

УДК 631.315:629.783:525

АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВИСІВНОЇ СИСТЕМИ СІВАЛКИ В ТЕХНОЛОГІЯХ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Л. В. Аніскевич, Ф. М. Захарін

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція авторів: l-anisk@meta.ua.

Історія статті: отримано – вересень 2018, акцептовано – листопад 2018.

Бібл. 5, рис. 2, табл. 1.

Анотація. Проведено аналіз можливостей високоточного дозування технологічних матеріалів в технологіях точного землеробства з використанням алгоритму оптимального слідування по Красовському. Управління процесом відбувається на підставі картограм заданих норм внесення по біжучим оцінкам координат місцезнаходження МТА в полі та курсу його руху, а також шляхом реєстрації інформації про інтенсивність вихідного потоку ТМ і швидкість руху МТА в полі.

Ключові слова: дозування, технологічні матеріали, оптимальне управління.

підсилення і, як результат, до недозвального порушення процесу виконання поставленого завдання. Можуть змінюватися такі динамічні параметри, як стала часу, коефіцієнт затухання системи тощо.

Мета досліджень

Необхідно виконувати вимоги оптимального управління режимами функціонування посівних машин.

Результати досліджень

Розглянемо можливість застосування алгоритму оптимального слідування по Красовському О.А. [1] на прикладі функціонування пневматичної висівної системи зернової сівалки для технологій ТЗ. Блок-схема керування нормою висіву насіння представлена на рис. 1.

Постановка проблеми

Однією з необхідних умов отримання високих урожаїв є забезпечення високоякісної сівби сільськогосподарських культур. Сучасні технології сівби передбачають ретельну підготовку ґрунту до сівби, висів насіння з високими кондиційними характеристиками, внесення підвищених доз добрив, застосування вискоєфективних гербіцидів, забезпечення вимог технологій точного землеробства (ТЗ). Останнє передбачає змінні норми висіву насіння по площі поля.

Аналіз останніх досліджень

Велику роль у формуванні високоточного розподілу насіння в ґрунті відіграє якість функціонування висівної системи сівалки.

Виконання механізованих технологічних операцій в полі характеризуються широким діапазоном перебігу різних збурень технічних систем – нерівностей поверхні поля, щільності ґрунту, змін температурних режимів функціонування систем тощо. Динамічні параметри, які характеризують стан технічних систем, при цьому також можуть змінюватись непередбаченим шляхом. Наприклад, забивання комірок висівного апарату приводить до зміни такого параметру системи, як коефіцієнт

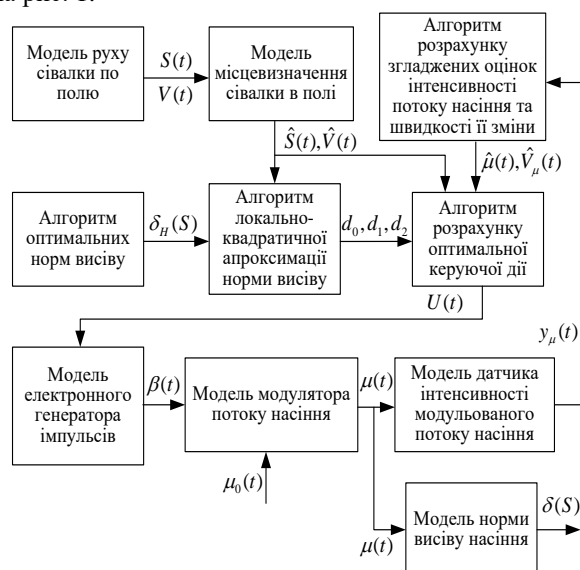


Рис. 1. Блок-схема системи оптимального керування інтенсивністю вихідного потоку насіння в одному з каналів висівної системи.

Модель динаміки процесу керування інтенсивністю потоку ТМ описується векторним диференціальним рівнянням виду:

$$\dot{\bar{x}} = A\bar{x} + BU(t) + \zeta(t), \quad (1)$$

$$\text{де } \bar{x}(t) = \begin{bmatrix} V_\mu(t) \\ \mu(t) \end{bmatrix}; A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & 0 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} b_{11} \\ 0 \end{bmatrix}; a_{11} = -\frac{2\xi}{T};$$

$$a_{12} = -\frac{1}{T^2}; a_{21} = 1; b_{11} = \frac{K}{T^2};$$

де T – стала часу, ξ – коефіцієнт затухання, K – коефіцієнт підсилення;

$\mu(t)$ – середня інтенсивність вихідного потоку насіння;

$$V_\mu(t) = \mu'(t);$$

де $U(t)$ – скалярна керуюча дія, що подається на вхід дозатора норми висіву насіння.

В оптимальному по Красовському О.О. алгоритмі слідкування прогнозована норма висіву:

$$\hat{\bar{x}}_3(\tau) = \begin{pmatrix} \frac{\partial \delta_n[\hat{S}(\tau)]}{\partial \hat{V}(t)} \hat{V}(t) \\ \delta_n[\hat{S}(\tau)] \hat{V}(t) \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де $\delta_n[\hat{S}(\tau)]$ – необхідна норма сівби;

$\hat{V}(t)$ – оцінка швидкості руху сівалки;

$\hat{S}(\tau) = \hat{V}(t)\tau$ – прогнозоване переміщення сівалки.

Слід зазначити, що якість виконання заданого режиму функціонування висівної системи певною мірою залежить від того, наскільки точно співпадають взяті з картограми-завдання значення заданих норм внесення ТМ з тими, що дійсно необхідні на кожний конкретний момент місцезнаходження МТА в полі. Залежить це від кроку періодизації даних в електронній цифровій картограмі-завданні і конкретних значень координат МТА в полі. Бажано уточнювати, за рахунок проведення операції апроксимації, цифрові дані, які вибираються з електронної картограми-завдання. Застосуємо локально-квадратичну апроксимацію, що дасть змогу отримувати дані з картограми-завдання точно для тих координат, де у що мить знаходиться МТА. Тоді, необхідну норму висіву δ_n можна апроксимувати квадратичною функцією виду

$$\delta_n[\hat{S}(\tau)] = d_0 + d_1\hat{S} + d_2\hat{S}^2, \quad (3)$$

де d_0, d_1, d_2 – коефіцієнти локально квадратичної апроксимації норми сівби.

Вираз (2) буде мати вигляд:

$$\hat{\bar{x}}_3(\tau) = \begin{pmatrix} C_1 + C_2\tau \\ C_0 + C_3\tau + C_4\tau^2 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

де $C_1 = d_1\hat{V}^2(t)$; $C_2 = 2d_2\hat{V}^3(t)$; $C_3 = d_1\hat{V}^2(t)$;

$$C_4 = d_2\hat{V}^3(t); C_0 = d_0\hat{V}(t);$$

Проведення оптимального керування інтенсивністю вихідного потоку ТМ (або потоку насіння в одному з каналів висівної системи, як для обраного прикладу) при роботі машини-реалізатора пов'язано з необхідністю отримання оцінок фактичної $\hat{\mu}(t)$ інтенсивності вихідного потоку ТМ (рис. 1) та швидкості зміни $\hat{V}_\mu(t)$ цієї інтенсивності.

Для моделі динаміки об'єкту керування виду (1) вирази для елементів перехідної матриці представляється можливим записати в наступній аналітичній формі:

– для випадку $\xi \neq 1$:

$$W_{11}(\tau) = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} [-\lambda_1 e^{\lambda_1 \tau} + \lambda_2 e^{\lambda_2 \tau}];$$

$$W_{12}(\tau) = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} [e^{\lambda_1 \tau} - e^{\lambda_2 \tau}]; \quad (5)$$

$$W_{21}(\tau) = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} [-e^{\lambda_1 \tau} + e^{\lambda_2 \tau}];$$

$$W_{22}(\tau) = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} [\lambda_2 e^{\lambda_1 \tau} + \lambda_1 e^{\lambda_2 \tau}],$$

$$\text{де } \lambda_1 = \frac{-\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}}{T}; \lambda_2 = \frac{-\xi - \sqrt{\xi^2 - 1}}{T};$$

для випадку $0 < \xi < 1$:

$$\lambda_1 = -a + ib; \lambda_2 = -a - ib; \quad (6)$$

де

$$a = \frac{\xi}{T}; b = \frac{\sqrt{1 - \xi^2}}{T};$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 = -2a = -\frac{2\xi}{T};$$

$$\lambda_1 \lambda_2 = a^2 + b^2 = \frac{1}{T^2};$$

$$\lambda_2 - \lambda_1 = -2ib = -\frac{2i\sqrt{1 - \xi^2}}{T}$$

$$(\lambda_2 - \lambda_1)^2 = -\frac{4(1 - \xi^2)}{T^2};$$

$$\cos \omega = \frac{1}{2}(e^{i\omega} + e^{-i\omega});$$

$$\sin \omega = \frac{1}{2i}(e^{i\omega} - e^{-i\omega}).$$

– для випадку $\xi = 1$:

$$W_{11}(\tau) = (1 - \frac{\tau}{T})e^{-\frac{\tau}{T}};$$

$$W_{12}(\tau) = -\frac{\tau}{T^2}e^{-\frac{\tau}{T}}; \quad (7)$$

$$W_{21}(\tau) = \tau e^{-\frac{\tau}{T}};$$

$$W_{22}(\tau) = (1 + \frac{\tau}{T})e^{-\frac{\tau}{T}}.$$

Вираз для оптимальної по Красовському О.А. керуючої дії представимо в наступному вигляді:

$$\begin{aligned}
 U_o(t) = & P_1(C, K, \xi, T, \Delta T, q_{11}, q_{22})\widehat{V}_\mu(t) + \\
 & P_2(C, K, \xi, T, \Delta T, q_{11}, q_{22})\widehat{\mu}(t) + \\
 & P_3(C, K, \xi, T, \Delta T, q_{11}, q_{22})d_0\widehat{V}(t) + \\
 & P_4(C, K, \xi, T, \Delta T, q_{11}, q_{22})d_1\widehat{V}^2(t) + \\
 & P_5(C, K, \xi, T, \Delta T, q_{11}, q_{22})d_2\widehat{V}^3(t).
 \end{aligned} \tag{8}$$

Параметри P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 визначаються за формулами:

$$\begin{aligned}
 P_1 = & -C \frac{K}{T^2} [q_{11}f_5(\xi, T, \Delta T) + q_{22}f_6(\xi, T, \Delta T)]; \\
 P_2 = & -C \frac{K}{T^2} [q_{11}f_1(\xi, T, \Delta T) + q_{22}f_2(\xi, T, \Delta T)]; \\
 P_3 = & C \frac{K}{T^2} [q_{22}d_0\widehat{V}(t)f_{08}(\xi, T, \Delta T)]; \\
 P_4 = & C \frac{K}{T^2} [q_{11}d_1\widehat{V}^2(t)f_{17}(\xi, T, \Delta T) + q_{22}d_1\widehat{V}^2(t)f_{38}(\xi, T, \Delta T)]; \\
 P_5 = & C \frac{K}{T^2} [q_{11}2d_2\widehat{V}^3(t)f_{27}(\xi, T, \Delta T) + q_{22}d_2\widehat{V}^3(t)f_{48}(\xi, T, \Delta T)],
 \end{aligned} \tag{9}$$

де $f_i(\xi, T, \Delta T)$ – аналітичні функції від параметрів $\xi, T, \Delta T$ (див. табл. 1);

$\widehat{\mu}(t), \widehat{V}_\mu(t)$ – оцінки біжучих значень $\mu(t)$ та $V_\mu(t)$;

\widehat{V} – оцінка швидкості руху МТА.

Як бачимо, вираз для оптимальної керуючої дії регулятора норми висіву базується на даних, що несуть в собі картограми заданих норм внесення ТМ по біжучим оцінкам кінематичних параметрів руху МТА та кута курсу, а також на даних з реєстрації інформації про інтенсивність вихідного потоку насіння і швидкості руху МТА та його координат в площі сільськогосподарського поля. Частота відновлення параметрів апроксимації може бути прийнята такою, що дорівнює частоті відновлення керуючої дії.

Наведена методика аналітичного конструювання оптимального по Красовському регулятора складена для лінійної математичної моделі. Для урахування нелінійних ефектів, зокрема, обмеження на величину і швидкість зміни керуючої дії, уточнені значення коефіцієнтів закону управління, що отримані, доцільно уточнити шляхом прямої чисельної оптимізації.

Задача чисельної оптимізації закону керування виду (8) (у даному випадку коефіцієнтів P_1, P_2, P_3, P_4, P_5) зводиться до наступної задачі нелінійного програмування:

$$\begin{aligned}
 \bar{P}_{opt} = & arg \min \sigma(\bar{P}) \\
 & P_{i \min} \leq P_i \leq P_{i \max}, i = 1, 2, 3, 4, 5
 \end{aligned} \tag{10}$$

де $\bar{P} = (P_1, P_2, P_3, P_4, P_5)^T$;

σ – середньоквадратична помилка реалізації картограми заданих норм внесення ТМ.

Значення динамічних параметрів системи (ξ, T, K) і характеристик датчика інтенсивності потоку ТМ вважаються зафіксованими.

Для вирішення задачі нелінійного програмування (10) скористуємось методом випадкового пошуку з самонавчанням [2, 3]. Особливість даного методу вирішення задачі нелінійного програмування складається у введенні до розгляду так званого вектору пам'яті \bar{W}_p , який визначає переважний напрямок випадкових кроків на кожному j -му кроці пошуку. Для цього використовується формула [4]:

$$\bar{W}_{pj} = \alpha \bar{W}_{p_{j-1}} - \beta_V \frac{\sigma(\bar{P}_j) - \sigma(\bar{P}_{j-1})}{\sigma(\bar{P}_{j-1})}, j = 2, 3, \dots \tag{11}$$

де α – коефіцієнт запам'ятовування ($0 < \alpha < 1$);

β_V – параметр швидкості навчання ($\beta_V > 0$);

$\bar{W}_p = (W_{p_1}, \dots, W_{p_n})^T, n = 5$ (для $j=1$ вектор-стовпець \bar{W}_{p_1} задається).

j – номер кроку пошуку умовного екстремуму критерію $\sigma(\bar{P})$.

Черговий крок пошуку вважається вдалим, коли значення критерію $\sigma(\bar{P})$ зменшується у порівнянні з досягнутим на попередньому кроці і при цьому не порушуються обмеження

$$P_{i \min} \leq P_i \leq P_{i \max}, i = 1, \dots, n.$$

Перехід до чергової точки простору значень змінних параметрів $P_i (i = 1, \dots, n)$, які оптимізуються, відбувається по формулі [4]:

$$P_i = \bar{P}_i + \lambda_i \cdot \Lambda \cdot \delta P_i, i = 1, \dots, n \tag{12}$$

де Λ – глобальний масштаб пошуку;

$\lambda_i, i = 1, \dots, n$ – індивідуальні масштабні коефіцієнти пошуку;

$\bar{P}_i, i = 1, \dots, n$ – значення параметрів, що оптимізуються і які отримані при останньому вдалому кроці оптимізації;

$\delta P_i, i = 1, \dots, n$ – нормовані значення компонент вектору-стовбця $\delta \bar{P}(\bar{W})$, що отриманий в результаті спеціального перетворення [4].

Після кожного вдалого кроку пошуку відбувається збільшення глобального масштабу Λ шляхом його перемноження на так званий коефіцієнт росту $t_r > 1$, а після невдалого кроку відбувається зменшення величини Λ шляхом ділення на коефіцієнт скидання $t_s > 1$.

В якості умови припинення процесу оптимізації [5] можна прийняти виконання таких умов як, наприклад:

- виконання заданої максимальної кількості кроків пошуку;
- досягнення заданого мінімуму співвідношення N_v / N , де N_v – кількість вдалих кроків, N – загальна кількість кроків пошуку.

Таблиця 1. Аналітичні вирази для функцій $f_i(\xi, T, \Delta T)$, $i \in I$.

Функція	при $\xi > 1$	при $0 < \xi < 1$	при $\xi = 1$
$f_1 = \int_0^{\square T} W_{11}(\tau)W_{12}(\tau)d\tau$	$\frac{-\lambda_1\lambda_2}{2(\lambda_2 - \lambda_1)^2}(e^{\lambda_1\Delta T} - e^{\lambda_2\Delta T})^2,$ $\partial e \lambda_1 = \frac{-\xi + \sqrt{\xi^2 + 1}}{T},$ $\lambda_2 = \frac{-\xi - \sqrt{\xi^2 + 1}}{T}$	$\frac{e^{-2d}}{4(1 - \xi^2)}(\cos 2\omega - 1),$ $\partial e d = \xi \frac{\Delta T}{T},$ $\omega = \frac{\Delta T}{T} \sqrt{1 - \xi^2}.$	$\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta T}{T} \right)^2 e^{-\frac{2\Delta T}{T}}$
$f_2 = \int_0^{\square T} W_{21}(\tau)W_{22}(\tau)d\tau$	$\frac{1}{2\lambda_1\lambda_2} - \frac{(\lambda_2 e^{\lambda_1\Delta T} - \lambda_1 e^{\lambda_2\Delta T})^2}{2\lambda_1\lambda_2(\lambda_2 - \lambda_1)^2}$	$\frac{T^2 - T^2 e^{-2d}}{2 - 4(1 - \xi^2)} [1 + (1 - 2\xi^2) \cos 2\omega + \xi \sqrt{1 - \xi^2} \sin 2\omega]$	$\frac{T^2}{e} - \frac{(T + \Delta T)^2}{2} e^{-\frac{2\Delta T}{T}}$
$f_3 = \int_0^{\square T} W_{11}^2(\tau)d\tau, [c]$	$\frac{1}{(\lambda_2 - \lambda_1)^2} \left[\frac{1}{2} (\lambda_1 e^{2\lambda_1 \square T} + \lambda_2 e^{2\lambda_2 \square T}) + \frac{2\lambda_1\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} (1 - e^{(\lambda_1 + \lambda_2)\square T}) - \frac{1}{2} (\lambda_1 + \lambda_2) \right]$	$\frac{T}{4\xi} + \frac{T e^{-2d}}{4\xi(1 - \xi^2)} (1 + \xi^2 \cos 2\omega + \xi \sqrt{1 - \xi^2} \sin 2\omega)$	$\frac{T}{4} - \frac{T^2 - 2T\Delta T + 2\Delta T^2}{4T} \cdot e^{-\frac{2\Delta T}{T}}$
$f_6 = \int_0^{\square T} W_{21}^2(\tau)d\tau, [c^3]$	$\frac{1}{(\lambda_2 - \lambda_1)^2} \left[\frac{1}{2\lambda_1\lambda_2} (\lambda_2 e^{2\lambda_1\Delta T} + \lambda_1 e^{2\lambda_2\Delta T}) + \frac{2}{\lambda_1 + \lambda_2} (1 - e^{(\lambda_1 + \lambda_2)\Delta T}) - \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2\lambda_1\lambda_2} \right]$	$\frac{T^3}{4\xi} + \frac{T^3 e^{-2d}}{4\xi(1 - \xi^2)} (1 + \xi^2 \cos 2\omega - \xi \sqrt{1 - \xi^2} \sin 2\omega)$	$-e^{-\frac{2\Delta T}{T}} \left(\frac{T^2 + 2T\Delta T}{4} + \frac{2\Delta T^2}{4} \right) + \frac{T^3}{4}$
$C_1 f_{17} + C_2 f_{27} = \int_0^{\square T} W_{11}(\tau)(C_1 - C_2\tau)d\tau$ $f_{17}[c], f_{27}[c^2]$	$\frac{C_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{\lambda_2\Delta T} - e^{\lambda_1\Delta T}) + \frac{C_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \{\Delta T (e^{\lambda_2\Delta T} - e^{\lambda_1\Delta T}) + \frac{1}{\lambda\lambda_2} [(\lambda_2 e^{\lambda_1\Delta T} - \lambda_1 e^{\lambda_2\Delta T}) + (\lambda_2 - \lambda_1)]\}$	$C_1 \frac{T e^{-d}}{\sqrt{1 - \xi^2}} + C_2 T^2 \{1 + \frac{e^{-d}}{\sqrt{1 - \xi^2}} [\sqrt{1 - \xi^2} \cos \omega + (\xi + \frac{\Delta T}{T}) \sin \omega]\}$	$C_1 \Delta T e^{-\frac{\Delta T}{T}} + C_2 T^2 \cdot \left(\frac{T^2 + T\Delta T + \Delta T^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{\Delta T}{T}} - 1 \right)$
$C_0 f_{08} + C_3 f_{38} + C_4 f_{48} = \int_0^{\square T} W_{21}(\tau)(C_0 + C_3\tau + C_4\tau^2)d\tau,$ $f_{08}[c^2], f_{38}[c^3], f_{48}[c^4]$	$\frac{C_0}{\lambda_1\lambda_2} \{1 + A - \frac{C_3}{(\lambda_1\lambda_2)^2} \{(\lambda_1 + \lambda_2) + B + \Delta T (\lambda_1\lambda_2) A\} + \frac{C_4}{(\lambda_1\lambda_2)^3} \{2(\lambda_1^2 + \lambda_1\lambda_2 + \lambda_2^2) + 2G - 2\Delta T \lambda_1\lambda_2 B + \Delta T^2 (\lambda_1\lambda_2)^2 A\},$ $\partial e A = \frac{\lambda_1 e^{\lambda_2\Delta T} - \lambda_2 e^{\lambda_1\Delta T}}{\lambda_2 - \lambda_1}$ $B = \frac{(\lambda_1^2 e^{\lambda_2\Delta T} - \lambda_2^2 e^{\lambda_1\Delta T})}{\lambda_2 - \lambda_1}$ $G = \frac{(\lambda_1^3 e^{\lambda_2\Delta T} - \lambda_2^3 e^{\lambda_1\Delta T})}{\lambda_2 - \lambda_1}$	$C_0 \frac{T^2}{2} \left[1 - \frac{e^{-d}}{\sqrt{1 - \xi^2}} (M + \xi \sin \omega) \right] + C_3 \frac{T^2}{2} \{ \xi T - \frac{e^{-d}}{2\sqrt{1 - \xi^2}} [\Delta T (M + \xi \sin \omega) + T(\xi M - \frac{1 - 2\xi^2}{2} \sin \omega)] \} + C_4 T^2 \{ -T^2 (1 - \xi^2) + \frac{e^{-d}}{2\sqrt{1 - \xi^2}} \left[\frac{T^2}{2} ((1 - 4\xi^2) \cdot M + \xi(3 - 4\xi^2) \sin \omega) - T\Delta T (2\xi M - (1 - 2\xi^2) \sin \omega) - \Delta T^2 (M + \xi \sin \omega) \right] \},$ $\partial e M = \sqrt{1 - \xi^2} \cos \omega;$	$C_0 T \{ T - (T + \Delta T) e^{-\frac{\Delta T}{T}} \} + C_3 T \{ 2T^2 - (2T^2 + 2T\Delta T + \Delta T^2) e^{-\frac{\Delta T}{T}} \} + C_4 T \{ 6T^3 - (6T^3 + 6T^2\Delta T + 3\Delta T^2 + \Delta T^3) e^{-\frac{\Delta T}{T}} \}$

На рис. 2 представлені графіки зміни дійсної і заданої норм висіву насіння. Як бачимо, лінія зміни фактичної норми внесення добрив дуже близько розташована до лінії заданих норм. Величина середньоквадратичних відхилень SD складає всього 3.7 кг/га проти близько 26 кг/га для існуючих висівних систем. Це указує на значне покращення процесу виконання заданої картограми сівби за умов наявності збурень у вигляді систематичної та шумової похибок вимірювань. Перехідні процеси відбуваються за час близько 0.8 с.

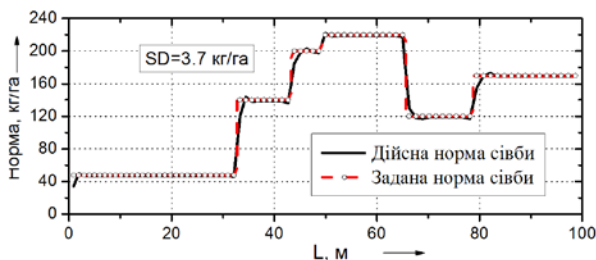


Рис. 2. Дійсна та задана норми сівби при застосуванні операції оптимізації параметрів висівної системи.

Всі наведені результати аналітичних досліджень можуть бути застосовані до будь-яких сільськогосподарських машин для внесення технологічних матеріалів (машин-реалізаторів), наприклад, для обприскувачів, машин для внесення агрохімікатів, концентрованих біологічних речовин тощо. Це підкреслює важливість виконаних досліджень з аналітичного і експериментального моделювання процесів оптимізації динамічних параметрів дозуючих систем машин-реалізаторів, як універсальної методики для розрахунку параметрів і режимів роботи сільськогосподарських машин у разі застосування їх в СТЗ.

Висновки

На підставі виконаних досліджень можливо зробити наступні висновки:

1. Закон керуючої дії регулятора машини для внесення ТМ в постановці оптимального по Красовському О.А. слідкування з прогнозуванням можливо отримати з даних, що несуть в собі картограми заданих норм внесення по біжучим оцінкам координат місцезнаходження МТА в полі та курсу його руху, а також за рахунок реєстрації інформації про інтенсивність вихідного потоку ТМ і швидкість руху МТА в полі.

2. Застосування локально-квадратичної апроксимації даних, що надходять з електронної картограми-завдання, дає можливість обраховувати дані про задані норми внесення ТМ для тих координат, в яких у мить виконання завдання знаходиться МТА.

3. Частоту оновлення параметрів локально-квадратичної апроксимації щільності вихідного потоку ТМ можна прийняти рівною частоті оновлення керуючої дії, а також частоті надходження посилаючих даних від датчика інтенсивності потоку ТМ, швидкості

руху МТА та датчика координат ГСП.

Список літератури

1. Красовский А. А. Обобщение задачи аналитического конструирования регуляторов при заданной работе управления и управляющих сигналов. Автоматика и телемеханика. 1969. № 7. С. 12–16.
2. Растрин Л. А., Рипа К. К. Непрерывный алгоритм самообучения при многопараметрической оптимизации методом случайного поиска. Автоматика и вычислительная техника. Рига. 1965. Вып. 10. С. 6–9.
3. Сборник процедур Альфа-системы автоматизации программирования. ВИКА имени А.Ф.Можайского. 1973. 108 с.
4. Захарин Ф. М. Методы и алгоритмы прикладного анализа. Статистическая фильтрация. Киев. КВВАИУ. 1977. Вып. 1. 120 с.
5. Вечера О. М., Роговський І. Л., Пастушенко С. І. Навігаційні системи в технологіях точного землеробства. Machinery & Energetics. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No 2. P. 133–138.

References

1. Krasovskii, A. A. (1969). Generalization of the problem of analytical design of regulators for a given job management and control signals. Automation and remote control. No 7. 12-16.
2. Rastrigin, L. A., Ripa, K. K. (1965). Continuous self-learning algorithm in multi-parameter optimization by random search. Automation and computer engineering. Riga. Vol. 10. 6-9.
3. Collection of procedures for alpha systems programming. (1973). WICK A. F. Mozhaysky. 108.
4. Zacharin, M. F. (1977). Methods and algorithms for applied analysis. Statistical filtering. Kiev. KWAI. Vol. 1. 120.
5. Vechera, O. M., Rogovskii, I. L., Pastushenko, S. I. (2018). Navigation systems in precision farming. Machinery & Energetics. Kyiv. Ukraine. Vol. 9. No 2. 133-138.

АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПОСЕВНОЇ СИСТЕМИ СІВАЛКИ В ТЕХНОЛОГІЯХ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛІЯ

Л. В. Анискевич, Ф. М. Захарин

Анотація. Проведен аналіз можливостей високоточного дозирования технологических материалов в технологиях точного земледелия с использованием алгоритма оптимального слежения по Красовскому. Управление процессом происходит на основании картограм заданных норм внесения по текущим оценкам координат местонахождения МТА в поле и курса его движения, а также путем регистрации информации об интенсивности выходного потока ТМ и скорости движения МТА в поле.

Ключевые слова: дозировка, технологические материалы, оптимальное управление.

ANALYSIS OF OPERATION OF PLANTING INPUT
SYSTEM IN PRECISION AGRICULTURE
TECHNOLOGIES

Aniskevych L. V., Zaharin F. M.

Abstract. The analysis of possibilities of precision metering of process materials in technology of precision agriculture with the use of the algorithm for optimal tracking by Krasovsky. The process is controlled on the basis of the application maps according to the current estimates of the coordinates of the MTA location in the field and the course of its movement, as well as by recording information about the intensity of the output flow of TM and the speed of MTA movement in the field.

Key words: dosage, process materials, optimal control.