якість сівби, яка значною мірою залежить від автоматизації процесу висіву. На сьогодні рівень автоматизації зернових сівалок залишається низьким через відсутність надійних засобів ідентифікації зернового потоку, що стримує розвиток систем автоматичного контролю та регулювання норми висіву. Тому розробка засобів ідентифікації та автоматизації процесу висіву є актуальною та важливою науково-практичною задачею.

Метою даної магістерської роботи є дослідження та обґрунтування шляхів створення автоматизованої системи керування змінними нормами висіву за технологією точного землеробства на базі сівалки СУПН-8 із використанням модернізованого пристрою реєстрації та комп'ютерної ідентифікації зернового потоку.

Об'єкт дослідження - процес висіву зернових культур у посівних машинах, зокрема у сівалці СУПН-8.

Предмет дослідження - методи, засоби та алгоритми автоматизованого контролю та регулювання норми висіву зернових культур, а також процес ідентифікації параметрів зернового потоку.

Методи досліджень:

- аналітичний огляд літературних та статистичних джерел;
- математичне моделювання процесів формування та транспортування зернового потоку;

- експериментальні дослідження модернізованого пристрою реєстрації зерна;
- методи комп'ютерної обробки сигналів та ідентифікації;
- порівняльний аналіз ефективності роботи висівних апаратів із системою автоматичного регулювання та без неї.

Практичне значення отриманих результатів. Результати роботи можуть бути використані при створенні та модернізації систем автоматичного керування нормою висіву зернових культур для зернових сівалок. Запровадження автоматизованої системи, розробленої на основі комп'ютерної ідентифікації зернового потоку, дозволить підвищити якість сівби, скоротити витрати посівного матеріалу, забезпечити рівномірність розподілу насіння в борозні та сприятиме впровадженню технології точного землеробства на практиці.

1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ЗМІННИМИ НОРМАМИ ВИСІВУ

1.1 Роль і місце процесу висіву в технології точного землеробства

Виробництво продукції рослинництва може виконуватися як на макрорівні (традиційне землеробство) так і на мікрорівні (точне землеробство) [1, 2]. Традиційне землеробство передбачає однакове проведення агротехнічних прийомів (сівба, внесення пестицидів, добрив та ін..) в межах одного поля, яке розглядається як однорідне за агробіологічними властивостями. Наприклад, при сівбі встановлюється фіксована норма висіву для усього поля, інтенсивність якої змінюється із зміною швидкості руху сівалки. Для цього, перед початком сівби, необхідно попередньо встановити задану норму висіву, а в процесі сівби забезпечити стабільність дозування посівного матеріалу при незмінній щільності на одиницю довжини рядка (при рядковій сівбі зернових) або стабільність заданих інтервалів між насінинами в рядку (при пунктирній сівбі просапних культур) в межах встановленої норми висіву.

Поряд з традиційними методами землеробства з кінця 90-х років ХХ століття почали розвиватися нові комплексні технології виробництва сільгосппродукції, віднесені світовою наукою до найбільш ефективних передових технологій, що впроваджуються в багатьох країнах світу, в тому числі і в Україні, які отримали назву «точне землеробство». В основі наукової концепції точного землеробства лежать уявлення про існування неоднорідностей в межах одного поля, тобто різні ділянки поля можуть мати неоднакову кількість поживних речовин, вологість, структуру ґрунту, наявність бур'янів, рельєф та інше, що призводить до різної родючості і продуктивної здатності цих ділянок.

Точне землеробство (ТЗ), 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 [17, 150]. Це складний технологічний процес, що складається з цілого ряду обов'язкових дій, послідовність виконання яких можна розділити на три основних етапи: 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 цьому полю. Складання просторово-орієнтованих електронних карт полів, в яких відображаються їх агрофізичні місцевизначені параметри, здійснюються на підставі даних геоінформаційної системи (ГІС). Електронні карти врожайності по кожній з елементарних ділянок поля формуються під час збирання врожаю.

На підставі комп'ютерного аналізу зчитаних з електронних карт створюються технологічні карти-завдання, які вміщують просторово-орієнтовані змінні норми висіву, дози внесення добрив та засобів захисту рослин, рознесені по кожному з елементарних ділянок площі поля. З метою подальшого їх використання вміст кожної сформованої карти-завдання переноситься на компакт-диск або у флеш-пам'ять.

Наступним етапом в системі точного землеробства є виконання таких агротехнічних операцій, як: підготовка ґрунту; сівба; внесення добрив та засобів захисту рослин; збирання врожаю. Сівба відноситься до основних агротехнічних операцій в рослинництві. Від її термінів і якості залежить доля майбутнього врожаю. Сівба, як і всі інші агротехнічні операції в системі точного землеробства повинна проводитися місцевизначено, із змінними нормами висіву насіння, коли

на кожний квадратний метр висівається стільки зернин, скільки необхідно саме тут на даній ділянці поля для забезпечення такої кількості рослин на одиницю площі, яка може дати найбільший урожай при визначених параметрах поля [1, 5, 6].

1.2. Критерії оцінки якості сівби

Згідно з агротехнічними вимогами [6, 7, 8,] для кожного виду зернової культури встановлена своя норма висіву Q , яка є базовим показником (1.1), залежним від регіону, якості ґрунту, сорту насіння, тощо:

$$Q = 10^4 \cdot \sum q_i / (n_a \cdot b \cdot L) = Q_m \cdot A / (10^2 \cdot b) \text{ (кг/га)}, \quad (1.1)$$

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

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 1000шт. насіння, грам; L - довжина засіяної ділянки, м; n_a - кількість сошників, шт.; V_c - швидкість руху сівалки, км/год.

Найбільш детальним і точним показником оцінки якості сівби (для сівалок рядкового, вузькорядного та стрічкового способів сівби) є рівномірність розміщення зерен в рядку за щільністю k ($k=0,1,2..m$) в заданому заліковому інтервалі l_ζ , значення якого приймається на рівні фіксованого п'яти сантиметрового діапазону або кратним розрахунковій величині інтервалу l_p між сусідніми насінинами в рядку $l_\zeta = i \cdot l_p$, де $i=1,2,3,..m$. Цей показник характеризується такими параметрами, як:

- середньо арифметична щільність насіння \bar{k} в заданому заліковому інтервалі l_ζ , шт/ l_ζ :

- середньо квадратичне відхилення σ_k кількості насіння k_i в кожному із

залікових інтервалів від їх середньо арифметичного значення \bar{k} , шт/л_с

- коефіцієнт варіації v_k по середньо квадратичному відхиленню щільності зерна в заліковому інтервалі $v_k = (\sigma_k / \bar{k}) \cdot 100\%$.

Крім вище вказаних показників якості сівби, 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);
- процент загущеного та розрідженого посівів;
- щільність розміщення зерен уперек рядка;
- швидкість руху зернового потоку та його складових V_n, V_i , м/с;
- інтегральні та диференційні закони розподілу ймовірностей розміщення зерен в рядку.

Усі перелічені вище показники повинні відповідати встановленим агротехнічним вимогам та допускам на їх відхилення. Величину контрольного допуску $m_{\text{факт.}}$ для кожного показника обчислюють за формулою:

$$(1 - a/100) \cdot m_{\text{розн.}} \leq m_{\text{факт.}} \leq (1 + a/100) \cdot m_{\text{розн.}}, \quad (1.2)$$

де a – агротехнічний допуск на відхилення значення показника від розрахункового $m_{\text{розн.}}$ при кожному вимірюванні, який визначається з співвідношення $|m_{\text{факт.}} - m_{\text{розн.}}| \leq 2\sigma = \Delta$, $a = \Delta/100$ при ймовірності попадання в заданий інтервал $p = 0.95$ [7].

При рядковому способі сівби означені вище показники якості посіву не повинні виходити за межі встановлених агротехнічних допусків [5]:

- відхилення від заданої норми висіву δ_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 бобових - $\pm 1\%$.

Обмеження на поздовжню рівномірність розміщення зерен при рядковій сівбі агротехнічними вимогами не встановлені.

Для сівалок точного висіву встановлені наступні значення агротехнічних допусків [5]:

- відхилення від заданої норми висіву δ_Q - $\pm 3\%$;
- нерівномірність висіву між окремими апаратами (насіннепроводами) сівалки δ_i - $\pm 3\%$;
- нестійкість загального висіву δ_c - $\pm 2\%$;
- пошкодження насіння - $\pm 0,5\%$;
- відхилення від розрахункового інтервалу δ_x - $\pm 30\%$;
- середнє квадратичне відхилення σ_x для бурякових сівалок: при довжині інтервалу 5-6см - $\pm 2,5$ см для гранульованого насіння та ± 3 см для звичайного насіння; при довжині інтервалу 7-12см – відповідно $\pm 3,5$ см та $\pm 4,5$ см;
- кількість насіння з допустимим відхиленням від заданого інтервалу - $\geq 85\%$.

1.3 Обґрунтування необхідності розробки автоматизованої системи регулювання змінними нормами висіву

Як в традиційному так і в точному землеробстві до основних критеріїв оцінки якості сівби відносяться: забезпечення необхідного способу сівби; заданої норми висіву; якості розподілу посівного матеріалу в рядках; рівномірність висівання між апаратами сівалки; загальна стабільність висіву; відсутність пошкодження насіння при сівбі; рівномірність глибини загортання посівного матеріалу та продуктивність посівного агрегату.

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. Тому конструкції сівалок повинні мати легку та зручну процедуру налагодження їх на будь-яку норму висіву насіння і забезпечувати її стабільність.

Якість розподілу посівного матеріалу вздовж рядка оцінюється заданою масовою стабільністю дозування посівного матеріалу в рядок або незмінністю заданої кількості посівного матеріалу на одиницю довжини рядка, чи стабільністю заданих інтервалів між насінинами у рядку.

Сівба повинна виконуватися якісно і в стислі строки, що суттєво впливає на долю майбутнього урожаю. Достатньо спізнитися з нею на декілька весняних днів і будуть втрачені центнери врожаю на кожному гектарі. Особливо це стало актуальним в останні роки, оскільки природно-кліматичні умови на землі різко змінилися. Для скорочення термінів сівби необхідно підвищити її продуктивність. Сьогоднішній рівень енергонасиченості тракторів дає можливість довести швидкість сівалок до 15км/год і збільшити ширину їх захвату до 18м і більше. Але досягнення цих показників, при збереженні якості сівби, обмежується фізіологічними можливостями тракториста та конструктивними параметрами сівалок. Підвищення швидкості посівного агрегату та зміна його габаритів суттєво погіршує умови роботи тракториста, які стають більш напруженими і виснажливими: швидше змінюються ситуації; розширюються об'єкти контролю, зростають вібрація та тряска. Це вимагає підвищеної уваги та реакції тракториста на прискорену зміну обставин в технології процесу висіву та водінні посівного агрегату.

Якість сівби залежить від підготовки ґрунту, якості посівного матеріалу, конструктивних параметрів сівалки, дотримання заданої технології, норми та сталості процесу висіву та ряду інших детермінованих та випадкових факторів.

Проблеми підвищення продуктивності посіву, зменшення навантаження на тракториста та забезпечення заданої якості сівби вирішуються шляхом розробки та встановлення на посівні агрегати нових, більш досконалих систем автоматизованого контролю та керування процесом висіву. Автоматизація

контролю процесу висіву може здійснюватися як опосередковано так і прямо. Опосередкований контроль передбачає, в основному, контроль обертання валу висівних апаратів або дисків. Прямий контроль включає: контроль наявності зерна в бункері; забивання насіннєпроводів та сошників; норми висіву; нерівномірності висіву між апаратами; швидкості посівного агрегату тощо. Використання систем автоматизованого контролю дозволяє: підвищити урожайність за рахунок усунення просівів на 8-10% для просапних культур 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 повністю виключити просіви; не використовувати сіяльників тощо [9, 10].

В останні десятиліття як в нашій країні, так і за кордоном цілі колективи працювали над створенням автоматизованих систем контролю процесу висіву в польових умовах, так як розв'язання проблеми підвищення якості сівби бачили в забезпеченні оперативного контролю процесу висіву – своєчасному виявленні моментів забивання сошників, наявності обертання валу висівних апаратів, визначенні рівня зерна в бункері тощо. В останні роки все більше уваги стали приділяти автоматизації контролю норми висіву пропашних культур. Тобто, все було направлено на підвищення якості сівби за рахунок оперативної подачі інформації трактористу про хід процесу висіву, а уже він безпосередньо приймав рішення по усуненню виявлених відхилень в технологічному процесі. В такій автоматизованій системі функції керуючого органу виконує тракторист. Але навіть в такій системі автоматизація контролю норми висіву для зернових сівалок до цього часу знаходиться на початковому рівні. Десятиліттями ведуться роботи по створенню автоматизованих систем керування процесом висіву зернових культур, але практичної реалізації жодної з таких систем до цього часу немає. Головна причина такого явища полягає у відсутності якісних засобів ідентифікації зернового потоку, де під терміном ідентифікація мається на увазі визначення найбільш суттєвих показників досліджуваного потоку насіння в процесі його формування, транспортування та скидання до дна борозни висівними системами зернових сівалок.

Крім підтримання заданої норми висіву на окремих ділянках поля, по аналогії з традиційною технологією 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 ведеться 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.

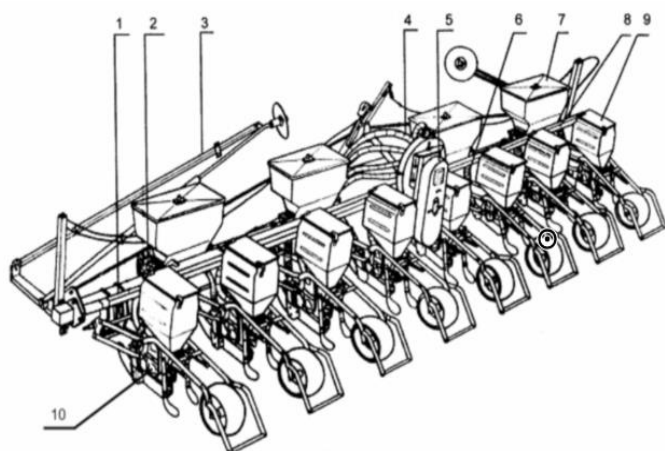
Для впровадження технології точного землеробства при сівбі зернових культур необхідно створити таку автоматизовану систему керування процесом висіву, яка б базувалася на використанні ГСП-приймачів, даних геоінформаційної системи, наявності бортових комп'ютерів, робототехнічних пристроїв сільськогосподарського 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, без суттєвого їх переобладнання та зміни конструкції, так і до технології точного землеробства (місцевизначеної сівби із змінними нормами висіву).

2.ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ РОЗРОБКИ АСК

2.1 Опис сівалки СУПН-8 та можливість створення автоматизованої системи керування нормами висіву



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд сівалки СУПН-8



- 1 - рама;
- 2 - приводне колесо;
- 3 - маркер;
- 4 - повітропровід;
- 5 - тукопровід;
- 6 - туковисівний апарат;
- 7 - чистик;
- 8 - секція;
- 9 - висівний апарат.

Рисунок 2.2 – Схема сівалки СУПН-8

Сівалка універсальна пневматична навісна СУПН-8 призначена для пунктирного висіву насіння просапних культур (кукурудзи, соняшника, сої, буряку та ін.) з одночасним внесенням мінеральних добрив і прикочуванням ґрунту. Вона є однією з найбільш поширених машин такого типу, що використовуються в Україні та за її межами. Конструктивна простота, надійність та доступність обслуговування забезпечили широке впровадження сівалки у фермерських та промислових господарствах.

Основні складальні вузли СУПН-8

До складу сівалки входять:

1. рама;
2. прикочувальні колеса;
3. маркери;
4. транспортна система;
5. висівні апарати;
6. редуктор приводу;
7. сошники;
8. секції висіву;
9. насінневі та добривні бункери.

Висівний апарат сівалки має пневматичний принцип відбору насіння, що забезпечує формування зернового потоку за рахунок вакууму, який створюється вентилятором. Сошниковий механізм забезпечує стабільне укладання насіння на задану глибину та прикочування для якісного контакту з ґрунтом.

Переваги конструкції СУПН-8

- стабільність норми висіву в стандартних умовах;
- можливість налаштування міжряддя та норми внесення добрив;
- невибагливість в експлуатації;
- висока ремонтопридатність.

Проблемні моменти в роботі машин без автоматизації

Попри простоту та надійність, традиційна система керування сівалки є розімкнутою, тобто не передбачає зворотного зв'язку та автоматичної компенсації збурюючих впливів. Контроль норми висіву забезпечується лише механічними та ручними засобами, які є недостатньо точними. Сівалка не реагує на:

- зміни властивостей посівного матеріалу (форма, тертя, чистота);
- агрофізичні параметри ґрунту;
- швидкість агрегату;
- неоднорідність поля за зонами врожайності.

У результаті фактична схема висіву часто має відхилення від оптимальної, що знижує потенціал урожайності.

Перспективи створення автоматизованої системи керування нормами висіву

Враховуючи аналіз існуючих систем контролю висіву, найбільш доцільним є розробка системи автоматичного регулювання, яка включає:

- датчики контролю зернового потоку (оптичні – як найбільш ефективні та безконтактні);
- систему електроприводу зміни частоти обертання висівних апаратів;
- ГІС-модуль з картою диференційованого висіву;
- мікроконтролерний блок керування з алгоритмом стабілізації норми висіву;
- реєстратор параметрів процесу сівби та зв'язок з GPS.

Інтеграція системи з технологією точного землеробства дозволяє:

- автоматично змінювати норму висіву на окремих ділянках поля залежно від зон продуктивності;
- компенсувати збурення за рахунок керування електроприводом;
- мінімізувати пропуски та дублювання зернин;
- підвищити рівномірність розподілу насіння по довжині рядка;
- вести моніторинг у режимі реального часу.

Таблиця 2.1 - Очікуваний ефект від впровадження

Показник	Покра	
	щення	
рівномірність висіву	↑	на 10–20%
урожайність у зональному висіві	↑	на 5–15%
витрати насіння	↓	на 8–12%
собівартість продукції	↓	на 4–6%

2.2 Аналіз та вибір датчиків систем автоматичного регулювання (САР)

Датчики, або вимірювальні перетворювачі (сенсори), є невід’ємними елементами автоматизованих систем. Вони забезпечують отримання інформації про параметри об’єктів контролю та процесів, що відбуваються у них.

Датчик — це елемент вимірювального, сигнального чи керуючого пристрою, який перетворює контрольовану фізичну величину (температуру, тиск, освітленість, електричну напругу, струм тощо) у зручний для подальшого використання сигнал: вимірювання, передавання, обробки, реєстрації або управління технологічними процесами.

Основні вимоги до датчиків:

- однозначна залежність вихідного сигналу від вхідної величини;
- стабільність технічних характеристик у часі;
- висока чутливість;

- компактність і мала маса;
- мінімальний вплив на вимірюваний об'єкт;
- здатність працювати в різних експлуатаційних умовах;
- зручність монтажу та інтеграції в систему.

Параметричні датчики (або датчики-модулятори) перетворюють вхідну величину X у зміну одного з електричних параметрів: опору R , індуктивності L або ємності C . Для роботи таких датчиків необхідні вимірювальні кола із зовнішнім живленням, адже зміна цих параметрів може бути зафіксована лише через реакцію на електричний струм або напругу.

Резистивні (омічні) датчики.

Їх робота заснована на зміні активного електричного опору залежно від геометричних параметрів елемента або фізичного впливу. До них відносять:

- контактні датчики;
- потенціометричні (реостатні);
- тензорезисторні;
- терморезистори;
- фоторезистори.

Контактні датчики

Перетворюють механічне переміщення в стрибкоподібну зміну електричного опору. Використовуються для контролю зусиль, переміщень, розмірів, кінцевих положень, рівнів електропровідних рідин тощо.

Переваги: простота, надійність, універсальність.

Недоліки: неможливість безперервного контролю, обмежений строк служби контактів.

Реостатні (потенціометричні) датчики

Представляють собою змінний резистор, у якому переміщення рухомого контакту перетворюється на зміну електричного опору або вихідної напруги. Широко застосовуються в поплавкових рівнемірах, манометрах та інших вимірювальних приладах. Включаються, як правило, за схемою подільника напруги.

Індуктивні датчики

Принцип роботи базується на зміні індуктивності котушки залежно від положення елементів магнітопроводу під дією вимірюваної величини. Використовуються для вимірювання лінійних і кутових переміщень, деформацій, контролю розмірів.

Переваги:

- відсутність механічного зносу і брязкоту контактів;
- висока швидкодія (до 3000 Гц);
- надійність та стійкість до вібрацій.

Недоліки:

- нижча чутливість порівняно з оптичними та ємнісними;
- залежність від частоти живильної напруги;
- можливий вплив датчика на вимірювальний об'єкт.

Ємнісні датчики

Їх робота ґрунтується на зміні електричної ємності конденсатора залежно від відстані між обкладками, площі обкладок або діелектричної проникності середовища.

Застосовуються для вимірювання малих переміщень, вібрацій, швидкості, рівнів непровідних рідин, сипких матеріалів, вологості тощо.

Переваги: висока чутливість, простота та швидкодія.

Недоліки: вплив зовнішніх електричних полів, складніші схеми вимірювання.

Оптичні (фотоелектричні) датчики

Працюють на принципі фіксації зміни світлового потоку. Можуть бути аналоговими (плавна зміна сигналу) та дискретними (спрацьовування за порогом).

Застосовуються в автоматичних лініях для підрахунку, позиціонування, контролю наявності об'єктів тощо. Складаються з випромінювача та приймача, розташованих разом або окремо.

За принципом дії розрізняють:

1. Перетин променя
2. Відбивання від рефлектора
3. Відбивання від об'єкта
4. Фіксоване відбивання від об'єкта

Діапазон робочих відстаней — від 0,3 мм до 50 м залежно від конструкції.

2.3 Огля існуючих систем контролю висіву

Система контролю висіву служить для контролю процесу посіву на вітчизняних і зарубіжних посівних комплексах.

Система повинна виконувати такі функції:

- контроль проходження насіння по висіваючим патрубкам;
- оповіщення при зменшенні інтенсивності висіву для потокового висіву;
- оповіщення при забиванні або відсутності висіву в патрубок із зазначенням його номера;
- підрахунок кількості насіння, "двійників", "пропусків" для посівних комплексів точного висіву;
- контроль рівня насіння і добрив у бункерах;
- одночасне відображення всіх зернопровідників в реальному часі.

Вимірювання відображаються на екрані панелі управління:

- швидкості руху;
- пройденого шляху;
- засіяної площі;
- кількість насіння на га і мп (для посівних комплексів точного висіву);
- гістограми інтенсивності висіву (суцільний посів);
- температури масла двигуна вентилятора (за наявності);
- напруги бортової мережі;
- оборотів вентилятора і валів дозатора.

При необхідності вимірювані і відображаються параметри можуть доповнюватися і / або змінюватися.

Передача миттєвих і накопичених даних системи відбувається за допомогою сторонніх систем GPS / GSM моніторингу. Це дозволяє бачити і контролювати процес посіву віддалено.

Система може складатися з різних датчиків, про які вже було описано вище Система з оптичних датчиків виконує функції:

- Підрахунок насіння;
- Підрахунок двійників, пропусків;
- Статистика аварійних ситуацій, режимів роботи;
- Контроль висіву мілкозернових культур;
- Контроль забруднення оптики і подовжений період роботи без чистки.

Система з ємнісних датчиків має такі переваги:

- Накладний монтаж датчика, без необхідності розрізати зернопровід;
- Відсутність чутливості датчика до забруднення;
- Не впливає на параметри пневматики зернопровода.

Огляд зарубіжних систем контролю висіву

1) Precision Planting — 20|20, vSet, vDrive, DeltaForce

Комплекс рішень Precision Planting поєднує моніторинг, електричні приводи і системи керування притиском рядків. Монітор 20|20 відображає в реальному часі стан кожного рядка (пропуски, двійники, дистанція), дає діагностику та дозволяє автоматично управляти окремими секціями. vSet — високоточний висівний апарат (vSet/vSet2) для рівномірного розміщення насіння; vDrive — індивідуальні електроприводи на рядок; DeltaForce — система автоматичного регулювання притискного зусилля ряда. Разом дають дуже гнучке і точне місцево-визначене керування нормою висіву.

Переваги: висока точність підрахунку/керування, модульність, інтеграція з GPS та агрономічними картами.

Недоліки: вища вартість, потреба в електрифікації рядків і налаштуванні датчиків під культуру/насіння.



Рисунок 2.3 – СКВ Precision Planting — 20|20, vSet, vDrive, DeltaForce

2) John Deere — SeedStar (SeedStar 4)

SeedStar — фірмовий монітор і система для плантерів John Deere. Забезпечує відстеження подачі насіння по рядках, параметри висіву, діагностику та налаштування дисків/методів висіву. Інтегрується з терміналами John Deere та ISOBUS-сумісними системами.

Переваги: надійність, добре налагоджена інтеграція з технікою JD, зручний інтерфейс.

Недоліки: частіше оптимізована під фірмові метери та диски John Deere.



Рисунок 2.4 – СКВ John Deere — SeedStar (SeedStar 4)

3) AMAZONE — AmaTron / AmaCheck / Seed pipe monitoring

Amazona пропонує програмні термінали AmaTron (керування/моніторинг), AmaCheck (монітор механічних метрів) та опціональні рішення контролю потоку у насінневих трубках (seed-pipe monitoring), які виявляють блокування/збої в кожній трубці. Сильна сторона — просте відображення стану бункера/трубок та гібридна підтримка як електричних, так і механічних метрів.

Переваги: зрозумілий термінал, можливість контролю трубок (важливо для пневматичних механізмів).

Недоліки: для механічних метрів — обмеження точності порівняно з електричними singulation-системами.

4) Monosem — вакуумні метричні системи (ValoTerra, turbofan)

Monosem відома вакуумними метрами й турбовентиляторами, що підтримують стабільну вакуумну подачу насіння; їхні seed-монітори рахують насінини та індикують пропуски/двійники. ValoTerra — сучасна вакуумна система з електричним приводом і покращеним кліренсом для різних типів насіння.

Переваги: хороша робота з великим діапазоном посівного матеріалу, стабільність на швидкості.

Недоліки: вакуумні системи потребують гарного фільтрування/очищення повітря й додаткового обслуговування вентиляторів.

5) Kinze та інші виробники — прості електронні монітори (КРМ і подібні)

На ринку присутні економічні монітори (наприклад, Kinze КРМ), здатні відображати пропуски/двійники по багатьом рядкам, забезпечуючи базовий контроль і підрахунок. Такі системи часто дешевші та простіші для інтеграції в механічні плантери.

Переваги: бюджетне рішення для контролю висіву великої кількості рядків.

Недоліки: обмежений функціонал в порівнянні з комплексними системами (не завжди забезпечують точне місцеве регулювання норми).

Огляд вітчизняних систем контролю висіву

1.) RECORD (виробник: ТОВ «Трак», Україна)

Опис:

Система контролю висіву «RECORD» призначена для зернових сівалок (механічних і пневматичних) та сівалок точного висіву.

Обробляє і відображає такі показники: засіяну площу, норму висіву (тис/га або шт/м.п.), кількість насіння, «двійники» і «пропуски», швидкість висіву, кількість аварій по кожному семяпроводу.

Переваги: розробка в Україні, пристосована до місцевих умов; пропонує контроль висіву в реальному часі по семяпроводах.

Обмеження: як і будь-яка система, залежить від якісного монтажу, чистоти семяпроводів, точності датчиків.



Рисунок 2.5 – СКВ RECORD (виробник: ТОВ «Трак», Україна)

Застосування: Ця система встановлюється на зернові сівалки різних типів, включно з моделями українського виробництва, що дозволяє аграріям контролювати висів насіння і знижувати втрати через пропуски чи подвійну закладку.

2.) Demetra Agro-8 (Україна)

Опис:

- Система контролю висіву Demetra Agro-8 призначена для ропасних та пневматичних сівалок.
- Забезпечує моніторинг роботи висівного механізму по кожному рядку або каналу: чи відбувається висів, чи немає пропусків, блокувань.
- Призначена для використання в українських господарствах — враховано специфіку сівалок вітчизняного виробництва.

Застосування: Для господарств, що мають сівалки українського або адаптованого виробництва, бажають встановити базовий контроль висіву без великих іноземних систем.

3.) Агро 8/60 (Україна)

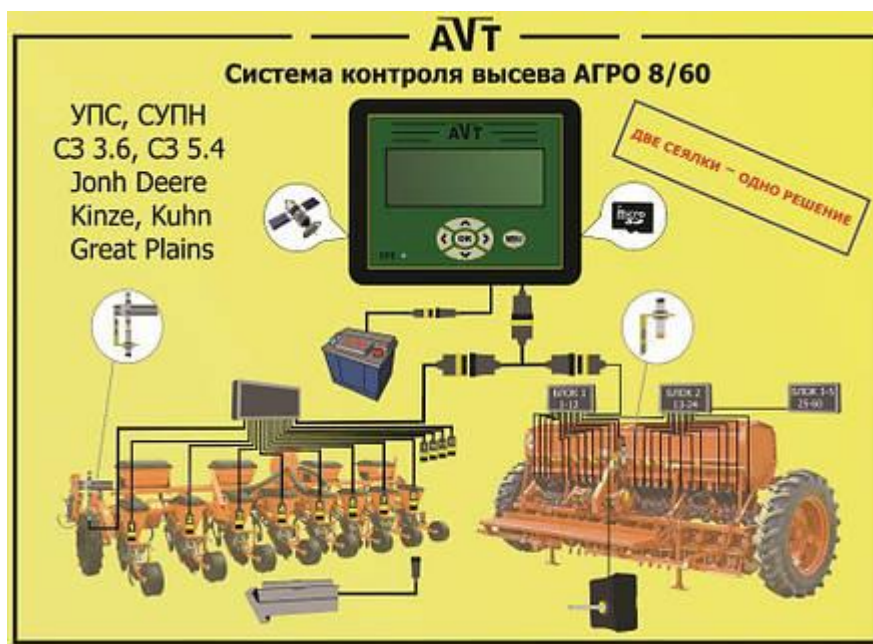


Рисунок 2.6 – СКВ Агро 8/60 (Україна)

Опис:

- Система контролю висіву Агро 8/60 призначена для зернових сівалок: інформує механізатора звуковими і візуальними сигналами про те, чи відбувається висів по кожному ряду.

- Монтується на навісні та причіпні зернові сівалки (наприклад, СЗ 3,6; СЗ 5,4 тощо). Перевага: доступна за ціною, простий монтаж.

Застосування: Підходить для фермерів, які хочуть мінімальний контроль висіву (сіє / не сіє) без складних систем підрахунку або місцевого регулювання.

2.4 Дослідження методів та засобів регулювання процесу висіву

Крім розглянутих вище автоматизованих засобів контролю технології процесу висіву та норми висіву в останні десятиліття почали розроблятися автоматизовані системи регулювання норми висіву просапних культур. 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 гідро двигуна, 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.

Відома система управління нормою висіву AMAZONE „Huckepack“ яка забезпечує дозування і налаштування з високою точністю. Завдяки редуктору

Vario з безступінчатим регулюванням і плавним режимом роботи відбувається дозування норми висіву від 400 кг до 2 кг на гектар з максимальною точністю. Зрозуміло, насіння таких культур, як рапс, трави, зернові, а також боби дозуються однаково точно. Безступінчатий редуктор Vario не вимагає технічного обслуговування і простий в управлінні. Мішалку при посіві рапсу можна відключити, витягнувши лише один фіксатор. Нова система дозування оптимізована по властивостях подачі і подовжнього розподілу. Це стало можливим за рахунок комбінації з висіваючої катушки Control 80 мм з новим корпусом дозуючої катушки і заслінки. Великий діаметр катушок кулачкового типу сприяє розділенню насіння в системі дозування. Рівномірний привід забезпечується за рахунок безступінчатого редуктора Vario. Комбінація з дрібнозернової (помаранчева) і стандартної катушки (зелена) дозволяє висівати від 2 до 400 кг/га без заміни катушок. Перестановка виробляється за лічені секунди. У системі дозування AMAZONE висіваючі катушки заповнюються переважно зверху, подібно до осередкової катушки. Відхилень між фактичною і заданою нормою висіву унаслідок різного заповнення висіваючих катушок більше не спостерігається.

За допомогою регулювання норми висіву стає можливим під час руху змінювати норму висіву відповідно до ґрунтових умов. Гідравлічне регулювання норми висіву приєднане до гідровиходу разом з гідросистемою регулювання тиску на сошник і штригель, так що при підвищенні тиску на сошник і штригель, наприклад, на суглинному ґрунті, може зрости і норма висіву. За допомогою електронного регулювання через AMATRON 3 можна збільшити або зменшити норму висіву з довільними інтервалами.

Традиційний і мульчований посів з механічними посівними комбінаціями Для посіву по оранці ідеально личить комбінація з ротаційної борони із зубчастим катком і механічної сівалки з анкерними сошниками WS. Ротаційна борона обробляє і вирівнює ґрунт, на закінчення відбувається зворотне ущільнення зубчастим катком. Так насінне ложе оптимальне готовим до роботи анкерних сошників WS.

Для мульчованого посіву рекомендується комбінація з ротаційного культиватора, резино-клинового катка і сівалки з сошниками Rotec-control, що накочують. Ротаційний культиватор з «активними» зубами розпушує твердий, щільний ґрунт, витримуючи при цьому глибину. Одночасно відбувається закладення соломи. За рахунок великої відстані між зубами суміш ґрунту з соломою може легко проходити над робочими органами. Що йде услід планувальна балка вирівнює оброблену поверхню.

Система CRA дозволяє регулювати норму внесення продукту для кожного дозатора бункера з кабіни трактора. Ця функція дуже зручна для виконання невеликих коригувань норми висіву, коли працюють на горбистих ділянках. Простим натисненням кнопки норма внесення продукту може бути відрегульована для кожного дозатора бункера з кабіни трактора. Монітор розрахує і покаже змінену норму, ґрунтуючись на нормі при калібруванні.



Рисунок 2.7 - Система регулювання норми висіву CRA

Електричний варіатор, встановлений на кожній трансмісії, при активації оператором, дистанційно регулює внесення норми продуктів. Другий блок управління системою CRA розташований на бункері для зручності налаштування норми висіву під час калібрування.

Компанія Bourgault Industries, яка співпрацює з компанією Topcon Precision Agriculture, пропонує систему наведення та контролю норм висіву для точного землеробства X20™ VRC (рис.2.8). Дуже зручний у застосуванні і

точний монітор-контролер інтегрований з кращою з представлених на ринку системою посіву за один прохід.



Рисунок 2.8 - Система наведення та контролю X20

X20 монітор/контролер від Торсон є системою, яка одночасно виконує функції моніторингу та контролю. Великий кольоровий сенсорний дисплей має барвистий і легкий для використання графічний інтерфейс. X20 дозволяє контролювати до 6 продуктів, включаючи безводний аміак і рідкі добрива.

Монітор/контролер розміщений у кабіні і не має ніяких рухомих частин, що забезпечує тривалий термін служби в сільськогосподарській середовищі. Контроль норми висіву, моніторинг сигналів попередження, зворотній зв'язок у вигляді графічного зображення та інші завдання виконуються миттєво. Ви можете налаштувати голосові і візуальні попередження згідно робочого середовища. Всі датчики, муфти та приводи підключені до центрального блоку управління (ECU) на пневматичному бункері, від якого по кабелю сигнал передається на монітор в кабіну трактора.

Контролер норми висіву насіння і добрив забезпечує:

- регульований контроль норми висіву до 6 продуктів, включаючи безводний аміак і рідкі добрива;
- моніторинг рівня продукту в секціях бункера в міру його використання;
- є опція моніторингу блокування гранул;

- контроль окремих секцій (до 6-ти) для безводного аміаку або рідких добрив.

Система управління забезпечує:

- паралельний і контурний стандарт управління;
- включає маркування перешкод і автоматично включає / вимикає муфту пневматичного бункера, плюс, здійснює включення / вимикання окремих секцій;
- зберігає карти покриття.

Система картографування забезпечує:

- завантаження карти з ПК або створення на моніторі X20;
- можливість використання GPS і системи наведення, щоб застосувати власні певні норми висіву;
- занесення використовуваних норм висіву продукту на карту поля.

Камера AgCam™ може забезпечити візуальне спостереження всередині пневматичних бункерів серії 6000 (рис. 2.9).

Оптичні датчики блокування, що встановлюються на зернопроводи, дають сигнали монітора в разі зниження потоку продукту.



Рисунок 2.9 - Камери системи X20

Результатом одинадцятирічних науково-технічних пошуків малого 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 [14].

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РОЗПОДІЛУ ЗЕРНОВОГО ПОТОКУ ВЗДОВЖ РЯДКА ВИСІВУ

3.1 Параметри оцінки якості висіву

Як відмічалось, для кожного регіону, властивостей ґрунту, типу і сорту посівної культури встановлюється своя норма висіву $Q_{(кг/га)}$ або $Q_m (шт/м)$. При цьому другий показник $Q_m (шт/м)$ - щільність розподілу зернового потоку вздовж рядка висіву, як більш прийнятний для автоматизованих систем контролю, набирає все більшої чинності. Основним показником агротехнічної оцінки якості висіву для сівалок точного та пунктирного способів сівби просапних культур є рівномірність розміщення зерен вздовж рядку висіву, що характеризується наступними параметрами:

- заданим розрахунковим інтервалом між зернинами x_p , м ;
- фактичним значенням середнє арифметичного інтервалу \bar{x} між зернинами в рядку, см ;
- середньо квадратичним відхиленням σ_x поточних інтервалів x_i від їх середньо арифметичного значення \bar{x} , \pm см;
- коефіцієнтом варіації v_x по середньо квадратичному відхиленню довжин інтервалів, % ;
- процент зерен з інтервалами δ'_x , що передбачені агротехнічними вимогами, % ;

При цьому значення вказаних параметрів не можуть бути довільними. Наприклад, для сівалок точного висіву встановлені наступні величини агротехнічних допусків [3]:

- відхилення від заданої норми висіву δ_Q - $\pm 3\%$;
- нерівномірність висіву між окремими апаратами (насіenneпроводами) сівалки δ_i - $\pm 3\%$;

- нестійкість загального висіву δ_c - $\pm 2\%$;
- пошкодження насіння - $\pm 0,5\%$;
- відхилення від розрахункового інтервалу δ_x - $\pm 30\%$;
- середнє квадратичне відхилення σ_x для бурякових сівалок: при довжині інтервалу 5-6см - $\pm 2,5$ см для гранульованого насіння та ± 3 см для звичайного насіння; при довжині інтервалу 7-12см – відповідно $\pm 3,5$ см та $\pm 4,5$ см;
- кількість насіння з допустимим відхиленням від заданого інтервалу - $\geq 85\%$.

3.2. Дослідження моделі розподілу зернового потоку вздовж рядка висіву

Як визначалося вище, при роботі сівалок в польових умовах існуючі автоматизовані системи контролюють лише технологічний процес висіву та норму висіву в штуках на метр або в кілограмах на гектар. Рівномірність розміщення насіння за відстанню (для сівалок точного та пунктирного способів сівби), що характеризується: розрахунковим x_p та фактичним середнє арифметичним інтервалом \bar{x} між сусідніми зернами в рядку; середнє квадратичним відхиленням σ_x поточних інтервалів x_i від їх середнє арифметичного значення \bar{x} ; коефіцієнтом варіації v_x ; гістограмами тривалості часових інтервалів $k_i(t_i)$ або $k_i(t_i)/n$ та відстаней $k_i(x_i)$, $k_i(x_i)/n$ між сусідніми зернами в потоці або в рядку (для сівалок точного висіву), де: $k_i(t_i)$, $k_i(x_i)$ - кратність появи часового інтервалу t_i або відстані x_i , n – загальна кількість вимірів, визначаються лише в лабораторних та наближених до них польових умовах за допомогою стендової апаратури. Сучасний рівень розвитку комп'ютерної техніки дає можливість створення автоматизованих систем оцінки вказаних вище параметрів і в польових умовах безпосередньо в процесі сівби за наявності високоточних датчиків зернового потоку. Більше того, сьогодні

ведуться роботи не лише по модернізації автоматизованих систем контролю процесу висіву, а й по створенню систем управління процесом висіву просапних культур як при традиційній технології так і при технології точного землеробства. Створення автоматизованих систем управління процесом висіву зернових культур стримується відсутністю датчиків зернового потоку призначених для роботи в польових умовах.

Аналіз вищевказаних параметрів показує, що математичне чекання, середньоквадратичне відхилення і коефіцієнт варіації є статистичною мірою оцінки якості сівби, яка дає лише загальну картину висіву. Більш наочну картину оцінки якості сівби дають гістограми розподілу зернин вздовж рядка висіву, побудовані на підставі класифікації відстаней між зернинами. Сумісне використання гістограм і статистичних параметрів збільшує повноту загальної оцінки. Але найбільшу інтегральну оцінку якості висіву міг би дати закон розподілу зернового потоку вздовж рядка висіву.

Дослідимо закон розподілу потоку насіння, що формується висівними апаратами сівалок точного висіву за тривалістю часових інтервалів або відстаней між сусідніми насінинами в потоці або в рядку з використанням методів стохастичного моделювання.

Розглянемо неперервну випадкову величину t - тривалість часового інтервалу між моментами реєстрації двох сусідніх довільно пролітаючих насінин в потоці і визначимо її функцію розподілу $F(t)$. Припустимо, що λ_t - це щільність зернового потоку в одиницю часу, шт./с. Якщо ймовірність прольоту одного зерна через площину реєстрації $p_t = \lambda_t \cdot \Delta\tau$ за термін часу $\Delta\tau$ не значна ($p_t \rightarrow 0$) при великому числі вимірів n ($n \rightarrow \infty, \Delta\tau = \tau/n$), тобто має місце умова $0 < n \cdot p_t = \lambda_t \cdot \tau \leq 15$ [17], то ймовірність $P_\tau(k)$ прольоту k зернин за термін часу τ можна визначати через наближену асимптотичну формулу Пуассона (3.1). При цьому виходимо з того, що ймовірність прольоту двох або більше насінин за проміжок часу $t \leq \tau = T_c$ набагато менше ймовірності прольоту одного зерна (із умов ергодичності)

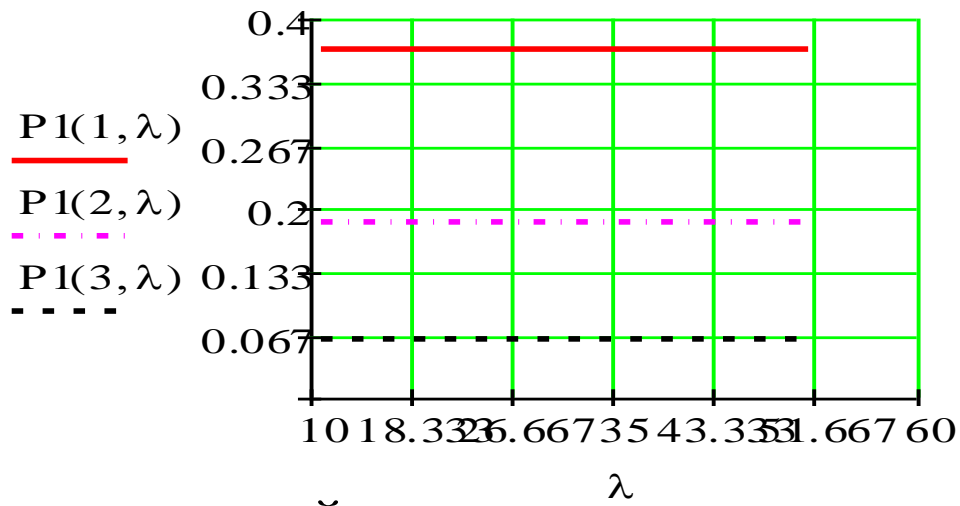


Рисунок 3.1 – Ймовірність пролітання від 1 до 3-х насінин за інтервал часу

$$P_{\tau}(k) = \frac{(\lambda_t \cdot \tau)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda_t \cdot \tau} \ll \frac{(\lambda_t \cdot \tau)}{1!} \cdot e^{-\lambda_t \cdot \tau}, \text{ де: } k = 2, 3, \dots, m. \quad (3.1)$$

Вказане положення (3.1) легко підтверджується графіком, на якому відображена ймовірність прольоту 1,2 та 3-х насінин $P_{T_c}(k)$ за проміжок часу $\tau = T_c = 1/\lambda_t$, визначена для різних норм висіву λ_t .

Тому значеннями $P_i(k)$ при $t \leq \tau = T_c$ та $k \geq 2$ будемо нехтувати. Ймовірність того, що випадкова величина T_i - часовий інтервал між прольотом двох сусідніх насінин в потоці, потрапить в проміжок часу t визначається функцією розподілу $F(t)$ (17):

$$F(t) = P(T < t). \quad (3.2)$$

Тоді, ймовірність протилежної події – випадкова величина T_i не потрапить в заліковий інтервал t визначається співвідношенням

$$1 - F(t) = P(T \geq t). \quad (3.3)$$

Вказану ймовірність $P(T \geq t)$ можна порівняти з ймовірністю $P_t(0)$ того, що за проміжок часу $T \geq t$ не пролетить жодної насінини (3.4), яка визначається із формули Пуассона (3.1):

$$1 - F(t) = P(T \geq t) = P_t(0) = e^{-\lambda_t \cdot t} \quad (3.4)$$

Виходячи з цього отримуємо вираз (3.5) для визначення інтегральної

функції розподілу зернового потоку $F(t)$ за тривалістю часового інтервалу між прольотом двох сусідніх насінин:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda_t \cdot t}, \text{ якщо } t \geq 0 \quad (3.5)$$

В результаті її диференціювання $F(t)'$, визначимо диференційну функцію розподілу ймовірностей $f(t)$ за тривалістю часових інтервалів

$$f(t) = \begin{cases} 0 & , \text{ якщо } t < 0 \\ \lambda_t \cdot e^{-\lambda_t \cdot t} & , \text{ якщо } t \geq 0 \end{cases} . \quad (3.6)$$

Визначення моделі розподілу потоку насіння за відстанями X між сусідніми насінинами в рядку виконується по аналогії з тривалістю часового інтервалу. Таким чином, приходимо до висновку, що розподіл потоку насіння за тривалістю часових інтервалів t або відстаней X між сусідніми насінинами в потоці або в рядку, коефіцієнт варіації якого близький до 100%, підпорядковується показниковому (експоненціальному) закону розподілу ймовірностей неперервних випадкових величин, який характеризується наступними стохастичним показниками, визначеними по аналогії:

Функцією розподілу ймовірностей:

- за тривалістю часових інтервалів

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda_t \cdot t}, \text{ якщо } t \geq 0; \quad (3.7)$$

- за відстанями (23):

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda_x \cdot x}, \text{ якщо } x \geq 0, \quad (3.8)$$

де: λ_x - щільність потоку насіння на одиницю довжини висівання в рядок (норма висіву), шт/м; x - довжина залікового інтервалу;

Функцією щільності розподілу ймовірностей:

- за тривалістю часових інтервалів

$$f(t) = \begin{cases} 0 & , \text{ якщо } t < 0 \\ \lambda_t \cdot e^{-\lambda_t \cdot t} & , \text{ якщо } t \geq 0 \end{cases} \quad (3.9)$$

- за відстанями

$$f(x) = \begin{cases} 0 & , \text{ якщо } x < 0 \\ \lambda_x \cdot e^{-\lambda_x \cdot x} & , \text{ якщо } x \geq 0 \end{cases} ; \quad (3.10)$$

Математичним чеканням:

$$m_t = 1/\lambda_t, \quad m_x = 1/\lambda_x. \quad (3.11)$$

Середньо квадратичним відхиленням:

$$\sigma_t = 1/\lambda_t, \quad \sigma_x = 1/\lambda_x. \quad (3.12)$$

Коефіцієнтом варіації:

$$v_t = 1, \quad v_x = 1. \quad (3.13)$$

Графіки залежності диференційної функції розподілу ймовірностей $f(x)$, визначені для різних норм висіву $\lambda(x)$, представлені на рисунку 3.2. Їх аналіз показує, що ні функція розподілу ймовірностей $F(x)$, ні функція щільності $f(x)$ не дають наочної і достатньої інформації для дослідника, крім загальної. Позитивним показником визначеної закономірності, який має практичне значення, є математичне чекання M_x та M_t (3.14), номограми яких представлені на рисунку 3.3.

$$\lambda_t = \lambda_x \cdot \frac{V_c}{3,6}, \quad M_x = \frac{1}{\lambda_x}, \quad M_t = \frac{3,6}{\lambda_x \cdot V_c} \quad (3.14)$$

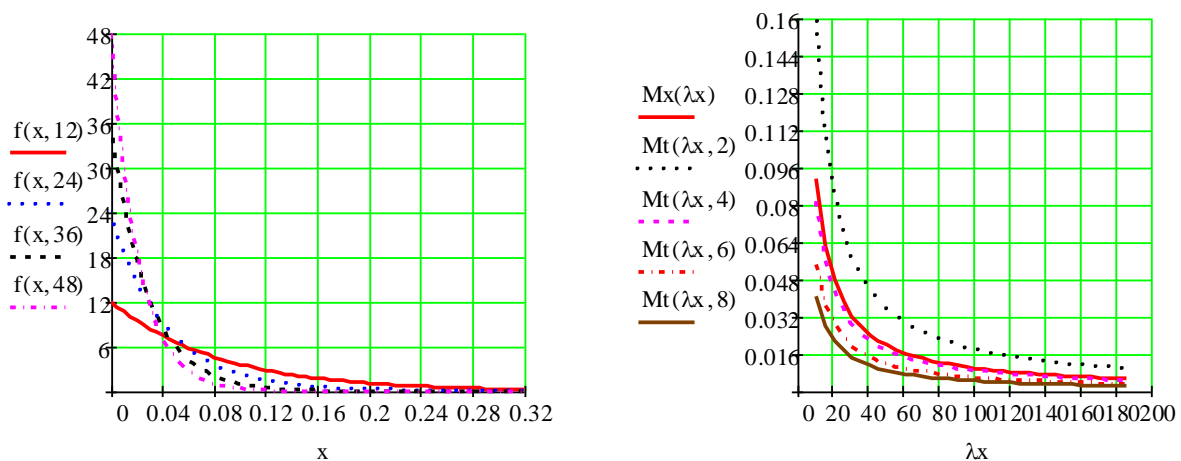


Рисунок 3.2, 3.3 – Графіки залежності щільності при різних нормах висіву, номограми залежності математичного чекання

Для дослідника більш важливо визначити характер розподілу випадкових величин x , t відносно їх математичного чекання M_x, M_t (3.15), тобто визначити двосторонній закон розподілу:

$$F(x) = \begin{cases} P(x < M_x), & \text{якщо } 0 \leq x < M_x \\ P(x \geq M_x), & \text{якщо } x \geq M_x \end{cases}$$

або

$$F(x) = \begin{cases} P((x - M_x) < 0), & \text{якщо } 0 \leq x < M_x \\ P((x - M_x) \geq 0), & \text{якщо } x \geq M_x \end{cases}$$

Вказану закономірність будемо визначати з описаного вище експоненціального закону. Для цього в формулах (3.7), (3.8) змістимо центр симетрії з нуля на M_x та M_t . В результаті отримаємо функції розподілу ймовірностей, які змінюються в межах $0 \leq F(x) < 2$, що суперечить самому визначенню цієї функції та її властивості: $\lim_{x \rightarrow +\infty} F(x) = 1, F(x) \leq 1$. Щоб знешкодити цю несумісність, введемо в функцію щільності розподілу ймовірностей $f(x)$ коефіцієнт $1/2$, в результаті отримаємо функцію розподілу Лапласа, яка визначається виразом

$$f(x) = \lambda_x \cdot \frac{e^{-\lambda_x |x - M_x|}}{2} = \begin{cases} \lambda_x \cdot \frac{e^{-\lambda_x(-x + M_x)}}{2}, & \text{якщо } 0 \leq x < M_x \\ \lambda_x \cdot \frac{e^{-\lambda_x(x - M_x)}}{2}, & \text{якщо } M_x \leq x \end{cases}$$

Таким же чином визначається і функція щільності розподілу ймовірностей $f(t)$ для часових інтервалів

$$f(t) = \lambda_t \cdot \frac{e^{-\lambda_t |t - M_t|}}{2} = \begin{cases} \lambda_t \cdot \frac{e^{-\lambda_t(-t + M_t)}}{2}, & \text{якщо } 0 \leq t < M_t \\ \lambda_t \cdot \frac{e^{-\lambda_t(t - M_t)}}{2}, & \text{якщо } M_t \leq t \end{cases}$$

Звідси, інтегральні функції розподілу ймовірностей $F(x), F(t)$ визначаються виразами (3.18) та (3.19):

$$F(x) = \int_0^x f(x) \cdot dx = \frac{(-x + M_x) \cdot e^{-\lambda_x |x - M_x|}}{2 \cdot (x - M_x)} \Big|_0^x = \begin{cases} \frac{[e^{-\lambda_x(-x + M_x)} - e^{-\lambda_x M_x}]}{2}, & \text{якщо } 0 \leq x < M_x \\ \frac{[1 - e^{-\lambda_x(x - M_x)}]}{2}, & \text{якщо } M_x \leq x \end{cases}$$

$$F(t) = \int_0^t f(t) \cdot dt = \frac{(-t + M_t) \cdot e^{-\lambda_t \cdot |t - M_t|}}{2 \cdot |(t - M_t)|} \Big|_0^t = \begin{cases} \frac{[e^{-\lambda_t \cdot (-t + M_t)} - e^{-\lambda_t \cdot M_t}]}{2}, & \text{якщо } 0 \leq t < M_t \\ \frac{[1 - e^{-\lambda_t \cdot (t - M_t)}]}{2} & , \text{якщо } M_t \leq t \end{cases} \quad (3.19)$$

На рисунку 3.4 та рисунку 3.5 представлені номограми диференційної $f(x)$ та інтегральної $F(x)$ функцій розподілу ймовірностей, визначені для різних норм висіву.

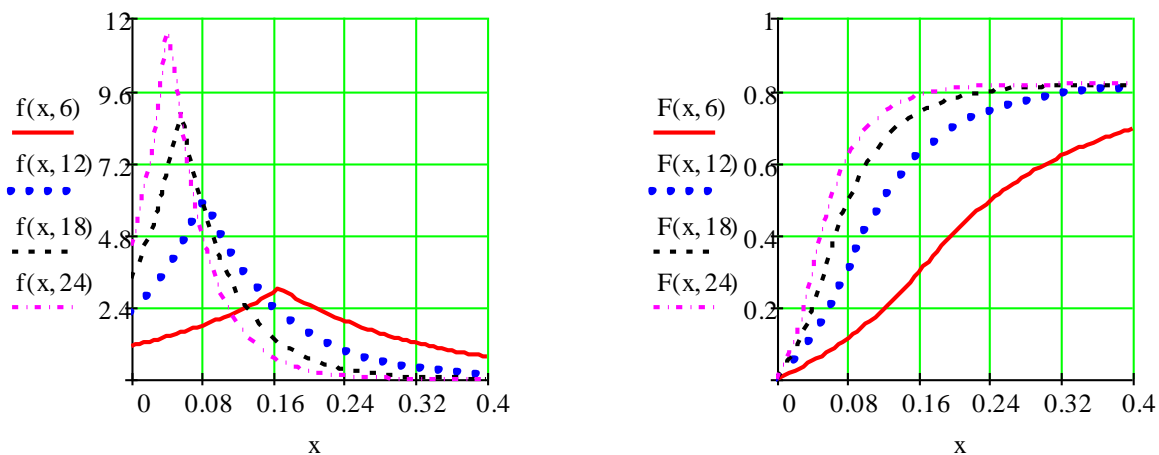


Рисунок 3.4, 3.5 – Номограми щільності розподілу ймовірностей при різних нормах висіву

Таким чином, результати досліджень показали, що тривалості часових інтервалів та відстаней між сусідніми насінинами в потоці розподіляються відносно математичних чекань за законом Лапласа і визначаються формулами (3.16-3.19) з параметрами розподілу

$$\begin{aligned} M_x &= \frac{1}{\lambda_x} \text{ або } \bar{X}; \sigma_x = \frac{\sqrt{2}}{\lambda_x}; \nu_x = \sqrt{2}; \\ M_t &= \frac{1}{\lambda_t} \text{ або } \bar{T}; \sigma_t = \frac{\sqrt{2}}{\lambda_t}; \nu_t = \sqrt{2} \end{aligned} \quad (32)$$

Вказані залежності можна використовувати для оцінки якості роботи висівних апаратів просапних культур при їх випробуваннях в лабораторних та наближених до польових умов, оскільки вони більш наочно і інтегровано відображають характер розподілу зернового потоку вздовж рядка висіву. Так як

досліджені стохастичні моделі розподілу зернового потоку вздовж рядка висіву легко реалізуються на програмному рівні, то їх можна використовувати і для оцінки якості сівби в польових умовах як в процесі проведення так і після завершення посівних робіт.

Результати досліджень показали, що рівномірність розміщення просапних культур вздовж рядка висіву підпадає під закон розподілу Лапласа, а не під нормальний закон розподілу, на який частіше всього спираються дослідники.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НОРМОЮ ВИСІВУ ДЛЯ ПНЕВМАТИЧНОЇ СІВАЛКИ

4.1 Аналіз факторів впливу на інтенсивність і якість розподілу зернового потоку

До факторів впливу на інтенсивність і якість розподілу зернового потоку формованого дисковими висівними апаратами сівалки СУПН-8 можна віднести: кількість та рівномірність розміщення присмоктувальних отворів на диску; величину та стабільність тиску під кожухом висівного апарата; швидкість обертання диску та її зв'язок з швидкістю руху сівалки [3]. Перший фактор є конструктивним і не потребує змін в процесі висіву, так як необхідні для посівної культури диски встановлюються на висівні апарати до сівби. Тиск під кожухом висівного апарату забезпечується вентилятором, який приводиться в дію валом відбору потужності трактора через коробку передач. Величина і стабільність тиску залежить від швидкості обертання вентилятора, герметичності прилягання кожуха до корпусу висівного апарата, наповненості присмоктувальних отворів, довжини трубопроводів тощо. Регулювання тиску по кожному висівному апарату є окремою і доволі складною задачею, вирішення якої суттєво вплине на якість сівби – зменшиться кількість двійників та пропусків, але цей фактор є другорядним.

Основним фактором впливу на зміну норми висіву є швидкість обертання валу висівного апарату. У сівалці СУПН-8 приводи валів висівних апаратів кожної секції через коробки передач зв'язані з приводними колесами сіваки через ланцюгову та зубчасту передачі. Оптимальна швидкість обертання диску для кожної норми висіву задається передаточною величиною $i = \omega_k / \omega_z$ коробки передач, де ω_z - кутова швидкість обертання валу висівного апарата (рад/с), а ω_k .

– кутова швидкість приводного колеса сівалки (рад/с). Завдяки наявності прямого механічного зв'язку $\omega_z = i \cdot \omega_k$ із зміною швидкості руху приводного колеса сівалки пропорційно змінюється і швидкість обертання диску. Тобто, маємо в наявності реалізацію принципу автоматичного регулювання без зворотного зв'язку. Існуюча технологія сівби задовольняє сільгоспвиробника при класичному землеробстві, коли поле розглядається як однорідне і сівба проводиться з постійно заданою нормою висіву. Технологія точного землеробства передбачає необхідність періодичної зміни норми висіву на окремих ділянках поля. Навіть при наявності безсхідчастої коробки передач забезпечити зміни норми висіву на окремих ділянках поля в польових умовах без зупинки трактора дуже складно. Цей процес можна автоматизувати, шляхом розробки мікропроцесорної системи яка б забезпечувала місцевизначену зміну швидкості обертання валу висівного апарата пропорційно швидкості руху сівалки та заданій нормі висіву.

При проектуванні системи автоматичного керування змінними нормами висіву було враховано результати досліджень вчених Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ) Передбачається, що розроблювана САК на першому етапі буде працювати паралельно з існуючою системою контролю висіву «НИВА 23» і навіть частково використовувати її ємнісні датчики.

4.2 Аналіз та обґрунтування апаратної частини АСК нормою висіву

Апаратна частина САК процесом висіву за технологією точного землеробства призначеної для сівалки СУПН-8 (рис. 1) 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; ємнісні датчики зерна в потоці, двигуни постійного струму з редукторами і мікропроцесорний блок керування.

Використання ланцюгово-зубчастої передачі від приводного колеса сівалки

виключається. Для обертання валу висівних апаратів з заданою швидкістю планується застосовувати двигуни постійного струму типу BG 45x15 PI (потужність - 72Вт, крутний момент - 22Н см, номінальна швидкість 50...3100об/хв) з черв'ячним або планетарним редуктором [5]. Оскільки сівалка СУПН-8 має дві незалежні секції по чотири висівних апарата на одному валу, то для приводу кожної секції необхідно встановити по одному двигуну. Вказаний тип серводвигуна може управлятися не лише від зовнішнього контролера, а й від персонального комп'ютера. В залежності від потреб користувача двигун може комплектуватися черв'ячним редуктором з передавальним відношення від 5:1 до 75:1 (обертальний момент до 30Нм) або планетарним редуктором з передавальним відношення від 3:1 до 700:1 (обертальний момент - до 160Нм).

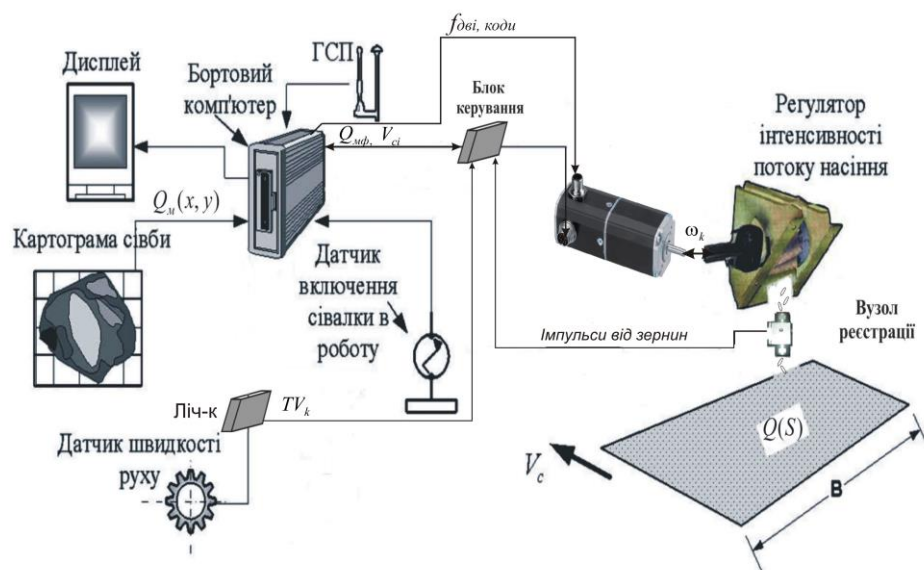


Рисунок 4. 1 - Загальна структура САК змінними нормами висіву сівалки СУПН-8

Для того, щоб розробити методику роботи САК необхідно було спершу визначити залежність між кутовою швидкістю обертання валу висівного апарата, нормою висіву і швидкістю руху сівалки, після чого визначити передаточну величину k редуктора двигуна.

Згідно з агровимогами [4] для кожної висівної культури, регіону, родючості ґрунту тощо встановлюється своя норма висіву

$$Q_m = 10^2 \cdot Q \cdot b / A \text{ (шт/м)}, \quad Q_c = 10^2 \cdot Q \cdot b \cdot V_c / (3,6 \cdot A) \text{ (шт/с)}, \quad (4.1)$$

де Q - задана норма висіву, кг/га; Q_m , Q_c - щільність розподілу зернового потоку вздовж рядка висіву (шт/м) та інтенсивність зернового потоку на виході сошника (шт/с); b - ширина міжряддя, м; A - вага 1000шт. насіння, грам; V_c - швидкість руху сівалки, км/год.

Інтенсивність зернового потоку Q_{zc} (шт/с) на виході дискового висівного апарата визначається виразом

$$Q_{zc} = n_z \cdot z / t = f_z \cdot z = \omega_z \cdot z / 2 \cdot \pi, \quad (4.2)$$

де n_z - кількість зареєстрованих обертів диска, об.; z - кількість присмоктуючих отворів на диску, шт.; t - термін реєстрації, с; f_z - частота обертання диска, об/с.

Залежність кутової швидкості обертання валу висівного апарата ω_z від норми висіву Q_m і швидкості руху сівалки V_c визначаються з умови, що інтенсивності зернового потоку на виході сошника Q_c і дискового висівного апарата Q_{zc} повинні бути рівними $Q_{zc} = Q_c$, тобто

$$\begin{aligned} \omega_z \cdot z / (2 \cdot \pi) &= 10^2 \cdot Q \cdot b \cdot V_c / (3,6 \cdot A) \\ \omega_z &= 10^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot Q \cdot b \cdot V_c / (3,6 \cdot A \cdot z) \end{aligned} \quad (4.3)$$

Вводиться заміна $Q = Q_i \cdot A / (10^2 \cdot b)$ (1) і визначається кінцевий вираз залежності, яка буде використовуватися в управлінні процесом висіву просапних культур

$$\omega_z = 2 \cdot \pi \cdot Q_i \cdot V_c / (3,6 \cdot z). \quad (4.4)$$

В таблиці 4.1 представлені граничні значення щільності розподілу зернового потоку вздовж рядка висіву (норма висіву) Q_m (шт/м), розраховані (1) на підставі заданих агрономіями [4] норм висіву Q (кг/га) для чотирьох видів просапних культур. За базі отриманих норм висіву Q_m (шт/м) було визначено (4) діапазон зміни кутової швидкості обертання валу висівного апарату ω_z при сівбі на мінімальній $V_c = 2,4$ км/год та максимальній $V_c = 15$ км/год швидкостях руху

сівалки. При цьому враховувалися граничні значення присмоктувальних отворів на висівному диску z.

Згідно з технічним даними швидкість обертання ротора $f_{дв}$ двигуна ВГ 45х15 РІ може регулюватися в межах від 50 до 3100об/хв. Його кутова швидкість $\omega_{об}$ (рад/с) визначається формулою

$$\omega_{об} = 2 \cdot \pi \cdot f_{об} / 60 . \quad (4.5)$$

Маючі вирази (4), (5) можна визначити значення передавальної величини k редуктора двигуна ВГ 45х15 РІ

$$k = \omega_{об} / \omega_z = 2 \cdot \pi \cdot f_{об} / (60 \cdot \omega_z) . \quad (4.6)$$

Функціональна залежність швидкості обертання ротора двигуна $f_{дв}$ (об/хв) від кутової швидкості обертання валу висівного апарата ω_z (рад/с) при постійному значенні передаточної величини k редуктора має вираз

$$f_{дв} = k \cdot 60 \cdot \omega_z / 2 \cdot \pi . \quad (4.7)$$

В таблиці 4.1 занесені також граничні значення передавальної величини редуктора k , розраховані за співвідношенням (6) при максимальній швидкості обертання ротора двигуна $f_{дв} = 3100$ об/хв.

Таблиця 4.1 – Діапазони зміни кутової швидкості валу висівного апарата та передавальної величини редуктора двигуна

Культура	Норма вис. Q_m , шт/м	Число отворів на диску (z), шт	Кутова швидк. ω_z рад/с			Швидк. двигуна $f_{дв}$, об/хв		
			Передат. велич., k	Швидк. ω_z рад/с	Передат. велич., k	Швидк. ω_z рад/с	Передат. велич., k	Швидк. $f_{дв}$, об/хв
			$V_c = 2,4$ км/год			$V_c = 15$ км/год		
Сорго	28...70	14, 22, 50	8,38	38,7	640	36,7	8,85	2804
Соняшник	2...15	14, 22	0,6	541	46	17,85	18,2	1364
Соя	12...44	90	0,6	541	46	12,8	25,36	978
Кукурудза	1,5...13	14, 22	0,5	649	38	15,47	20,98	1182

Як видно з табл. 1 найменш допустиме значення передавальної величини $k = 8,85$. Звідси приходимо до висновку, що, для забезпечення заданих норм

висіву просапних культур сівалкою СУПН 8 з використання двигуна типу ВГ 45x15 РІ необхідно укомплектувати його черв'ячним або планетарним редуктором з передавальною величиною 8:1. Якщо передавальна величина редуктора буде обрана вищою, то при сівбі сорго з максимальною нормою висіву швидкість обертання ротора двигуна вийде за межі допустимого. Цей висновок підтверджують і значення швидкостей обертання ротора двигуна $f_{дв} об/хв$ розраховані за формулою (4.7) при граничних кутових швидкостях обертання валу висівного апарату ω_z та передаточній величині $k = 8$ представлені в табл. 1. Для сорго, наприклад, максимальне значення швидкості обертання ротора двигуна $f_{дв} = 2804 об/хв$, що не перевищує максимально допустимої швидкості двигуна $f_{дв} = 3100 об/хв$. В той же час, мінімальне значення швидкості $f_{дв} = 38 об/хв$ при висіванні кукурудзи нижче допустимого $f_{дв} = 50 об/хв$ для двигуна. Однак, з цим можна змиритися, так як в технічних даних сівалки СУПН-8 вказано, що сівбу рекомендовано проводити на швидкості 6...9км/год, а не 2.4км/год для якої зроблено розрахунок.

Швидкість руху сівалки можна визначати за допомогою датчика Холла і диску з щілинами закріпленому на осі приводного колеса сівалки. Імпульси з датчика подаються на вхід лічильника пройденого шляху. Після відліку фіксованої відстані (наприклад $\Delta S = 5 або 10 м$) формується імпульс швидкості T_{v_i} , який поступає на вхід зовнішнього переривання *INT0* контролера де визначається час t проходження цієї відстані і розраховується швидкість руху сівалки $V_c = \Delta S \cdot 3,6 / t$.

Так як сівба проводиться в попередньо обумовленому діапазоні зміни швидкостей руху сівалки, наприклад, на підвищених швидкостях 8-11км/год, середніх - 6-9км/год, понижених - 4-6км/год тощо, то, виходячи з вимог мультиплексного режиму, заданий діапазон ділиться на вісім фіксованих значень $V_{c1}, V_{c2}, \dots, V_{c8}$ (км/год). На підставі залежностей (4), (7) було виконано розрахунки кутових швидкостей обертання валу висівних апаратів $\omega_{z1}, \omega_{z2}, \dots, \omega_{z8}$ і

швидкостей обертання ротора двигуна $f_{дв1}, f_{дв2}, \dots, f_{дв8}$ для різних норми висіву Q_{mn} насіння кукурудзи і різних швидкостей руху сівалки $V_{c1}, V_{c2}, \dots, V_{c8}$. Результати цих розрахунків занесені в таблицю 2.

Таблиця 4.2 – Відповідність кодів управління швидкістю обертання ротора двигуна заданій нормі висіву та швидкості руху сівалки

V_c км/год	$Q_m = 3 \text{ шт/м}$		$Q_m = 4 \text{ шт/м}$		$Q_m = 5 \text{ шт/м}$		Код швидкості
	ω_z рад/с	$f_{дв}$ об/с	ω_z рад/с	$f_{дв}$ об/с	ω_z рад/с	$f_{дв}$ об/с	
4	1,5	114	2,0	152	2,5	190	000
5	1,9	143	2,5	190	3,1	238	100
6	2,2	171	3,0	229	3,7	285	010
7	2,6	200	3,5	266	4,4	333	110
8	3,0	229	4,0	304	5,0	381	001
9	3,4	257	4,5	342	5,6	429	101
10	3,7	286	5,0	380	6,2	476	011
11	4,1	314	5,5	419	6,9	524	111

Аналіз даних таблиці 4.2 показує, що кожному з восьми значень швидкостей руху сівалки $V_{c1}, V_{c2}, \dots, V_{c8}$ відповідає свій код швидкості обертання валу двигуна («Швидкість 0», «Швидкість 1» ... «Швидкість 7») передбачений мультиплексним режимом керування. Тобто, в залежності від швидкості руху сівалки, до контролера двигуна передається відповідний їй 3-хрозрядний двійковий код. В той же час, цей код справедливий і для інших норм висіву $Q_{mn} = 3, 4, 5 \text{ шт/м}$ і відповідних їм швидкостям обертання валу двигуна $f_{дв1}, f_{дв2}, \dots, f_{дв8}$ (об/хв.). Щоб виключити цю багатозначність, було вирішено при кожній зміні норми висіву передавати відповідні їй швидкості обертання валу двигуна $f_{дв1}, f_{дв2}, \dots, f_{дв8}$ до його контролеру через 5-ти контактний роз'єднувач «Інтерфейс параметрів».

Оскільки відповідність між кодом, швидкістю руху сівалки і швидкістю обертання валу двигуна розраховувались для заданих Q_{m3} , а не фактично зареєстрованих датчиками Q_{mf} , норм висіву, то в формулу розрахунку кутової

швидкості валу висівного апарата (4) було внесено коефіцієнт корекції $\alpha = Q_{mf} / Q_{mz}$

$$\varpi_z = 2 \cdot \pi \cdot \alpha \cdot Q_m \cdot V_c / (3,6 \cdot z). \quad (4.8)$$

Результати аналізу даних табл.2 дали підставу для розробки методики більш глибокої дискретизації швидкостей обертання ротора двигуна. Згідно з цією методикою модифікацію швидкостей обертання валу висівного апарата, яка б відповідала фактичній нормі висіву і дискретному діапазону швидкостей, було покладено на бортовий комп'ютер, а формування восьми керуючих кодів швидкостей, узгоджених з нормою висіву, – на блок керування двигунами.

В цілому, проектований апаратно-програмний комплекс представляє собою замкнену САК

4.3 Розробка функціональної схеми АСК нормою висіву

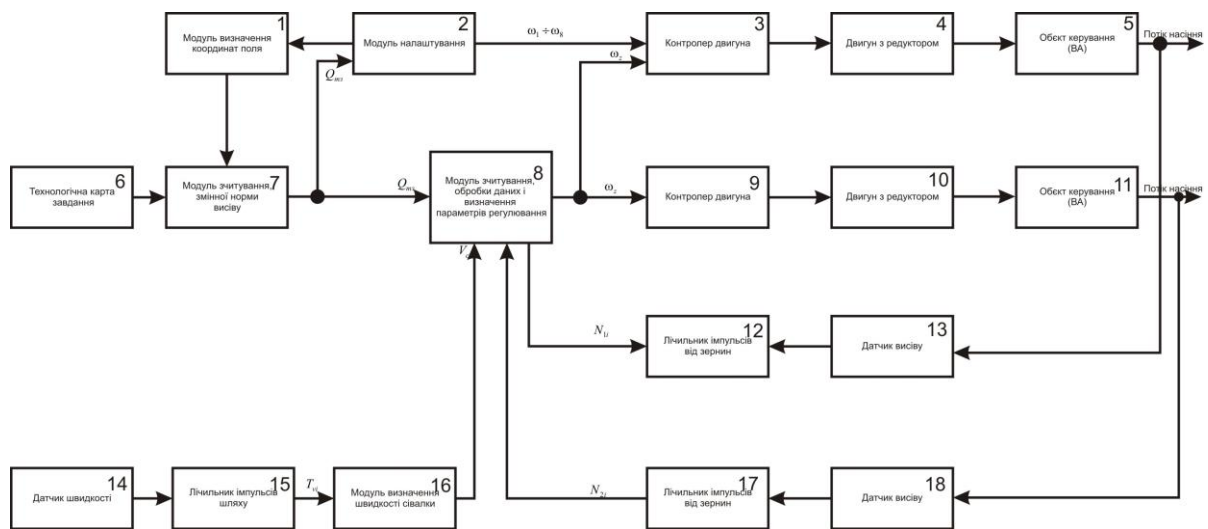


Рисунок 4. 2 – Функціональна схема роботи автоматизованої системи керування процесом висіву просапних культур

Кожний модуль виконує одну або декілька функцій на програмному, фізичному та електромеханічному рівні. Виконання частини програмних модулів (1, 2, 6, 7) покладено на бортовий комп'ютер, що встановлюється в кабіні трактора. Блок керування виконує функції зчитування вхідних даних, їх обробку

і визначення параметра регулювання (модулі 8, 12, 16, 17). Виконавчі механізми представляють контролери двигунів (3, 9) і самі двигуни з редукторами (4, 10). Під об'єктами керування розуміються дискові висівні апарати (5, 11). До апаратно – програмного комплексу входять також два ємнісних датчика висіву (13, 18) і датчик швидкості з лічильником імпульсів довжини пройденого шляху (14, 15). Блок керування спроектовано на базі 16-ти розрядного мікроконтролера серії AVR типу АТ MEGA16. Інформація про поточний стан двигунів та фактичну норму висіву через блок керування поступає до бортового комп'ютера для відображення на екрані. Обмін даними між AVR контролером блока керування та бортовим комп'ютером здійснюється через USB - порт.

Принцип роботи даної системи автоматичного керування змінними нормами висіву просапних культур для сівалки СУПН-8 полягає в наступному. Перед початком сівби, після завантаження програмного забезпечення в бортовий комп'ютер (рис. 1) вводяться параметри висіву: назва просапної культури; коефіцієнт передачі редуктора двигуна k ; число присмоктувальних отворів на висівному диску z ; заплановане мінімальне і максимальне значення швидкостей руху сівалки $V_{c\min}, V_{c\max}$ (км/год); початкове значення норми висіву Q_{mn} (шт/м); період опитування ГСП-приймача для визначення місцеположення сівалки (координат поля) T_{on} (с); допустима за агровимогами відносна похибка відхилення норми висіву δ_a (%) від заданої; початковий коефіцієнт корекції швидкості $\alpha = 1$. Після цього запускається таймер визначення періоду опитування координат поля. Заданий діапазон зміни швидкостей руху сівалки ділиться на вісім фіксованих значень $V_{c1}, V_{c2}, \dots, V_{c8}$ (км/год). В модулі 2 за формулою (8), розраховуються значення 8 кутових швидкостей обертання валу висівного апарата $\omega_{z1}, \omega_{z2}, \dots, \omega_{z8}$ на підставі поточної норми висіву Q_{mn} та розрахованих значень швидкостей руху сівалки $V_{c1}, V_{c2}, \dots, V_{c8}$. Потім розраховуються значення швидкостей обертання ротора двигуна $f_{дв1}, f_{дв2}, \dots, f_{дв8}$ (об/хв.) за формулою (7). Отримані значення, кожне з яких відповідає поточній нормі висіву Q_{mn} та обраній швидкості руху сівалки $V_{c1}, V_{c2}, \dots, V_{c8}$, разом з

«двійковими кодами швидкості» передаються до контролера двигуна через «Інтерфейс параметризації».

Період опитування T_{on} можна розрахувати виходячи з наступних міркувань. Якщо прийняти середню швидкість руху сівалки $V_c = 7,2 \text{ км/год} = 2 \text{ м/с}$, то шлях у 20м вона пройде за $T_{on} = 10 \text{ с}$. Цього терміну достатньо для визначення координат місця сівалки, проведення розрахунків і передачі даних до контролера двигуна, що узгоджується і з точністю визначення координат GPS –навігатором.

Після цього програма переходить в режим чекання до приходу сигналу початку опитування $t \geq T_{on}$. Після приходу сигналу «опитування» виконується процедура перезапуску таймера, визначаються координати поля (модуль 1), зчитується задана норма висіву $Q_{мз}$ з карти-завдання (модулі 6, 7) і розраховується величина відносного відхилення поточної норми висіву $Q_{мн}$ від заданої $Q_{мз}$ за формулою $\delta_{н} = |Q_{мз} - Q_{ма}| \cdot 100\% / Q_{мз}$. Якщо відносна похибка перевищує допустиму $\delta_{н} \geq \delta_3$, то значення заданої норми висіву $Q_{мз}$ заноситься в комірку поточної норми висіву $Q_{мн}$, розраховуються нові значення швидкостей обертання ротора двигуна $f_{дв1}, f_{дв2}, \dots, f_{дв8}$ і передаються до його контролера. Якщо відносна похибка не перевищує допустиму $\delta_{н} < \delta_3$, то значення поточної норми висіву $Q_{мн}$ не змінюється, процес перерахунку не виконується і програма знову виходить в режим чекання.

Робота блоку керування починається з зчитування з бортового комп'ютера вхідних параметрів: поточної норми висіву $Q_{мн}$; розрахованих значень швидкості $V_{c1}, V_{c2}, \dots, V_{c8}$ та відповідних їм двійкових кодів керування; половинний інтервал відхилення сусідніх швидкостей $\Delta V_c / 2$ і допустиме значення відносного відхилення $\delta_{н}$ поточної норми висіву $Q_{мн}$ від заданої $Q_{мз}$. Після цього в комірку поточного значення швидкості заноситься її початкова величина і код керування. Запускається таймер виміру швидкості руху сівалки, а до контролеру двигуна передається код заданої швидкості його обертання. Двигун налаштовується на задану швидкість обертання і приводить в дію висівний апарат. Після

проходження сівалкою фіксованого інтервалу шляху (наприклад 10м) датчик швидкості формує сигнал переривання INT0 за яким з виходу таймера зчитується час проходження t_c фіксованої відстані. Таймер перезавантажується. Розраховується швидкість руху сівалки $V_c = 10 \cdot 3,6 / t_{км/год}$. З виходів першого і другого лічильників зчитується кількість N_{i1}, N_{i2} зафіксованих датчиками на виході висівних апаратів насінин за термін засівання ділянки довжиною 10мп. За цими даними розраховується середнє значення фактичної норми висіву за формулою

$$Q_{mf} = (N_{i1} + N_{i2}) / 2 \cdot 10. \quad (4.9)$$

Потім розраховується величина відносного відхилення поточної норми висіву Q_{mn} від фактичної Q_{mf} за формулою $\delta_n = |Q_{mn} - Q_{mf}| \cdot 100\% / Q_{mf}$ та величина відхилення попередньо заданої швидкості руху сівалки від зафіксованої $\Delta V_{ci} = |V_{ck} - V_{cn}|$. Якщо швидкість руху сівалки змінилася більше ніж на половину заданого інтервалу $\Delta V_{ci} \geq \Delta V_c / 2$, то визначається близька до фактичної Q_{mf} розрахункова швидкість V_{ci} за умови $Q_{mf} \leq |V_{ci} \pm \Delta V_c / 2|$ і заноситься в комірку поточної швидкості $V_{cn} = V_{ci}$. Якщо $\Delta V_{ci} < \Delta V_c / 2$, то процедура зміни швидкості обертання двигуна не виконується і програма виходить в режим чекання до завершення 10-тиметрового прогону. З виходу бортового комп'ютера зчитується значення заданої норми висіву. Якщо розрахована величина відносного відхилення поточної норми висіву Q_{mn} від фактичної Q_{mf} більше допустимої $\delta_i \geq \delta_s$, то формується коефіцієнт корегування $\alpha = Q_{mf} / Q_{mn}$ який передається до бортового комп'ютера. Якщо $\delta_i < \delta_s$, то коефіцієнт корекції не змінюється і програма виходить на процедуру зміни швидкості обертання валу двигуна за новим кодом. Далше цикли повторюються до завершення сівби.

В результаті дослідження шляхів створення програмно-адаптивної автоматизованої системи управління змінними нормами висіву просапних культур сівалкою СУПН-8 при сівбі за технологією точного землеробства було визначено: математичні моделі керування процесом зміни норми висіву;

можливість застосування двигуна постійного струму для керування швидкістю обертання валу висівного апарату; передавальну величину редуктора двигуна. Розроблена методика поглибленої дискретизації швидкостей обертання валу двигуна для кожної з заданих норм висіву при фіксованих значеннях кодів управління. Запропоновано систему автоматичного керування змінними нормами висіву з використання мотор-редуктора та ГПС-навігатора може бути практично реалізована і впроваджена на сівалці СУПН-8 або на подібній до неї.

5. РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ТА ШВИДКОДІЇ СИСТЕМИ

5.1. Розрахунок швидкодії системи.

Під надійністю системи розуміється властивість виконувати задані функції і зберігати з проходженням часу експлуатаційні показники в розрахункових межах при визначених регламентованих умовах експлуатації, технологічного обслуговування, ремонту, зберігання і транспортування.

Проблема надійності пов'язана з інтенсифікацією всього виробництва і окремих технологічних процесів з ускладненням електронних систем, режимів їх роботи і умов експлуатації, з підвищенням умов експлуатації, вимог якості дій, з розширенням і посиленням відповідальності функцій автоматики.

Основні характеристики надійності системи - безвідмовність і довговічність, ремонтпридатність і зберігаємість.

Безвідмовність - це здатність пристрою безперервно бути працездатним за деякий час напрацювання. Довговічність – здатність системи зберігати працездатність до досягнення граничного стану (з врахуванням необхідних перерв для технічного обслуговування та ремонту). Кількісно вона представляється напрацюванням, об'ємом проведеної роботи чи часом експлуатації до визначеного стану, встановленого в технічній документації.

Ремонтпридатність – це придатність пристрою до попередження і визначення причин виникнення його відмов, а також їх усунення шляхом технічного обслуговування і ремонту.

Зберігаємість – це спроможність пристрою безперервно зберігати справний і працездатний стан під час транспортування та тривалого зберігання.

Таким чином технічний ресурс дорівнює сумі всіх напрацювань пристрою від початку експлуатації чи після ремонту (поточного, середнього, капітального) до моменту досягнення граничного стану, а строк служби – календарної продовженості експлуатацій до появи обумовленого граничного стану. Інші показники надійності визначаються нижче в даному розділі.

Метою розрахунку надійності елементів (системи) автоматики є визначення працездатності пристрою і відпрацювання рекомендацій для проектування і виготовлення високонадійних електронних систем.

В практиці дослідження надійності розрахунки базуються на експоненціальному законі теорії ймовірності

$$P(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right], \quad (5.1)$$

де $P(t)$ - інтегральна функція розподілення ймовірності безвідмовної роботи;

$\lambda(t)$ - відома інтенсивність відмов елементів, яка в загальному випадку являється функцією часу t .

Враховуючи надзвичайні механізми відмов, з нормального часу використання елемента виключаються всі ранні відмови (систематичні відмови) і враховуються лише випадкові відмови і відмови в період нормальної експлуатації. Виходячи з цього, інтенсивність відмов $\lambda(t)$ визначається на основі збору статичних даних, причому її точність зростає зі збільшенням кількості досліджуваних елементів.

Виходячи з вищезказаного, можна вважати величину $\lambda(t)$ величиною постійною і підставити в рівняння (5.1) значення $\lambda = const$. При цьому отримаємо спрощене експоненційне рівняння

$$P(t) = \exp(-\lambda t). \quad (5.2)$$

Знаючи ймовірність безвідмовної роботи, можна вирахувати ймовірність відмов $g(t)$, яка пов'язана з ймовірністю безвідмовної роботи $P(t)$ слідує виразом

$$P(t) = 1 - g(t) \quad (5.3)$$

Ці величини є протилежними одна до одної і можуть змінювати свої значення в межах від 0 до 1.

Ймовірність відмови пристрою $g(t)$ – ймовірність того, що відмова за визначених умов експлуатації виникне за час t , що не перевищує заданого напрацювання

$$q(t) = Q(T < t) \quad (5.4)$$

Якщо функція $q(t)$ диференційована, тоді безвідмовність можна характеризувати також густиною розподілу напрацювання

$$W = \frac{dq(t)}{dt} = \frac{dp(t)}{dt} \quad (5.5)$$

Інтенсивність відмов Δt називають умовну густину ймовірності виникнення відмов пристрою, яка визначається для розглядуваного моменту часу. Напрацювання на практиці знаходять за статистичними даними за формулою

$$t_{cp} = \frac{\sum T_i}{n} \quad (5.6)$$

де n – число відмов пристрою за час обстеження;

T_i – час справжньої роботи пристрою між $(i-1)$ та (i) відмовами.

Середній час відновлення пристрою після i -го числа відмов.

Коефіцієнт готовності K_g характеризує готовність до дії пристрою у будь-який момент часу з урахуванням відновлення. За відсутністю обмежень в обслуговуванні:

$$K_g = \frac{T_{cp}}{T_{cp} + T_v} \quad (5.7)$$

Коефіцієнт оперативної готовності характеризує готовність до дії приладу з урахуванням відновлення і ймовірності безвідмовної роботи:

$$K_z = K_g \cdot P(t) \quad (5.8)$$

Надійність за раптовими експлуатаційними відмовами ($\Delta = \text{const}$) розраховують для періоду нормальної експлуатації, коли припрацювання пристрою вже закінчилось, а відмови від зносу і старіння ще не настали. В основі розрахунку лежить принцип визначення показників надійності системи за поуазниками надійності комплектуючих елементів.

Ймовірність безвідмовної роботи системи при цьому визначається за формулою:

$$P_n(t) = \frac{(-t)^n}{n!} \cdot e^{-t} \quad (5.9)$$

Останній вираз являє собою експоненціальний закон надійності .Під аргументом t розуміють інтервал ,для якого розраховується надійність . Функція розподілу напрацювання і густина розподілу напрацювання до відмови також мають експоненціальний характер :

$$q(t) = 1 - p(t) = 1 - e^{-t} \quad (5.10)$$

$$W(t) = -\ln p(t) = -\ln e^{-t} \quad (5.11)$$

Дані для розрахунку надійності апаратної частини зведемо у таблиці 5.1:

Таблиця 5.1 Дані для розрахунку надійності

№ п/п	Найменування	Кількість	Інтенсивність відмов () * 10 ⁻⁶ 1/год.		Інтенсивність відмов групи елементів () 10 ⁻⁶ 1/год.	
			min	max	Nj() min	Nj() max
1.	Транзистори	3	0.7	4	0.7	4
2.	Резистори	19	0.3	1.3	5.7	24.7
3.	Конденсатори	8	0.14	1.8	1.12	14.4
4.	Діоди	7	0.2	0.3	1.4	2.1
5.	Мікросхеми	21	0.01	0.1	0.21	2.1
6.	З'єднання пайкою	876	0.01	0.1	8.76	87.6
7.	Роз'єми	4	0.05	0.1	0.1	0.2

Інтенсивність відмов пристрою як системи визначаємо за формулою :

$$C_{\max} = Nj \cdot j_{\max} \quad (5.12)$$

де Nj - кількість елементів даного типу .

$$C_{\max} = Nj \cdot j_{\max} = (1 \cdot 4 + 19 \cdot 1.3 + 8 \cdot 1.8 + 21 \times \\ \times 0.1 + 876 \cdot 0.1 + 2 \cdot 0.1) \cdot 10^{-6} = 280 \cdot 10^{-6} (1/\text{год})$$

Середній час безвідмовної роботи пристрою знаходимо за формулою :

$$T_{oc \min} = \frac{1}{c \max} = 3162 (\text{год})$$

Ймовірність безвідмовної роботи пристрою :

$$P_{\min}(t) = e^{-t/T_{oc \min}} = e^{-3,05 \cdot 10^{-4} t}$$

Будуємо графік залежності безвідмовної роботи пристрою

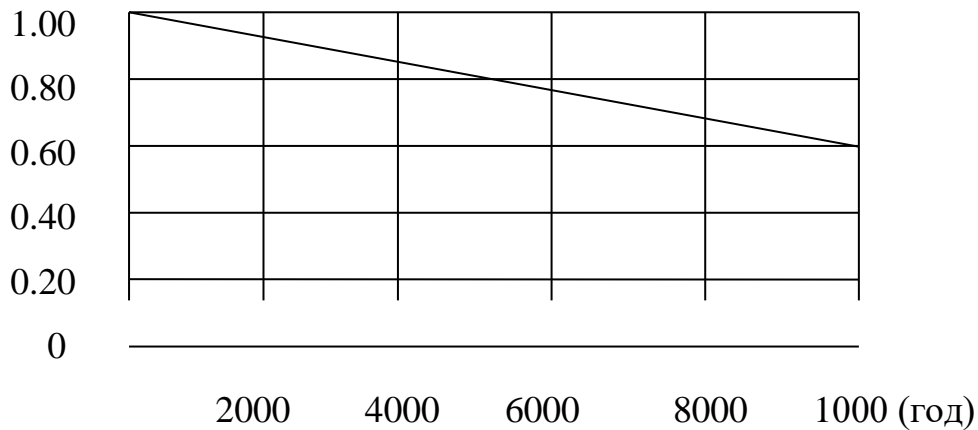


Рисунок 5.1 - Графік залежності безвідмовної роботи пристрою

5.2. Розрахунок надійності системи

При роботі системи сучасний ПК знаходиться режимі пасивної частини. Він обробляє інформацію в реальному часі в процесі одержання її з датчику. При цьому час між одержанням нових порцій інформації (чи обробки одержаної стрічки) складає 200 мкс. Таким чином система повинна проводити повний аналіз стрічки за цей час. Проведемо розрахунок часу, що необхідний для обробки однієї стрічки в ПК .

Цикл обробки стрічки складається з :

- програмування контролеру на прийняття наступної стрічки інформації;
- копіювання одержаної стрічки в область обміну ;
- циклічної обробки кожного об'єкту в яку входять:
 - а) одержання адреси структури інформації , що описує об'єкт;

- б) визначення координати об'єкту в стрічці ;
- в) занесення інформації про об'єкт в структуру даних в пам'яті ;
- г) очікування приходу наступної стрічки від датчика .

Визначення часу на операції обробки даних для мікроконтролера з тактовою частотою 20 МГц .

Програмування контролеру 10 мкс.

Копіювання одержаної стрічки – 5 мкс .

Циклічна обробка об'єктів – 140 мкс .

Час очікування наступної стрічки складає таким чином 35 мкс і є вільним часом в системі. Він використовується для проведення статистичних розрахунків при роботі в режимі реального часу .

Проведені розрахунки підтверджують працездатність системи

ВИСНОВКИ

Технологія точного землеробства вимагає не лише стабілізації, а й безперебійної зміни норми висіву на різних ділянках поля залежно від їхніх агрохімічних та фізико-механічних властивостей. Забезпечити це без локально-орієнтованого автоматизованого керування змінними нормами висіву неможливо.

Визначено, що швидкість обертання валу висівного апарату є основним фактором, що впливає на зміну норми висіву в сівалці СУПН-8.

Існуючий механічний зв'язок між приводним колесом сівалки та висівним апаратом (який реалізує принцип автоматичного регулювання без зворотного зв'язку) задовольняє класичне землеробство, але не дозволяє реалізувати періодичну зміну норми висіву, необхідну для точного землеробства. Цей процес автоматизовано шляхом розробки мікропроцесорної системи.

Для обертання валу висівних апаратів запропоновано використовувати двигуни постійного струму типу BG 45x15 PI з редукторами (черв'ячним або планетарним), встановлюючи по одному двигуну на кожну з двох незалежних секцій сівалки СУПН-89.

Розроблено структурну схему системи, яка включає: бортовий комп'ютер з дисплеєм; ГСП-приймач; технологічну карту-завдання; датчики швидкості руху сівалки; датчик включення сівалки; ємнісні датчики зерна в потоці; двигуни постійного струму з редукторами та мікропроцесорний блок керування. Визначено математичні моделі керування процесом зміни норми висіву, що пов'язують задану норму висіву (кг/га), швидкість руху сівалки (V , км/год) та кутову швидкість обертання валу висівного апарата (w , рад/с).

На основі розрахунків для різних просапних культур (сорго, соняшник, соя, кукурудза) і граничних швидкостей руху сівалки (мінімальної та максимальної), визначено, що для забезпечення необхідного діапазону норм висіву та швидкостей обертання, двигун BG 45x15 PI має бути укомплектований редуктором з передавальною величиною 8:113. Більш висока передавальна

величина призведе до виходу швидкості обертання ротора двигуна за допустимі межі (наприклад, для сорго)¹⁴.

Розроблено методику поглибленої дискретизації швидкостей обертання ротора двигуна для кожної заданої норми висіву при фіксованих кодах

Розроблено механізм корекції, де коефіцієнт корекції швидкості передається від блока керування до бортового комп'ютера у випадку значного відхилення поточної норми висіву від фактичної.

Запропонована система автоматичного керування змінними нормами висіву з використанням мотор-редуктора та ГПС-навігатора може бути практично реалізована та впроваджена на сівалці СУПН-8 або подібній. Вона забезпечує необхідну адаптивність процесу висіву до умов точного землеробства за рахунок інтеграції програмного керування (бортовий комп'ютер), мікропроцесорної обробки (блок керування) та електромеханічних виконавчих механізмів (двигуни постійного струму з редукторами).

Розглянуті заходи з охорони праці.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Руденко В.П. Полтавская технологія посева. Посobie для агрономов, инженеров с/х производства, конструкторов. – Полтава: ООО «Копи-Центр», 2013, 54с.
2. 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. наук. - техн. збірник. - 2008. - Вип. 38. – С. 288-293.
3. Цифровий ресурс - <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/23338/1/14-80-84.pdf>
4. Агуров П. В. Интерфейсы USB. Практика использования и программирования. – СПб.: БХВ / Агуров П. В. – Петербург, 2004. – 576с.
5. Агуров П.В. Последовательные интерфейсы ПК. Практика программирования - СПб.: БХВ / Агуров П. В.– Петербург, 2004. – 496с.
6. Аніскевич Л. В. Моделювання адаптивних технологічних процесів місцевизначеного землеробства //Звіт про НДР НАУ, №0103U005909 / Аніскевич Л. В., Войтюк Д. Г. – Київ, 2007. – 65с.
7. Аніскевич Л. В. Комплексна навігаційна система машино-тракторного агрегату для технологій точного землеробства / Аніскевич Л. В. //Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвідомчий наук.- техн. збірник. - Кіровоград: КНТУ. - Вип. 36, 2006. – С. 3-12.
8. Белов А. В. Создаём устройства на микроконтроллерах / Белов А. В. – СПб: Наука и Техника, 2007. – 304с.
9. Бойко В. І. Основи схемотехніки електронних схем: підручник / Бойко В. І., Гурій А. М., Жуйков В. Я. та ін. – К.: Вища шк., 2004. – 527 с.
10. Бродин В. В. Системы на микроконтроллерах и БИС программируемой логики / Бродин В. В., Калинин А. В. – М.: ЭКОМ, 2002. –

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

12. Легкодух І. Аналітичний огляд посівної техніки / Легкодух І., Павленко С., Шпильовий Ю. // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: зб. наук. праць, УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого – Дослідницьке, 2009. – Вип. 13 (27), кн. 1. –С. 221-229.

13. Пархоменко М. Д. Шляхи створення стендів для оцінки параметрів зернового потоку / Пархоменко М. Д. // Проблеми розробки, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: зб-к наук. праць. – Кіровоград: КІСМ, 1997. – С.164-166.

14. 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: загальнодержавний міжвідомчий наук. - техн. збірник., 2008. - Вип. 38 – С. 288-293.

15. Пархоменко М. Д. Формування бінарного коду зображень при реєстрації неупорядкованого потоку дискретних об'єктів / Пархоменко М. Д., Пархоменко Ю. М. //Труды IX Международной научно-практической конференции “Системы и средства передачи и обработки информации” – Черкассы: ЧГТУ, 2005. – С. 96-98.

16. 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. – Кіровоград: КДТУ, 2004. – Вип. 34. – С. 152-158.

17. Пархоменко Ю. М. Дослідження підходів до реалізації пристрою

реєстрації та ідентифікації зернового потоку / Пархоменко Ю. М. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвідом. наук. техн. збірник. – Кіровоград КНТУ, 2007. - Вип. 37, – с. 126-131.

18. Татаров А. В. Автоматизація контролю, діагностики та вимірювань параметрів процесу висіву універсального висіваючого апарата: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Татаров А. В. - Кіровоград, 1997.-20с.

19. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підруч. 3-є вид., перероб і доп. Львів : УАД, 2006. 336 с.

20. Босов Є. П., Жесан Р. В., Каліч В. М., Голик О. П., Зубенко В. О. Охорона праці при проектуванні систем автоматизації виробництва : навч. посіб. 2-е вид., перероб. і доп. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. 208 с.

21. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М., Туряб Л. В., Лико Х. І. Практикум з охорони праці. Львів : Афіша, 2000. 352 с.

22. Конституція України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 20.10.2024).

23. Про охорону праці : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2694-12#Text> (дата звернення: 03.11.2024).

24. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/39/95-%D0%B2%D1%80> (дата звернення 18.10.2024).

25. Основи законодавства України про охорону здоров'я : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2801-12#Text> (дата звернення 18.11.2024).

26. Про систему громадського здоров'я : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2573-20#n840> (дата звернення 11.11.2024).

27. Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1105-14> (дата звернення 25.10.2024).

28. Кодекс цивільного захисту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/5403-17#Text> (дата звернення: 11.10.2024).
29. Кодекс законів про працю України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/322-08#Text> (дата звернення: 11.10.2024).
30. Правила улаштування електроустановок : вид. офіц. Київ : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
31. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Від 25.07.2006. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06#Text> (дата звернення: 02.11.2024).
32. ДСТУ 2293:2014 Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. [на заміну ДСТУ 2293-99; чинний від 01.05.2014]. URL: http://web.kpi.kharkov.ua/safetyofliving/wp-content/uploads/sites/171/2017/10/dstu_2293_2014.pdf (дата звернення: 13.11.2024).
33. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві : НПАОП 01.0-1.02-18 від 29.08.2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1090-18#Text> (дата звернення: 19.10.2025).
34. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) від 09.01.1998. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text> (дата звернення: 19.10.2025).
35. ДСТУ EN ISO 4254-1:2016 (EN ISO 4254-1:2015, IDT; ISO 4254-1:2013, IDT) Сільськогосподарські машини. Вимоги щодо безпеки. Частина 1. Загальні вимоги. [На заміну ДСТУ EN ISO 4254-1:2015 (EN ISO 4254-1:2013, IDT) та ДСТУ EN ISO 4254-1:2016 (EN ISO 4254-1:2015, IDT; ISO 4254-1:2013, IDT) чинний від 20.07.2016]. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/silskogospodarski_mashini_vimogi_schodo_bezpeki_chastina_1..pdf (дата звернення: 19.10.2025).
36. Охорона праці в галузі сільського господарства : інтеракт. матеріали, дидакт. матеріали // vseosvita.ua : веб-сайт. URL: <https://vseosvita.ua/library/ohorona-praci-v-galuzi-silskogo-gospodarstva-264995.html> (дата звернення: 22.10.2025).

37. Пістун І. П., Березовецький А. П., Березовецький С. А. Охорона праці в галузі сільського господарства (рослинництво) : навч. посіб. Суми : Університетська книга, 2009. 368 с.

