

УДК 631.315: 629.783: 525

В.Й. ЛОБОВ, канд. техн. наук, доц., І.І. ДУБОВИК, аспірант
Криворізький національний університет

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ СІВАЛКОЮ

Запропонована автоматизована система керування для реалізації технології точної сівби просапних культур і внесення добрив, яка оперує значеннями дійсного стану орного поля і посівної борозни, - вологістю та температурою ґрунтів, за допомогою інфрачервоної термографії.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. У теперішній час в Україні інтенсивно розвивається сільське господарство і агропромисловий комплекс. Разом з цим, виникає потреба впровадження нових технологій, що дозволяють поліпшити якість виробленої продукції та знизити витрати на виробництво за рахунок раціонального використання сільськогосподарських машин та агрегатів. У зв'язку з цим, актуальною стає проблема зменшення витрат при висіві насіння. Технологічні та технічні рішення розробників спрямовані на підвищення точності висіву і забезпечення максимальної польової схожості насіння з урахуванням неоднорідних властивостей і фізико-механічних параметрів (щільність ґрунту, її аерація, шпаруватість і вологість) ґрунту на довжині гону, мінімальні витрати рідини, яка удобрює ґрунт, а також оптимальну рівномірність розміщення насіння в борозні та рядках.

Аналіз досліджень та публікацій. Відомі способи і пристрої для посіву насіння з гідравлічним витісненням і зволоженням насіння, наступним нерегульованим ущільненням і подрібненням ґрунту [1-4], а також ці питання розглядаються у патентах DE3507570A, EP0801885A, WO98/46065A, WO96/17279A, JP01319878A, JP03012713A, US6278918B, US6285930B, US6385515B та US6490539B.

Вирішенням подібних проблем протягом декількох років займаються західні країни, такі як США, Канада, Німеччина й інші.

Ці відомі пристрої призначені для керування сільськогосподарською технікою.

При недостатці опадів і при посушливій погоді відсутність контролю за температурою і вологістю орного поля та посівної борозни ґрунту часто значно перевищує науково обґрунтовану глибину посіву та загортання насіння, що вимагає перенесення строків сівби, або висівання насіння на ризик в сухий ґрунт.

Все це у подальшому не гарантує сходів і урожаю вирощуваних культур. Ці системи не можуть використовуватися при використанні систем точного землеробства для сівби просапних культур і одночасного внесення активованих добрив і стимуляторів росту. Тому відомі методи й пристрої були відкинуті.

Мета даної роботи. На інтенсивний розвиток кореневої системи, у значній мірі, впливають температурний режим, потрібний рівень вологості та щільність ґрунту, як посівної борозни, так і орного поля, тому запропонована технологія висіву зернових культур, що заснована на застосуванні автоматизованої сівалки, яка включає формування посівної борозни і висів у неї насіння з одночасним вимірюванням вологості ґрунту на глибині висіву насіння, закриття насіння в борозні ґрунтом, подальше ущільнення і шлейфування.

Викладення матеріалу та результати. Поставлена задача підвищення ефективності сівби просапних культур вирішується за рахунок визначення та врахування дійсних значень температури та вологості ґрунту борозни та орного поля за допомогою інфрачервоної термографії.

Все це дозволяє рівномірно розподіляти насіння в рядку по довжині гону, зменшуючи пропуски висадки насіння і забезпечуючи найкращі умови для його проростання.

Автоматизована серійна сівалка [5,6] призначена для посіву насіння просапних культур і внесення добрив, та має у своєму складі: висівний апарат; пристрій, який відводить грудки, на незалежній підвісці; сошник; передній та задній котки, що накочуються і пристрій, який виштовхує насіння.

На рис. 1 схематично представлена блок-схема підключення датчиків, елементів і робочих органів сівалки до контролера керування.

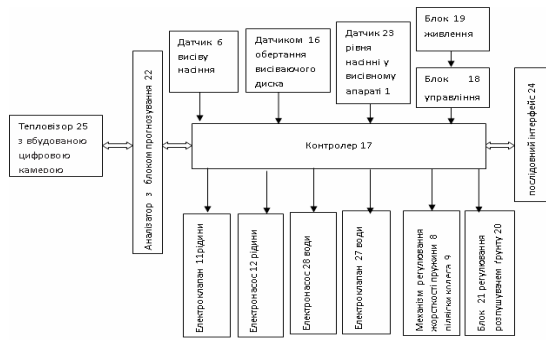


Рис. 1 - Блок-схема підключення датчиків, елементів і робочих органів сівалки до контролера керування

Прийняті наступні позначення пристроїв: контролер 17, який запрограмований на автоматичне керування сівалкою; датчики: 16 - обертання висівального диска і 23 - рівня насіння та блоки: 18 - управління і 19 – живлення. Контролер 17 збирає інформацію з датчиків висіву і рівня насіння, обертання висівального диска, аналізатора 22 і блока 18 управління, за допомогою якого вводяться норма висіву насіння, бажані

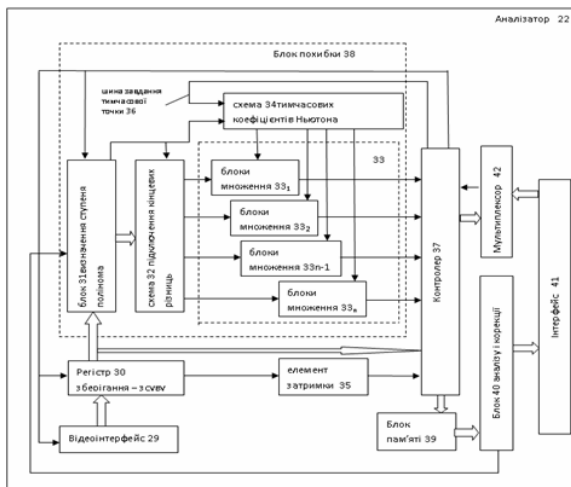
параметри ґрунтів орного поля і посівної борозни, такі як: температура, вологість, щільність тощо.

Аналізатор призначений для обробки цифрової інформації, яка надається тепловізором 25 по командам контролера 17.

Послідовний інтерфейс 24 пов'язує роботу контролера 17 та інші технологічні об'єкти. Тепловізор 25 є безконтактним пристроєм для визначення реального стану орного поля і посівної борозни та виміру у реальному часі їх параметрів: температури і вологості одночасно у декількох точках.

На рис. 2 надано блоксхему аналізатора, що містить відеоінтерфейс 29, який використовується для зв'язку з тепловізором 25, регістр 30 зберігання-зсуву, блоки: 31 - визначення ступеня полінома, 38 - похибки, 39 - пам'яті і 40 - аналізу і корекції, контролер аналізатора 37, мультиплексор 42, інтерфейс 41 і елемент затримки 35.

Рис. 2 - Блок-схема аналізатора



Регістр 30 зберігання-зсуву призначений для тимчасового зберігання цифрової інформації, яка подається через відеоінтерфейс 29, у вигляді матриць пікселів про реальний стан орного поля і посівної борозни та їх значення температури і вологості. До блоку похибки 38 входять блоки 31 визначення ступеня полінома і множення 33, схеми 34 - тимчасових коефіцієнтів Ньютона з шиною 36 - завдання тимчасової точки на яку необхідно здійснити прогноз похибки та 30 - підключення кінцевих різниць. Використання блоку похибки 38 дозволяє підвищити точність вимірювання параметрів за рахунок обчислення помилок, які виникають при переміщенні сівалки. Вхід елемента затримки 35 з'єднаний з останнім осередком регістра 30 зберігання-зсуву для затримання цим елементом на деякий інтервал часу, необхідному блоку 31 ступеня полінома і результатів виконання операцій перемноження блоками 33. Тимчасові коефіцієнти Ньютона записуються і зберігаються в схемі 34. Результат множення кінцевих різниць з тимчасовими коефіцієнтами Ньютона з блоку множення 33 одночасно з останнім значенням подаються на вхід контролера 37, на виході якого формується сигнал, що визначає прогнозоване значення вимірюваного сигналу з використанням формули Ньютона, яка екстраполюється. Прогнозоване значення вимірюваного сигналу з виходу контролера аналізатора по закінченні циклу записується в блок пам'яті. Блок аналізу і корекції виробляє обчислення і вносить корекцію повної помилки. В даному блоці відбувається аналіз величини та знаку помилки, і відповідно до цього здійснюється вибір моделі визначення помилки, тобто ступеня полінома в блоці визначення ступеня полінома.

На підставі даних блоку аналізу і корекції контролер 37 розраховує прогнозоване значення параметра на задане число кроків по визначеній моделі помилки, яка обчислюється блоком визначення ступеня полінома по сигналу контролера аналізатора. Вимірювані параметри пода-

ються у контролер 37, де вони обробляються з урахуванням помилок. Ці параметри надходять через інтерфейс у контролер сівалки.

Перед сівбою роблять декілька знімків цифровою камерою і встановлюють по ним дійсний стан орного поля. Потім нарізують сошником посівну борозну і виконують тепловізором пробну інфрачервону термографію, по якій визначають правильність налаштувань тепловізора і перевіряють відповідність температурного поля поверхні ґрунтів орного поля і борозни в зоні висіву насіння за допомогою еталонних стандартних пристроїв, наприклад, вимірювачем вологості і температури типу DT-616СТ. При необхідності вносяться відповідні коригування. Коректують похибки вимірювань після тестування і встановлюють на блоці управління значення оптимальної вологості ґрунту, наприклад, 19%. Засипають у насінневі ящик насіння, яке поступає у висівний апарат, в одну ємність заливають рідину, наприклад, активовані добрива і стимулятори росту, а у іншу - заливають воду. При пробному проїзді сівалки тракторист перевіряє роботу датчиків обертання диска і висіву насіння.

Як відомо, температура ґрунтів орного поля і посівної борозни залежить від багатьох факторів, наприклад від географічного положення і висоти місця над рівнем моря, експозиції, фізико-механічних параметрів ґрунту, тощо. На температуру ґрунту в значній мірі впливають також і властивості самого ґрунту: механічний склад, фізичні властивості, вологість, а також якість обробки (стан поверхні), рослинність на ній і т.д. Тепловізор, який є вимірюючим пристроєм й встановлений на сівалці, "переводить" у видиму область спектра теплове випромінювання орного шару поля і посівної борозни. Для реалізації запропонованого способу можливо використовувати тепловізор, наприклад, testo 875-2, температурна чутливість якого складає 0,03С. Це означає, що одночасно вимірюючи температуру в 76800 точках, прилад відображає різницю температур в 0,03 градуси між сусідніми пікселями.

Інфрачервоне випромінювання являє собою електромагнітне випромінювання в діапазоні довжин хвиль 0,8-14 мкм, які не можуть бути сприйняті людським оком. Тепловізор - прилад, здатний вимірювати енергію інфрачервоного випромінювання, визначаючи температурне поле ділянок поверхні ґрунту в реальному часі, яке залежить від умов на поверхні і визначається властивостями ґрунту. Чим вище температура досліджуваного ґрунту, тим інтенсивніше його випромінювання. Розподіл температури відображається на дисплеї (або в пам'яті) тепловізора як колірне поле, де температурам відповідають певні кольори.

Відеосигнал з тепловізора подається для обробки у аналізатор, в якому уточнюються значення виміряних температур. При цьому тепловізор використовується, не тільки як прилад для безконтактного виміру температури орного поля та борозни, але й для вимірювання вологості ґрунту на їх поверхнях, що дозволяє не тільки відображати місця з ризиком утворення вологи, але і безпосередньо вимірювати вологість на поверхні з відображенням значень на дисплеї тепловізора, або передавати ці параметри контролеру 17 для керування. При використанні тепловізора, ця інформація записується в пам'ять і знімається через канал відеосигналу і подається для обробки у аналізатор.

По визначених значеннях вологості, контролер сівалки обчислює щільність ґрунту в посівній борозні. Для цього в пам'яті контролера зберігається таблиця відповідності вологості ґрунту до його щільності. Якщо обчислена щільність значною мірою відрізняється від заданої трактористом перед початком сівби, то блок регулювання розпушувача ґрунту виконує розпушення ґрунту у борозні. Цей процес повторюється до тих пір, поки щільність не буде відповідати заданому значенню.

Відомо, що структурні ґрунти швидше прогриваються навесні, ніж безструктурні, а температура орного горизонту у весняний період визначає умови проростання сільськогосподарських культур. Тому використання тепловізора у парі з цифровою камерою, аналізатором та контролером сівалки із програмним забезпеченням, реалізуючи запропоновану технологію сівби насіння, дозволяє в режимі реального масштабу часу керувати подачею насіння у борозни. При цьому враховуються задані трактористом перед виконанням посівних робіт значення норми висіву насіння, температури, вологості і щільності ґрунтів, які вводяться через блок управління. Ці дані зрівнюються контролером сівалки з вимірними параметрами. Якщо вони є задовільними, то виконується посів насіння на потрібну глибину.

Використання аналізатора дозволяє підвищити точність вимірювання, яке досягається за рахунок обчислення повної помилки, яка визначається за формулою

$$P_{i,j} = \frac{P_{em} \pm \sqrt{D_m} \pm \sqrt{D_i}}{\sqrt{D_j}}, \quad (1)$$

де P_{em} - постійна складова помилки вимірювань; D_m - дисперсія помилки вимірювання, величина постійна, що залежить від числа вимірювань і кроків обчислень; D_i - дисперсія помилки вимірювання i -ї моделі, яка обчислюється для заданого числа вимірювань і числа кроків обчислень; D_j - дисперсія помилки вимірювання j -ї моделі, яка має постійне значення при заданому числі вимірювань і кроків обчислень, причому помилка прогнозу P_{em} визначається за формулою: $P_{em} = k_2 \sum_{i=1}^n b_i * y_i$, де k_2 - коефіцієнт зміщення; b - ваговий коефіцієнт, який має постійне значення і залежний від кількості вимірювань; y_i - виміряні значення параметра.

На підставі отриманих значень повного прогнозу вимірюваної величини здійснюються вибір і визначення ступеня полінома виразу, який апроксимується у блоці визначення ступеня полінома і виконується обчислення прогнозованого параметра. Попередня оцінка прогнозу перед обчисленням значення параметра (температури, вологості) дозволяє скорегувати постійну і повну помилки виміру, що забезпечує підвищення точності.

Аналізатор працює таким чином. З другого виходу контролер аналізатора по шині подає керуючий сигнал на відеоінтерфейс і реєстр-зсуву, у який записуються n вузлових значень дискретного сигналу $y_0 \dots y_n$ з матриці пікселів тепловізора, які подаються через відеоінтерфейс. Потім ці значення по сигналу з другого керуючого виходу контролера аналізатора переписуються в блок визначення ступеня полінома, в якому ступінь полінома обчислюється на основі застосування методу кінцевих різниць. Кінцеві різниці визначаються так

$$\begin{aligned} \Delta y_n &= y_n - y_{n-1}; \\ \Delta^2 y_n &= \Delta y_n - \Delta y_{n-1}; \\ \Delta^3 y_n &= \Delta^2 y_n - \Delta^2 y_{n-1}; \\ &\dots \\ \Delta^k y_n &= \Delta^{k-1} y_n - \Delta^{k-1} y_{n-1} \end{aligned} \quad (2)$$

Після визначення блоком ступеня полінома з його другого додаткового виходу подається сигнал на схему тимчасових коефіцієнтів Ньютона для підключення необхідної кількості коефіцієнтів x_n і на схему підключення кінцевих різниць для підключення необхідної кількості значень різниць $\Delta^k y_n$. Одночасно з подачею сигналу, що визначає значення ступеня полінома, на схему тимчасових коефіцієнтів Ньютона подається тимчасова точка прогнозу h_1 . Якщо, наприклад, ступінь полінома дорівнює двом, тоді відбувається підключення останніх двох значень кінцевих різниць Δy_{n-1} і $\Delta^2 y_{n-2}$, які одночасно з тимчасовими коефіцієнтами Ньютона x_1 і x_2 подаються на блоки множення n і $n-1$. Тимчасові коефіцієнти Ньютона визначаються заздалегідь за алгоритмом, відповідному наступною узагальненою формулою

$$x_k = \frac{1}{k!} \prod_{i=1}^{n-k} (t - 1 + i), \quad (3)$$

де $t = \frac{h_1 - y_n}{\Delta t}$ - число кроків; Δt - інтервал вимірювання дискретних значень сигналу; k - ступінь полінома; h_1 - тимчасова точка, на яку необхідно отримати значення; t_n - момент часу.

Тимчасові коефіцієнти Ньютона x_k записуються і зберігаються в схемі тимчасових коефіцієнтів Ньютона. Потім результат множення кінцевих різниць з тимчасовими коефіцієнтами Ньютона з блоку множення одночасно з останнім значенням y_n , подаються на вхід контролера сівалки, який обчислює уточнене значення параметру з використанням екстраполяції формули Ньютона

$$R_y = y_n + x_1 \Delta y_{n-1} + x_2 \Delta^2 y_{n-2} + \dots + x_n \Delta^n y_0, \quad (4)$$

де x_1, x_2, \dots, x_n - тимчасові коефіцієнти Ньютона; y_0, y_1, \dots, y_n - дискретні значення сигналу, отримані в певні моменти часу контролю; $\Delta y_{n-1}, \Delta^2 y_{n-2}, \dots, \Delta^n y_0$ - кінцеві різниці.

Уточнене значення параметру R_y з третього виходу контролера аналізатора записується в блок пам'яті і одночасно переноситься у блок аналізу і корекції, який обчислює корекцію повної помилки параметру $P_{i,j}$ за виразом (1). В даному блоці відбувається аналіз величини та знаку помилки, і відповідно до цього здійснюється вибір значення параметру, тобто визначається ступінь полінома. Якщо

$$P_i = \frac{P_{em} \pm \sqrt{D_m} \pm \sqrt{D_i}}{\sqrt{D_j}} < 1, \quad (5)$$

то контролер аналізатора видає сигнал на обчислення по i -му поліному. Якщо:

$$\Pi_j = \frac{D_m \pm \sqrt{D_m^2 - D_1}}{\sqrt{D_j}} > 1, \quad (6)$$

то контролер аналізатора видає сигнал на обчислення по j -му поліному.

На підставі даних з блоку аналізу і корекції, контролер аналізатора розраховує прогнозоване значення параметра на задане число кроків по узагальненій моделі прогнозування, яка визначається згідно виразу (2), по сигналу контролера аналізатора, зрівнюючи з даними регістру-зсуву. Результати надходять на інтерфейс. Через цей інтерфейс, контролер сівалки подає управляючі сигнали на інформаційні входи мультимплексора на вимір параметрів: температури або вологості ґрунтів орного поля або посівної борозни. При цьому контролер аналізатора формує відповідні адреси, подаючи коди на адресні входи мультимплексора, в результаті одна із команд потрапляє на вхід контролера для виконання.

Висновки. При реалізації аналізатора в якості контролерів керування можливо використувати програмовані мікропроцесорні контролери ATmega 128 (фірми Atmel, США), а в якості датчика рівня насіння у висівному апараті - безконтактний ультразвуковий датчик для вимірювання рівня UR30 від німецької компанії SICK AG. Запропонована технологія сівби просапних культур і внесення добрив дозволить підвищити врожайність висіяного насіння за рахунок більш якісного розподілу насіння і добрив у ґрунті та дозволяє виконувати сівбу насіння при нестачі продуктивної вологи на глибині загортання насіння, в агротехнічні строки, у вологий ґрунт на глибину, що гарантує оптимальну густоту сходів.

Список літератури

1. Авторское свидетельство СССР № 581900, МПК А01С 7/04.
2. Авторское свидетельство СССР № 1028264, МПК А01С 7/04.
3. **Басин В.С., Брей В.В., Погорелый Л.В.** и др. Машины для точного посева пропашных культур: конструирование и расчет. Под ред. **Л.В. Погорелого**. - К.: Техніка, 1987, с.130.
4. Авторское свидетельство СССР № 829009, МПК А01С 7/04
5. Пат. на корисну модель № 84931 Україна, МПК 2013.01, А01С 7/00. Пристрій для висіву насіння просапних культур і внесення добрив/**Лобов В.Й., Назаренко В.М., Дубовик І.І.**; заявл. 26.03.2013, опубл. 11.11.2013, Бюл.№ 21.
6. Пат. на корисну модель № 84925 Україна, МПК 2013.01, А01С 7/00. Спосіб сівби просапних культур і внесення добрив/**Лобов В.Й., Назаренко В.М., Дубовик І.І.**; заявл.26.03.2013, опубл.11.11.2013, Бюл.№ 21.

Рукопись поступила в редакцию 19.03.14

УДК 621.926: 34.16

В.С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., А.В. ПИКИЛЬНЯК, аспирант
Н.В. МОРКУН, Н.С. ПОДГОРОДЕЦКИЙ, кандидаты техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ МЕТОДОМ РАССЛОЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ (K-SPACE)

Приведено описание метода, позволяющего более точно оценивать параметры ультразвуковых волн, распространяющихся в случайно- неоднородных гетерогенных средах, включающих твердую, жидкую и газовую фазы.

Ключевые слова: фазированная решетка, ультразвук, флотация, пульпа, газовая фаза, управление.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Для осуществления контроля основных технологических параметров и автоматического управления технологическим процессом обогащения полезных ископаемых, важной задачей является контроль параметров сложных гетерогенных сред, включающих твердую, жидкую и газовую фазы.

Анализ исследований и публикаций. Ультразвуковые колебания представляют собой периодические возмущения состояния упругой среды, характеризующиеся изменением ее физических свойств, происходящим синхронно с возмущением. При распространении ультразвука колебания локального объема среды передаются соседним участкам посредством упругих волн,