

## **МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ МАШИНИ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ В ТОЧНОМУ ЗЕМЛЕРОБСТВІ**

***Л. В. Аніскевич, доктор технічних наук  
Національний університет біоресурсів і  
природокористування України  
e-mail: l-anisk@meta.ua***

**Анотація.** На сучасному етапі розвитку сільськогосподарської техніки і технологій при виробництві продукції рослинництва все частіше застосовують технології точного землеробства. Сільськогосподарські машини з обладнанням для технологій точного землеробства умовно можна поділити на два принципово різних, за критерієм використання геовизначеної інформації, класи: машини з системами реєстрації місцевизначених параметрів – реєстратори – (переважно збиральні машини і технічні засоби польової розвідки) і машини для розподілу технологічних матеріалів – реалізатори – переважно це такі машини, як сівалки, розподільники добрив, обприскувачі тощо. Відповідно до цього, задачі, що їх вирішує бортове обладнання машин-реєстраторів і машин-реалізаторів, також принципово різні.

Складено модель функціонування машини для внесення технологічних матеріалів з використанням алгоритму згладжування шумових складових похибки датчика інтенсивності вихідного потоку. Збільшення коефіцієнта  $K$  вище зазначеного рівня приводить до зростання шумових складових сигналу керування, що робить систему динамічно нестабільною. Величина середньоквадратичних відхилень  $SD$  різниці між дійсною нормою внесення мінеральних добрив та заданою нормою внесень склапає 18 кг/га. Подальше удосконалення систем керування інтенсивністю потоків технологічних матеріалів пов'язане з вибором принципово нових схем дозування технологічних матеріалів і застосуванням спеціальних алгоритмів оптимізації закону керуючої дії.

**Ключові слова:** *машина-реалізатор, технологічний матеріал, модель функціонування, імітаційне моделювання*

**Постановка проблеми.** На сучасному етапі розвитку сільськогосподарської техніки і технологій при виробництві продукції рослинництва все частіше застосовують технології точного землеробства (СТЗ) [1]. Сільськогосподарські машини (СГМ)

з обладнанням для технологій точного землеробства (ТЗ) умовно можна поділити на два принципово різних, за критерієм використання геовизначеної інформації, класи: машини з системами реєстрації місцевизначених параметрів – реєстратори – (переважно збиральні машини і технічні засоби польової розвідки) і машини для розподілу технологічних матеріалів (ТМ) – реалізатори – переважно це такі машини, як сівалки, розподільники добрив, обприскувачі тощо. Відповідно до цього, задачі, що їх вирішує бортове обладнання машин-реєстраторів і машин-реалізаторів, також принципово різні. У першому випадку ставиться задача максимально точного запису на магнітні носії кількісного перебігу технологічного процесу, що виконується, а в другому – максимально точного виконання заздалегідь складеного (для карт-технології) режиму зміни щільності розподілу ТМ по площі поля. Окрім того машини-реалізатори повинні забезпечити належну якість виконання технологічного процесу, яка б відповідала заданим агротехнічним умовам. Наприклад, при роботі сівалки для висіву просапних культур за критерій оптимальності виконання технологічного процесу беруть, як правило, такі показники, як сталість дотримання заданої перемінної норми висіву насіння. Максимальне виконання таких умов є метою оптимального функціонування машини-реалізатора в технологіях ТЗ.

При внесенні ТМ із змінними нормами можливо використовувати карт- або сенсор-технологію. Сенсор-технологія має специфічні моменти її організації і відповідний попередній аналіз показує, що для реалізації сенсор-технології бажано використовувати системи з адаптивним ладнанням. Для реалізації процесу сівби за карт-технологією можливо використовувати системи з жорстким ладнанням. На першому етапі реалізації такої технології необхідно сформувавши картограму внесення ТМ. Як правило, така картограма базується на інформації про урожайність культури попереднього року сільськогосподарських робіт та даних моніторингу фізико-механічних та агрохімічних параметрів ґрунту. На підставі цієї інформації та на базі агрономічних знань, історичних відомостей про поле (як і чим ореться, сівозміни, рельєф тощо) і алгоритмів взаємозв'язку між місцевизначеними параметрами поля за допомогою відповідного програмного забезпечення випрацьовується електронна картограма внесення ТМ.

**Результати досліджень.** Електронна картограма заданих норм внесення ТМ представлена на рис. 1. блоком моделі необхідних норм внесення. Вхідними параметрами моделі руху МТА по полю прийняті швидкість  $V(t)$  та координата  $x(t)$  руху центра приймальної антени глобальної системи позиціонування (ГСП)

машинно-тракторного агрегату (МТА) вздовж лінії гону в функції часу  $t$ .

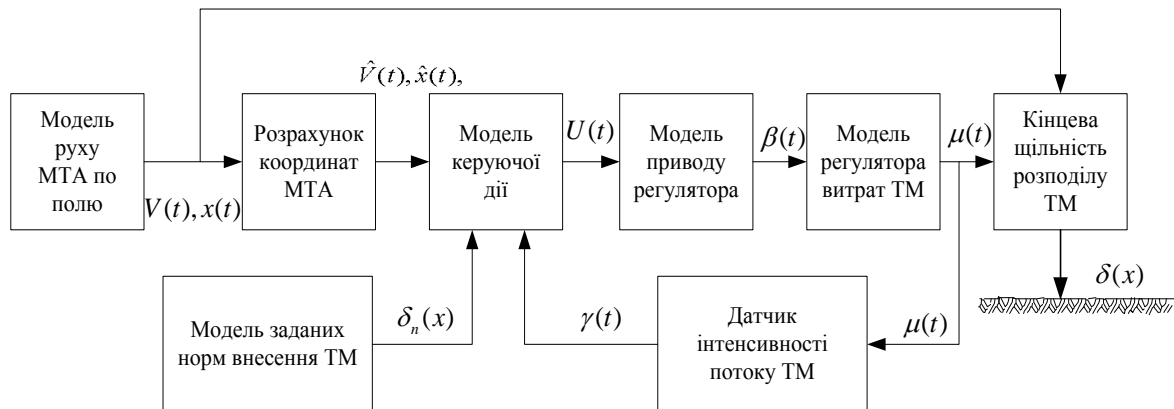


Рис. 1. Схема зв'язків елементів системи регулювання щільністю потоку ТМ.

Технологічний матеріал приймає участь в переносному та відносному рухах. При обчисленні відносного руху ТМ ключовим моментом є модель регулятора витрат ТМ з вихідним параметром  $\mu(t)$  в функції регульованого параметру  $\beta(t)$ . Складання переносного та відносного рухів ТМ з урахуванням характеру функції розподілу миттєвої щільності внесення ТМ по поверхні (або в верхній прошарок) ґрунту характеризується моделлю результуючої щільності внесення ТМ  $\delta(x)$ .

Обов'язковим елементом СГМ для реалізації змінних норм внесення (ЗНВ) ТМ є бортова навігаційна система, що дозволяє отримувати поточну інформацію про координату  $x(t)$  та швидкість  $V(t)$  руху МТА, а також система приводу регулятора інтенсивності вихідного потоку ТМ. В якості вхідної функції (цілі функціонування) технологічного процесу машини з регулятором норми внесення ТМ приймається вихід моделі заданих змінних норм внесення ТМ  $\delta_n(x)$ , які (задані змінні норми) необхідно реалізувати по площі поля.

Указана ціль функціонування досягається шляхом реалізації певної програми руху МТА по поверхні поля, з одного боку, та за рахунок регулювання інтенсивності вихідного потоку ТМ в залежності від швидкості руху та координат МТА в полі.

Якість функціонування машини з обладнанням ЗНВ ТМ можна оцінювати похибкою реалізації необхідної щільності внесення ТМ  $\delta_n(x)$  по відношенню до дійсної [2]:

$$I_{\delta} = \int_{S(x)} [\bar{\delta}(x) - \delta_n(x)]^2 dx \quad (1)$$

де:  $S(x)$  – лінія гону МТА.

Вибір моделі керуючої дії  $U(t)$  (закону керування інтенсивністю вихідного потоку ТМ) суттєво залежить як від виду залежності інтенсивності  $\mu(t)$  від  $\beta(t)$ , так і від виду математичної моделі динаміки привода регулятора витрат ТМ.

З достатньою точністю можливо використовувати лінійну модель залежності  $\mu(t)$  від  $\beta(t)$  виду:

$$\mu(t) = K_F \beta(t), \quad (2)$$

де:  $K_F = K[1 + \Delta_K + \Delta_{\zeta K}(t)]$ ;  $K_F$  – коефіцієнт підсилення системи;  $K$  – номінальне значення коефіцієнта підсилення;  $\Delta_K$  – систематичне відносне відхилення коефіцієнта підсилення від номінального значення;  $\Delta_{\zeta K}(t)$  – випадкова (шумова) складова відносного відхилення коефіцієнта підсилення від номінального значення.

Позиційний варіант приводу механізму регулювання інтенсивності потоку ТМ в лінійному наближенні можна описати системою диференціальних рівнянь [3]:

$$\begin{cases} \beta' = V_\beta(t); \\ V_\beta'(t) = -\frac{2\xi}{T} V_\beta(t) - \frac{1}{T^2} \beta(t) + \frac{1}{T^2} U(t), \end{cases} \quad (3)$$

де:  $T$  та  $\xi$  – параметри моделі, а саме стала часу та коефіцієнт демпфування;  $U(t)$  – керуюча дія.

Третій член в правій частині другого рівняння системи (3) характеризує наявність позиційного зворотного зв'язку в приводі.

Лінійна модель інтегруючих приводів відрізняється від (3) наявністю ще одного рівняння виду:

$$U'(t) = U_v(t), \quad (4)$$

тобто, в такому випадку, вхідним змінним параметром є швидкість  $U_v(t)$  зміни керуючої дії.

Зв'язок між фактичною щільністю внесення ТМ  $\delta(y, z)$ , інтенсивністю вихідного потоку ТМ  $\mu(t)$  та швидкістю переміщення МТА  $V(t)$  залежить від типу та конструкції машини.

Якщо, наприклад, СГМ вносить ТМ по рядках (технологічних смугах), то для кожного  $i$ -го рядка багаторядної машини (наприклад, сівалки), фактична щільність технологічного матеріалу вздовж смуги буде складати:

$$\delta_i = \frac{\mu_i(t)}{V_i(t)}, \quad (5)$$

де:  $\mu_i(t)$  – інтенсивність вихідного потоку ТМ по  $i$ -му рядку;  $V_i(t)$  – швидкість переміщення  $i$ -го дозатора вздовж рядка.

В загальному, можливо записати:

$$\delta_n = \frac{\mu_n(t)}{bV(t)}, \quad (6)$$

де:  $\delta_n$  – задана щільність розподілу ТМ вздовж технологічної смуги шириною  $b$ .

Модель похибок роботи бортового навігаційного комплексу з визначення швидкості, курсу та координат МТА в полі можливо охарактеризувати наступними залежностями:

$$\begin{aligned} \bar{x}(t) &= x(t) + \Delta x + \zeta_x(t), \\ \bar{V}(t) &= V(t) + \Delta V + \zeta_V(t), \end{aligned} \quad (7)$$

де:  $\Delta x, \Delta V$  – систематичні складові похибки визначення координат та швидкості руху;  $\zeta_x(t), \zeta_V(t)$  – випадкові складові похибки визначення координати та швидкості.

Одним з варіантів регулювання витрат ТМ для машин, що використовуються для технологій ТЗ є так зване розімкнене програмне регулювання, при якому поточне значення керуючої дії задається у вигляді:

$$U(t) = \beta_n(t) = \frac{\mu_n(t)}{K}. \quad (8)$$

До головних недоліків такого варіанту регулювання відноситься потенційна можливість виникнення великих помилок за причин відхилення коефіцієнта передачі  $K$  від свого номінального значення, а також за причин динамічних особливостей приводу регулятора (наприклад, недостатній коефіцієнт демпфування коливань системи, інерційність приводу тощо).

Більш висока якість регулювання досягається в замкненій системі, що включає в себе зворотні зв'язки по вихідній координаті та її похідній. обов'язковим елементом замкненої системи регулювання, в даному випадку, повинен бути вимірник вихідної величини – датчик інтенсивності потоку ТМ. Модель датчика такого типу описується рівняннями:

$$\begin{cases} \bar{\mu}(t) = \tilde{\mu}(t) \left[ 1 + \Delta_\mu(t) + \Delta_{\xi\mu}(t) \right]; \\ \tilde{\mu}'(t) = -\frac{1}{T_D} [\tilde{\mu}(t) - \mu(t)], \end{cases} \quad (9)$$

де:  $\bar{\mu}(t)$  – вихідний сигнал датчика;  $\tilde{\mu}(t)$  – проміжна змінна величина;  $\Delta_\mu(t)$  та  $\Delta_{\xi\mu}(t)$  – систематична та шумова складові відносної помилки вимірювань;  $T_D$  – стала часу датчика, що характеризує його інерційність.

Досягнення цілі функціонування класу сільськогосподарських машин, що розглядається, а саме – машин-реалізаторів – забезпечується шляхом виконання заданого значення інтенсивності

вихідного потоку ТМ  $\mu_n(t)$ . Таким чином, замкнена система регулювання в даному випадку може розглядатися як слідкуюча система, якість роботи якої характеризується тією або іншою мірою точності виконання  $\mu_n(t)$ .

Рівняння динаміки керованого процесу для слідкуючих систем будуються на основі системи рівнянь (9) і з урахуванням співвідношень (7), (8) мають вигляд:

$$\begin{cases} \mu'(t) = V_\mu(t) + \zeta_\mu(t); \\ V'_\mu(t) = -\frac{2\xi}{T}V_\mu(t) - \frac{1}{T^2}\mu(t) + \frac{K}{T^2}U(t) + \zeta_v(t), \end{cases} \quad (10)$$

де:  $\zeta_\mu(t)$  та  $\zeta_v(t)$  – збурення, що обумовлені варіюваннями коефіцієнту передачі  $K$ .

Для синтезу закону регулювання слідкуючих систем з лінійною моделлю динаміки процесу, що регулюється, можливо застосувати підхід, пов'язаний з вибором такої структури і таких значень параметрів закону регулювання, які забезпечують досягнення сталості процесу регулювання та необхідних значень показників якості перехідних процесів в слідкуючій системі, а також рівня усталеної похибки слідкування. Для об'єкту регулювання з лінійною моделлю динаміки (10) структура закону регулювання буде наступною:

$$U(t) = \frac{1}{K}\mu_n(t) - C_1[\bar{\mu}(t) - \mu_n(t)] - C_2[\hat{\mu}'(t) - \hat{\mu}'_n(t)], \quad (11)$$

де:  $\bar{\mu}'(t)$  – оцінка швидкості зміни фактичної інтенсивності вихідного потоку ТМ;  $\hat{\mu}'_n(t)$  – оцінка швидкості зміни необхідної інтенсивності вихідного потоку ТМ;  $C_1$  та  $C_2$  – параметри закону регулювання.

Якість перехідних процесів в замкненій системі з законом регулювання виду (11) для об'єкту (10) характеризується еквівалентною сталою часу  $T^*$  і еквівалентним показником затухання коливаний  $\xi^*$ . Для досягнення необхідних значень показників  $T^*$  та  $\xi^*$  значення параметрів закону регулювання  $C_1$  та  $C_2$  в даному випадку необхідно розраховувати по наступним формулам:

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{1}{K} \left[ \left( \frac{T}{T^*} \right)^2 - 1 \right]; \\ C_2 &= \frac{2}{K} \left( \frac{T}{T^*} \right) (\xi^* T - \xi T^*). \end{aligned} \quad (12)$$

Реалізація закону регулювання (11) пов'язана з необхідністю отримання оцінок швидкостей зміни фактичної  $\hat{\mu}'(t)$  та необхідної  $\hat{\mu}'_n(t)$  інтенсивності вихідного потоку ТМ. Такі оцінки (наприклад, для

розподільника добрив) можливо отримати на основі виразу (6). Тоді для фактичної інтенсивності вихідного потоку ТМ маємо:

$$\hat{\mu}'(t) = b \left\{ \frac{\partial \hat{\delta}_n[\hat{x}_T(t)]}{\partial x_T} \hat{V}(t) + \hat{\delta}_n[\hat{x}_T(t)] \hat{V}'(t) \right\}, \quad (13)$$

де:  $\hat{x}_T$  – оцінка координати переміщення МТА вздовж центральної лінії технологічної колії.

В праву частину формули (13) входять оцінки компоненти градієнту необхідної щільності внесення ТМ вздовж лінії технологічної колії, а також повздовжнього прискорення МТА.

Для отримання оцінки  $\hat{\mu}(t)$  в аналітичному вигляді по вихідній інформації датчика інтенсивності, а також для згладжування шумових складових похибки та компенсації динамічної похибки датчика доцільно виконати апроксимацію показників датчика поліномом другого порядку на ковзному інтервалі часу  $[t - \Delta T, t]$ :

$$\tilde{\mu}(\tau) = a_{i0} + a_{i1}\tau + a_{i2}\tau^2; \quad \tau \in [0, \Delta T], \quad (14)$$

де  $a_{i0}, a_{i1}, a_{i2}$  – коефіцієнти апроксимації.

Якщо  $\hat{\mu}_j(t), j = 1, 2, \dots, m$  – сукупність дискретних значень вихідного сигналу датчика, що зафіксовані в моменти часу  $t - \Delta T + \Delta\tau(j-1)$ , де

$\Delta\tau = \frac{\Delta T}{m-1}, j = 1, 2, \dots, m; m > 3$ , то найкращі, в сенсі мінімуму середньоквадратичної похибки процесу апроксимації, оцінки коефіцієнтів апроксимації визначаються по формулі:

$$\bar{a}_{ii} = H^+ \bar{y}, \quad (15)$$

де:  $\bar{y} = (\bar{\mu}_1, \bar{\mu}_2, \dots, \bar{\mu}_m)^T$ ;

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & \Delta\tau & \Delta\tau^2 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & (m-1)\Delta\tau & [(m-1)\Delta\tau]^2 \end{pmatrix};$$

де: "+" – ознака операції псевдообернення матриці, яка (операція) може бути виконана з використанням алгоритму, наприклад, Гревілья [4].

З урахуванням виразів системи (9) можна написати наступні аналітичні вирази для згладжування оцінок інтенсивності вихідного потоку ТМ та швидкості його зміни:

$$\hat{\mu}(t) = \tilde{\mu}(t) + T_D \tilde{\mu}'(t); \quad (16)$$

$$\hat{\mu}'(t) = \tilde{\mu}'(t) + T_D \tilde{\mu}''(t); \quad (17)$$

$$\tilde{\mu}(t) = \bar{a}_{i0} + \bar{a}_{i1} \Delta T + \bar{a}_{i2} \Delta T^2; \quad (18)$$

$$\tilde{\mu}'(t) = \bar{a}_{i1} + 2\bar{a}_{i2} \Delta T; \quad (19)$$

$$\tilde{\mu}''(t) = 2\bar{a}_{i2} \quad (20)$$

Вибір значень  $\Delta T$  та  $m$  залежить від динамічних характеристик датчика та об'єкту регулювання в цілому.

Розроблена математична модель машини-реалізатора змінних норм внесення ТМ дозволяє проводити комп'ютерне аналітичне моделювання процесів реалізації технологій ЗНВ з метою перевірки умов функціонування МТА в полі і аналізу дійсної інтенсивності потоку ТМ при роботі машини-реалізатора. Моделювання проводилось в середовищі *Simulink* програмного продукту MatLab за умов, що норма внесення ТМ варіювала від 80 до 260 кг/га, швидкість руху склала 10.8 км/год (3 м/с), ширина захвату машини – 10 м, характеристики механізму приводу дозатора:  $\xi = 0.2$ ,  $T = 0.5$  с,  $K = 26$ ,  $T_d = 0.4$  с. Час реалізації процесу – 70 секунд.

У першу чергу була перевірена ефективність застосування алгоритму згладжування шумових складових похибки та компенсації динамічної похибки датчика інтенсивності потоку ТМ шляхом апроксимації показників датчика поліномом другого порядку на ковзному інтервалі часу (рис. 2 та рис. 3).

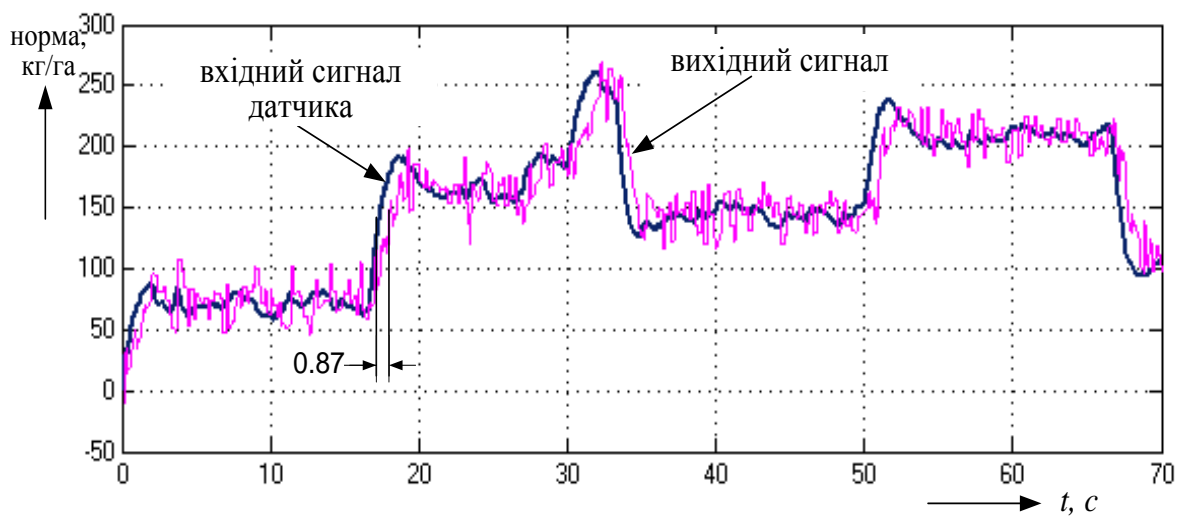


Рис. 2. Функціонування датчика інтенсивності потоку ТМ без алгоритму згладжування.

Порівняльний аналіз вихідного сигналу датчика інтенсивності потоку ТМ без застосування алгоритму згладжування шумових складових похибки і компенсації динамічної похибки датчика та із застосуванням такого алгоритму показує, що в останньому випадку різко зменшується рівень шумів вихідного сигналу датчика, а також близько у 5 разів зменшується час запізнення вихідного сигналу відносно вхідного (0,18 с проти 0,87 с). Останнє позитивно впливає і на якість виконання заданого графіка зміни норми внесення ТМ по довжині гону.



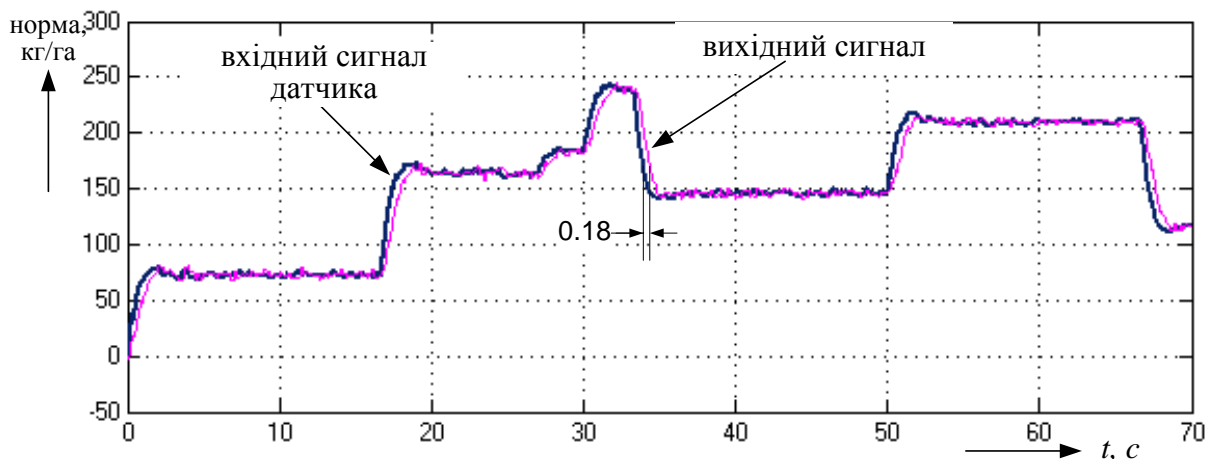


Рис. 3. Функціонування датчика інтенсивності потоку ТМ із застосуванням алгоритму згладжування шумових складових.

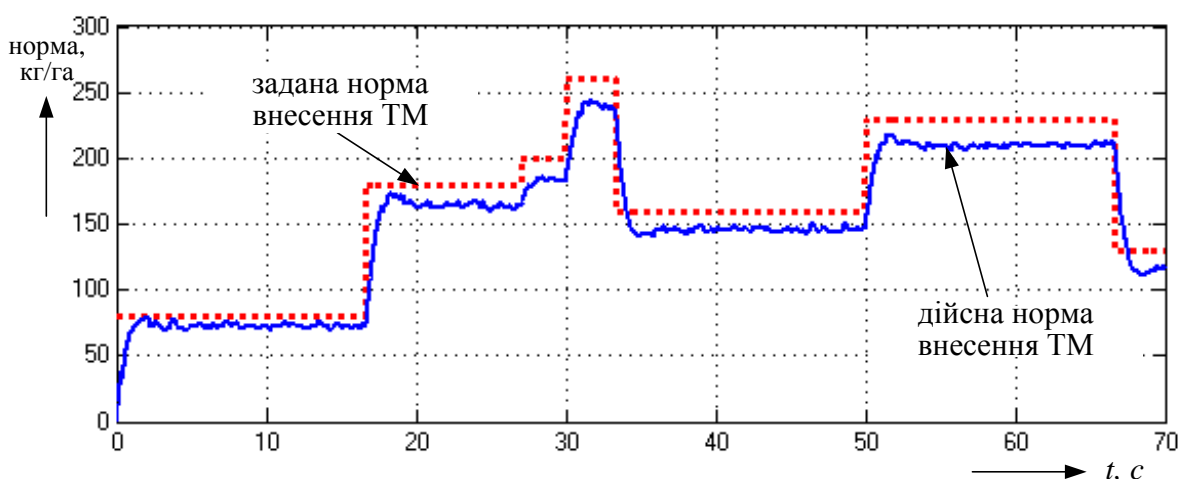


Рис. 4. Графіки заданої та дійсної норми внесення ТМ при використанні алгоритму згладжування шумових складових похибки датчика інтенсивності потоку ТМ.

При рівні середньоквадратичних відхилень похибок вимірювань швидкості руху МТА  $\sigma_v=0,03$  м/с, координат в напрямку руху МТА  $\sigma_\delta=0,3$  м, при відносній похибці визначення величини  $\sigma_{\Delta\mu}=0,01$ , відносній систематичній погрішності  $\square\mu=0,02$  та відносних систематичних похибках  $\square v=-0,1$  м/с,  $\square x=0,5$  м і  $\square k=0,1$ , а також при середньоквадратичному відхиленні похибки вимірювань коефіцієнту передачі  $\sigma_{\zeta\hat{e}}=0,03$  графіки заданої та дійсної норми внесення ТМ представлені на рис. 4.

Як бачимо, дійсна норма внесення ТМ практично позбавлена систематичних та шумових похибок датчика інтенсивності. Проте

має місце похибка у виконанні заданої норми внесення ТМ, яка тим більша, чим більша задана норма внесення ТМ.

Аналіз впливу величини коефіцієнта передачі пристрою дозатора шляхом імітаційного моделювання показав, що його оптимальні значення повинні бути в межах  $36 < K < 45$ . Точність виконання заданого режиму внесення ТМ при цьому покращується (рис. 5).

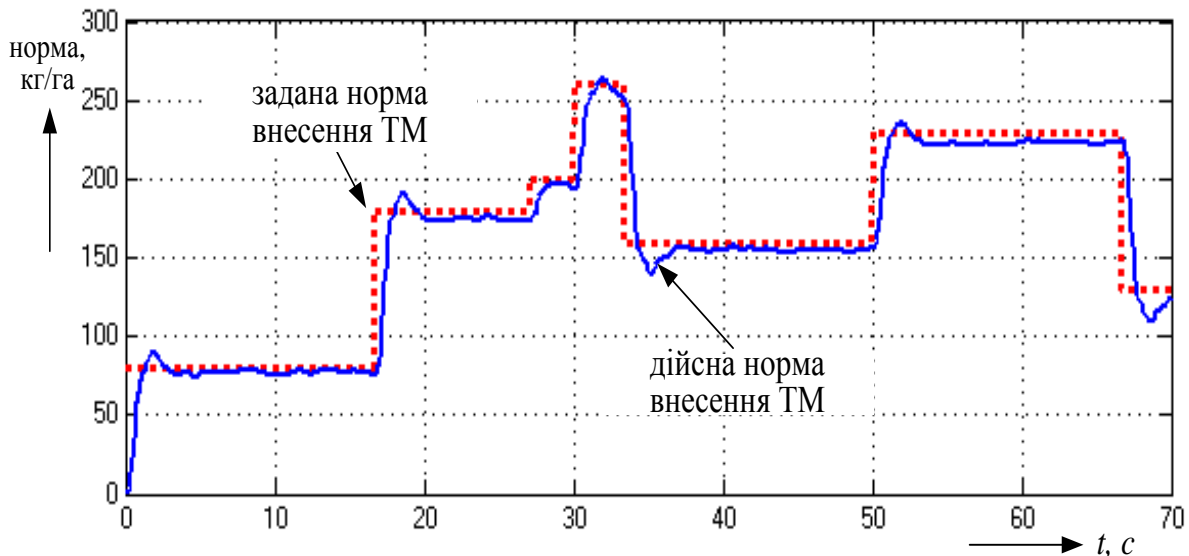


Рис. 5. Графіки заданої та дійсної норми внесення ТМ за умов оптимальних значень параметрів системи дозування.

Збільшення коефіцієнта  $K$  вище зазначеного рівня приводить до зростання шумових складових сигналу керування, що робить систему динамічно нестабільною. Величина середньоквадратичних відхилень  $SD$  різниці між дійсною нормою внесення мінеральних добрив та заданою нормою внесення склала 18 кг/га.

Подальше удосконалення систем керування інтенсивністю потоків ТМ пов'язане з вибором принципово нових схем дозування ТМ і застосуванням спеціальних алгоритмів оптимізації закону керуючої дії.

### Список літератури

1. *Аніскевич Л. В.* Модель функціонування посівної машини в системі точного землеробства. Механізація виробничих процесів рыбного господарства, промислових і аграрних підприємств. Керчь. КМТИ. 2001. Вип. 1. С. 112–118.
2. *Смит О.* Автоматическое регулирование. Москва. Физматгиз. 1962. 848 с.
3. *Понтаев Н. Ф., Дианов В. Г.* Основы теории автоматического регулирования и авторегуляторы. Москва. Недра. 1970. 366 с.
4. *Летов А. М.* Аналитическое конструирование регуляторов. Ч. I-V. Автоматика и телемеханика. 1960. №№ 4, 5, 6. 1961. № 4. 1962. № 11.

## References

1. Aniskevich, L. V. (2001). Model of functioning of the sowing machine in the system of precision farming. Mechanization of Production Processes of Fisheries, Industrial and Agricultural Enterprises. Kerch. KMTI. 2001. Vol. 1. P. 112–118.
2. Smith, A. Automatic control. Moscow. Fizmatgiz. 1962. 848 p.
3. Pantaev, N. F., Dianov, V. G. Foundations of theory of automatic regulation and autoregulatory. Moscow. Nedra. 1970. 366 p.
4. Letov, A. M. Analytical design of regulators. Part I-V. Automation and Remote Control. 1960. №№ 4, 5, 6. 1961. № 4. 1962. № 11.

## МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МАШИНЫ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В ТОЧНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

*Л. В. Анискевич*

**Аннотация.** На современном этапе развития сельскохозяйственной техники и технологий при производстве продукции растениеводства все чаще применяют технологии точного земледелия. Сельскохозяйственные машины с оборудованием для технологий точного земледелия условно можно разделить на два принципиально различных, по критерию использования геоопределенной информации, классы: машины с системами регистрации местопределения параметров – регистраторы – (преимущественно уборочные машины и технические средства полевой разведки) и машины для распределения технологических материалов – реализаторы – в основном это такие машины, как сеялки, распределители удобрений, опрыскиватели и прочее. Согласно этому, задачи, их решает бортовое оборудование машин-регистраторов и машин-реализаторов, также принципиально разные.

Составлена модель функционирования машины для внесения технологических материалов с использованием алгоритма сглаживания шумовых составляющих погрешности датчика интенсивности выходного потока. Увеличение коэффициента  $K$  выше указанного уровня приводит к росту шумовых составляющих сигнала управления, что делает систему динамически нестабильной. Величина среднеквадратичных отклонений  $SD$  разницы между действительной нормой внесения минеральных удобрений и заданной нормой внесения составила 18 кг/га. Дальнейшее совершенствование систем управления интенсивностью потоков технологических материалов связано с выбором принципиально новых схем дозирования технологических материалов и применением специальных алгоритмов оптимизации закона управляющего действия.

**Ключевые слова:** машина-реализатор, технологический материал, модель функционирования, имитационное моделирование

## MODEL OF FUNCTIONING OF MACHINE FOR TECHNOLOGICAL MATERIAL INPUTS IN PRECISION AGRICULTURE

**L. V. Aniskevych**

**Abstract.** *At the present stage of development of agricultural machinery and technologies for crop production have increasingly used the technologies of precision agriculture. Agricultural machines, equipment for precision farming technologies can be divided into two fundamentally different, according to the criterion of using geoinformation classes: machinery with registration systems measuring parameters – recorders (mostly sweepers and technical means of field intelligence) and machines for the distribution of technological materials – implementers – this is mainly such machines as planters, fertilizer applicators, sprayers and so on. According to this, tasks and solves them on-board equipment of machines-registrars, implementers, also fundamentally different.*

*The composed model of functioning of machine to make materials using the algorithm of the smoothing error components of noise intensity sensor's output. The increase in the coefficient  $K$  above this level leads to an increase of noise components of the signal which makes the system dynamically unstable. The value of the standard deviation  $SD$  of the difference between the actual rate of fertilizer application and the specified application rate was 18 kg/ha. Further improving systems to manage flows and out-flows of process materials, due to the fundamentally new schemes metering of process materials and the use of special algorithms to optimize the control law action.*

**Key words:** *machine-distributor, material technology, operating model, simulation*

УДК 631.354.2

## РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕМПФЕРІВ СУХОГО ТЕРТЯ ДЛЯ ГАСІННЯ КОЛИВАНЬ НЕВРІВНОВАЖЕНОГО ГНУЧКОГО ВАЛА З НАСАДЖЕННЯМ БАРАБАНОМ. ЧАСТИНА II

**В. С. Ловейкін, доктор технічних наук**  
**Ю. В. Човнюк, А. П. Ляшко, кандидати технічних наук**  
**Національний університет біоресурсів і**  
**природокористування України**  
**e-mail: lovvs@ukr.net**

**Анотація.** *Обґрунтований метод розрахунку оптимальних параметрів демпферів сухого тертя, які застосовуються для*

© В. С. Ловейкін, Ю. В. Човнюк, А. П. Ляшко, 2017