

УДК 631.315:629.783:525

## МОДЕЛЬ ВНЕСЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ В ТОЧНОМУ ЗЕМЛЕРОБСТВІ

Аніскевич Л.В., д.т.н.,

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Тел. (0619) 42-12-65

**Анотація** - складено модель функціонування машини для внесення технологічних матеріалів в основу якої покладені принципи формування щільності розподілу технологічного матеріалу під впливом двох складових його руху: переносної складової руху разом з машиною та відносної - під час руху технологічного матеріалу по робочих органах машини.

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

*Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.* 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 просяних культур за критерій оптимальності виконання технологічного

процесу беруть, як правило, такі показники, як сталість дотримання заданої перемінної норми висіву насіння, а також рівномірність розподілу насіння вздовж рядка та по глибині залягання в ґрунті. Максимальне виконання таких умов є метою оптимального функціонування машини-реалізатора в технологіях ТЗ.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою даної роботи є розробка моделі внесення технологічних матеріалів в точному землеробстві.

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.

*Основна частина.* Електронна картограма внесення ТМ представлена (рис. 1) блоком моделі необхідних норм внесення. Вихідними параметрами моделі руху МТА по полю прийняті швидкість  $V(t)$ , курсовий кут  $\psi(t)$  та прямокутні координати  $x(t)$ ,  $y(t)$  центра приймальної антени глобальної системи позиціонування (ГСП) машинно-тракторного агрегату (МТА) в функції часу  $t$ .

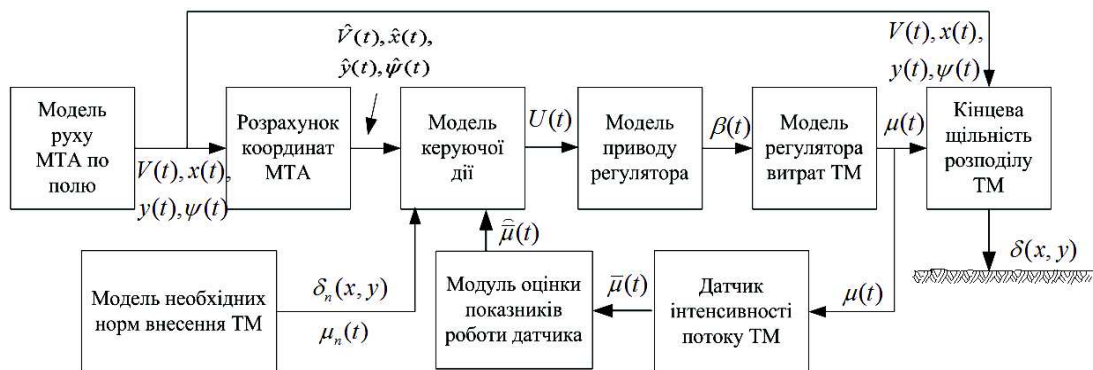


Рис. 1. Схема зв'язків елементів системи регулювання щільністю потоку ТМ

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  $\delta(y, z)$ .

Обов'язковим елементом СГМ для реалізації змінних норм внесення (ЗНВ) ТМ є бортова навігаційна система, що дозволяє отримувати поточну інформацію про координати МТА  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $\psi(t)$  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  $\delta_n(x, y)$ , 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  $\delta_n(x, y)$  по відношенню до дійсної [2]

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

де  $S(x, y)$  – поверхня поля.

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 приводу 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]:

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

де  $T$  та  $\xi$  – параметри моделі, а саме стала часу та коефіцієнт демпфування;

$U(t)$  – керуюча дія.

Другий член в правій частині другого рівняння системи (3) характеризує демпфування коливань системи приводу, а третій член – наявність позиційного зворотного зв'язку в приводі.

В загальному, лінійна модель інтегруючих приводів відрізняється від (3) наявністю ще одного рівняння виду

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

тобто, в такому випадку, входним 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:

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

де  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta V$  – систематичні складові похибки визначення координат та швидкості руху;

$\zeta_x(t)$ ,  $\zeta_y(t)$ ,  $\zeta_V(t)$  – випадкові складові похибки визначення координат 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, інерційності 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 вимірювач вихідної величини – датчик інтенсивності потоку ТМ. Модель датчика такого типу описується рівняннями [3]:

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

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  $\hat{\mu}'(\mathbf{t})$  – оцінка швидкості зміни фактичної інтенсивності вихідного потоку ТМ;

$\hat{\mu}'_n(\mathbf{t})$  – 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 коливань  $\xi^*$ . 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  $\hat{\mu}'(\mathbf{t})$  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

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

де  $\hat{\mu}_n$  – оцінка координати переміщення МТА вдовж 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  $[t - \Delta T, t]$

$$\tilde{\mu}(\tau) \equiv a_{t_0} + a_{t_1}\tau + a_{t_2}\tau^2; \quad \tau \in [0, \Delta T], \quad (14)$$

де  $a_{t_0}$ ,  $a_{t_1}$ ,  $a_{t_2}$  – 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  $\bar{y} = (\bar{\mu}_1, \bar{\mu}_2, \dots, \bar{\mu}_m)^T$ ;

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

"+" – 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:

$$\hat{\mu}(t) \equiv \tilde{\mu}(t) + T_{\mu} \tilde{\mu}'(t); \quad (16)$$

$$\hat{\mu}'(t) \equiv \tilde{\mu}'(t) + T_{\mu'} \tilde{\mu}''(t); \quad (17)$$

$$\tilde{\mu}(t) = \bar{a}_{t_0} + \bar{a}_{t_1} \Delta T + \bar{a}_{t_2} \Delta T^2; \quad (18)$$

$$\tilde{\mu}'(t) = \bar{a}_{t_1} + 2\bar{a}_{t_2} \Delta T; \quad (19)$$

$$\tilde{\mu}''(t) = 2\bar{a}_{t_2}. \quad (20)$$

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

Розроблена математична модель машини-реалізатора зі змінними нормами внесення ТМ дозволяє проводити комп'ютерне аналітичне моделювання процесів реалізації технологій ЗНВ з метою перевірки умов функціонування МТА в полі і аналізу дійсної інтенсивності

потокі ТМ при роботі машини-реалізатора. Наприклад, для машини-реалізатора з діапазоном норм внесення ТМ 40-1000 кг/га та з характеристиками механізму приводу заслінки:  $\xi = 0.2$  і  $T = 0.5$  с проводились розрахунки величин інтенсивності потоку ТМ за умов наявності систематичних та шумових складових похибок вимірювань. Імітація зміни швидкості руху МТА відбувалась при умовах: початкова швидкість  $V_0 = 3$  м/с; прискорення  $W = -0.09$  м/с<sup>2</sup>.

При рівні середньоквадратичних відхилень похибок вимірювань швидкості руху МТА  $\sigma_V = 0.03$  м/с, координат в напрямку руху МТА  $\sigma_x = 0.3$  м, при відносній похибці визначення величини  $\sigma_{\Delta\mu} = 0.01$ , відносній систематичній погрішності  $\Delta\mu = 0.02$  та відносних систематичних похибках  $\Delta V = -0.1$  м/с,  $\Delta X = 0.5$  м і  $\Delta K = 0.1$ , а також при середньоквадратичному відхиленні похибки вимірювань коефіцієнту передачі  $\sigma_{\zeta K} = 0.03$  графіки заданої та дійсної інтенсивності внесення ТМ представлені на рис. 2.

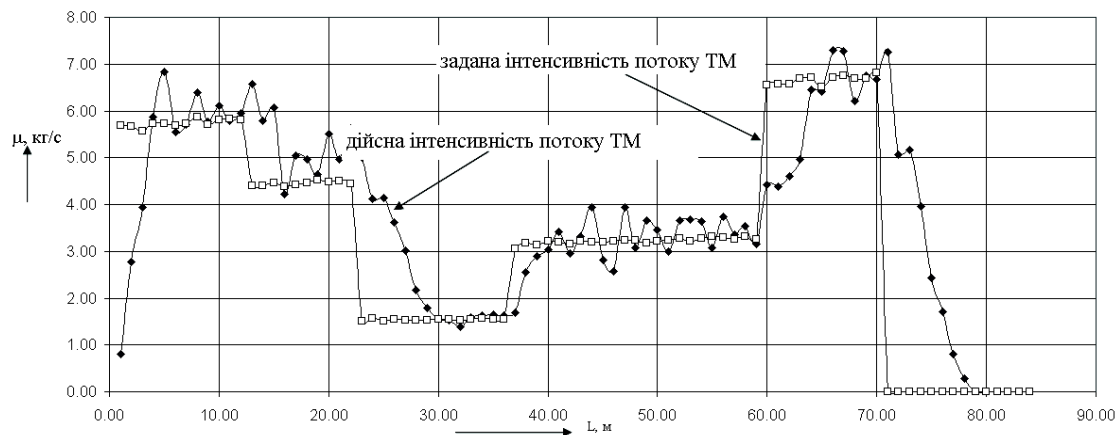


Рис. 2. Графіки заданої та дійсної інтенсивності потоку ТМ при наявності систематичних та шумових похибок вимірювань

Як бачимо, систематичні та шумові похибки вимірювань значною мірою впливають на характер реалізації дійсної інтенсивності потоку внесення ТМ і цей факт обумовлює підвищені вимоги до технічних характеристик виконавчих елементів системи регулювання (наприклад, електромеханічних або електрогідравлічних).

При визначенні структури та параметрів керуючої дії  $U(t)$  (див. вираз 11), що її випрацьовує контролер, наприклад, бортового комп'ютера машини-реалізатора, виходимо з умов забезпечення необхідних значень показників усталеності та якості перехідних процесів. В такому випадку, параметри модуля керуючої дії можна обрати в формі мо-



делі простору станів, що описується системою диференціальних рівнянь

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax + B\delta \\ U(t) = Cx + D\delta \end{cases}, \quad (21)$$

де  $x$  – вектор стану системи;

$\delta$  – вектор вхідного сигналу.

Тип приводу дозатора (регулятора інтенсивності потоку ТМ) залежить від конструкції машини в загальному і виду дозуючої системи зокрема. В якості механізму приводу регулятора інтенсивності потоку ТМ (наприклад, для проведення сівби або внесення мінеральних добрив зі змінними нормами) можливо використовувати пневмо- або гідроциліндри, електродвигуни з редукторами, електромагнітні виконуючі пристрої тощо. Більшість з таких пристроїв відноситься до позиційних приводів і їх модель описується диференціальним рівнянням із сталими коефіцієнтами

$$T_d^2 \mu''(t) + 2T_d D_d \mu'(t) + \mu(t) = U(t), \quad (22)$$

де  $D_d$  та  $T_d$  – параметри приводу регулятора;

Для випадку, наприклад, керування положенням заслінки розподільника мінеральних добрив МВД-900 і конструкції привода регулятора у вигляді механізму "електродвигун-редуктор-шток" з параметрами  $T_d=0,5$  с,  $D_d=8$ , а також з величинами параметрів  $T=0,4$  с,  $K=26$ , коефіцієнти системи (21) представлені матрицями:

$$A = \begin{pmatrix} -5e003 & -2.72e004 \\ 2 & 0 \end{pmatrix}; \quad B = \begin{pmatrix} 32 \\ 0 \end{pmatrix}; \quad (23)$$

$$C = (52.08 \quad -0.8958); \quad D = 0.$$

На рис.3 наведений графік результатів розв'язання математичної моделі керування змінними нормами внесення ТМ. З графіку видно, що відтворення заданої (з імпульсними переходами) норми внесення ТМ відбувається незадовільно по амплітуді, особливо для її максимальних (у даному випадку) значень, а також має місце запізнення в часі при переході з одного рівня норми внесення ТМ на інший.

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 переміщення заслінки дозатора при цьому покращується (рис. 4).

Подальше збільшення коефіцієнта  $K$  вище зазначеного рівня приводить до зростання шумових складових сигналу керування, що робить систему динамічно нестабільною. Підбором значень парамет-

рів системи  $T_d$ ,  $D_d$  і  $K$  по мінімуму виразу (1) можна добитися покращення структури керуючої дії  $U(t)$ .

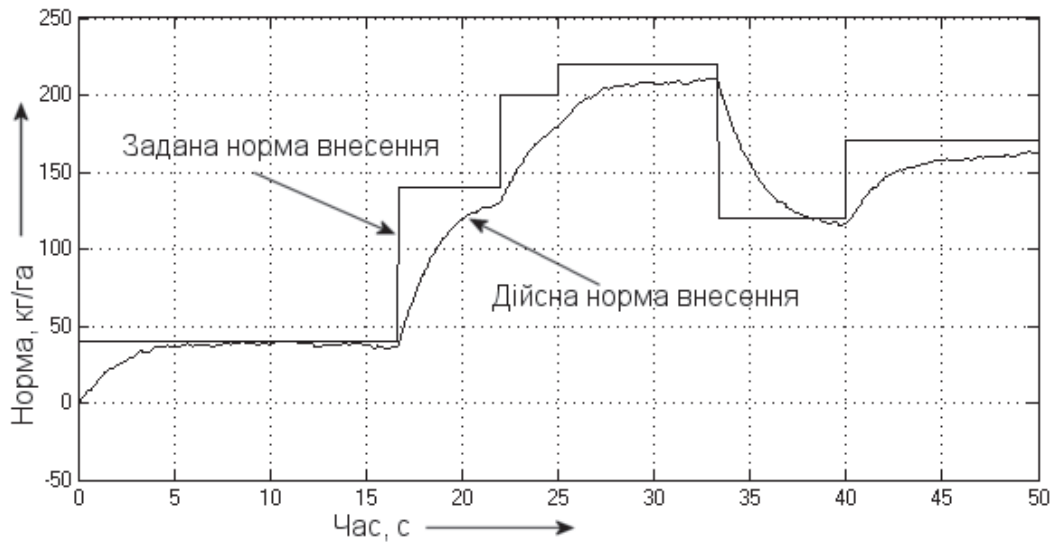


Рис. 3. Графік реалізації заданої норми внесення ТМ (без оптимізації керуючої дії  $U(t)$ )

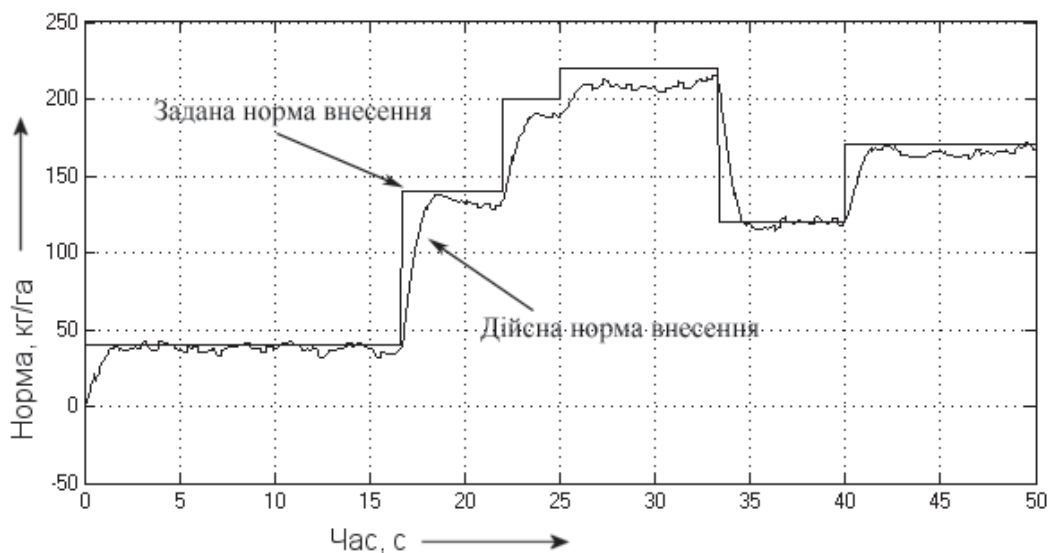


Рис. 4. Графік реалізації заданої норми внесення ТМ із оптимізованим значенням коефіцієнта  $K$

В результаті отримані наступні значення коефіцієнтів системи (21):

$$A = \begin{pmatrix} -300 & -203 & 1.3 \\ -203 & -1.05 & 1.16 \\ 1.3 & -1.16 & -0.01 \end{pmatrix}; B = \begin{pmatrix} -211.1 \\ -11.66 \\ 0.82 \end{pmatrix}. \quad (24)$$

$$C = (-211.1 \quad 11.66 \quad -0.82); D = 0.$$

Робота механізму регулювання інтенсивності потоку ТМ при цьому покращилась. Графік реалізації заданої норми внесення ТМ після оптимізації керуючої дії  $U(t)$  представлений на рис. 5. Величина середньоквадратичних відхилень SD різниці між дійсною нормою внесення мінеральних добрив та заданою нормою внесень склала  $SD=26$  кг/га.

Як бачимо, наведена методика пошуку оптимальних параметрів (або оптимального закону керуючої дії) дозуючих систем машин-реалізаторів може ефективно застосовуватись для випадків високого рівня визначеності умов перебігу технологічного режиму роботи машини. При низькому рівні визначеності умов протікання технологічного процесу роботи машини (при наявності випадкових навантажень та збурень з широким діапазоном змін статистичних характеристик) якість роботи машини-реалізатора може вийти за межі дозволеного.

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

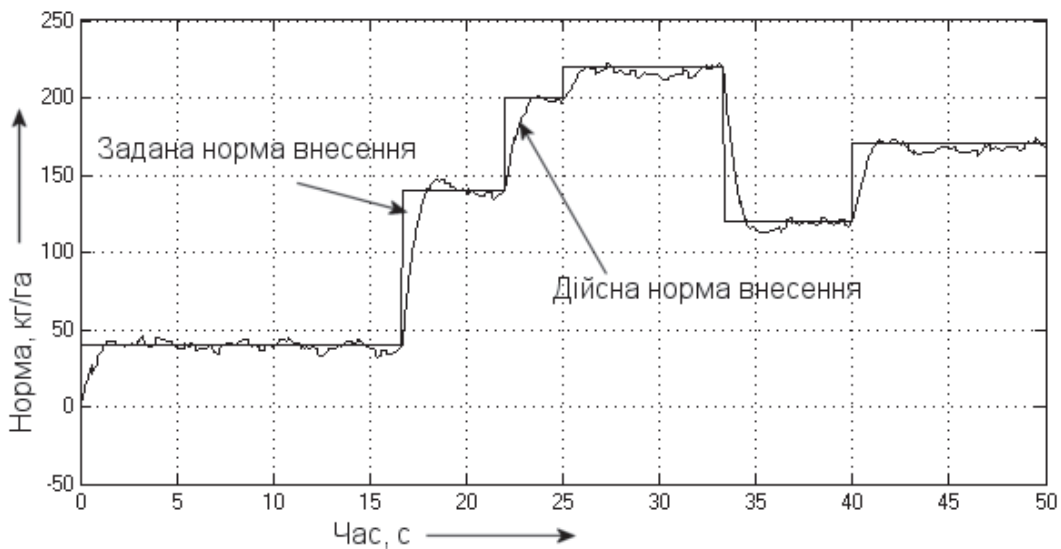


Рис. 5. Графік реалізації заданої норми внесення ТМ після оптимізації керуючої дії  $U(t)$

*Висновки.*

1. Керування технологічними режимами роботи СГМ, у разі роботи за технологіями ТЗ, необхідно проводити з урахуванням рівня і характеру місцевизначених параметрів, а також динамічних характеристик робочих органів СГМ.

2. В основу моделі внесення ТМ на поверхню поля доцільно покласти принцип формування щільності розподілу ТМ під впливом двох складових його руху: переносної складової руху разом з СГМ та відносної - під час руху ТМ по робочих органах сільгоспмашини.

3. На характер реалізації дійсної інтенсивності потоку внесення ТМ значною мірою впливають систематичні та шумові похибки вимірювань кінематичних режимів роботи МТА та датчиків зворотних зв'язків, що обумовлює підвищені вимоги до параметрів електромеханічних (-гідравлічних) елементів системи регулювання.

4. Для випадку керування положенням заслінки розподільника мінеральних добрив МВД-900 механізмом "електродвигун-редуктор-шток" оптимальними параметрами системи регулювання є: стала часу механізму регулювання  $T = 0,25$  с, коефіцієнт затухання  $\xi = 0,7$ , коефіцієнт передачі системи  $K = 40$ .

## Література:

1. *Аніскевич Л.В.* Модель функціонування посівної машини в системі точного землеробства. / *Л.В. Аніскевич* // Сб. научн. труд. Керченского морского техн. института "Механизация производственных процессов рыбного хозяйства, промышленных и аграрных предприятий". – Керчь: КМТИ, 2001, В.1. – С. 112 – 118.

2. *Смит О.* Автоматическое регулирование / *О. Смит.* – М.: Физматгиз, 1962. – 848 с.

3. *Понтаев Н.Ф., Дианов В.Г.* Основы теории автоматического регулирования и авторегуляторы / *Н.Ф. Понтаев, В.Г. Дианов.* – М.: Недра, 1970. – 366 с.

4. *Летов А.М.* Аналитическое конструирование регуляторов: ч I-V. Автоматика и телемеханика / *А.М. Летов* – 1960 – № 4,5,6.

**МОДЕЛЬ ВНЕСЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В ТОЧНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ**

Аніскевич Л.В.

**Аннотация** - составлена модель функционирования машины для внесения технологических материалов в основу которой положены принципы формирования плотности распределения

**технологического материала по площади поля под влиянием двух составляющих его движения: переносной составляющей движения вместе с машиной и относительной - во время движения технологического материала по рабочим органам машины.**

## **MODEL OF TECHNOLOGICAL MATERIAL INPUTS IN PRECISION FARMING**

L. Aniskevych

### *Summary*

**The model of functioning of the machine for technological inputs which based on the principles of forming the density of the technological material over the area of the field under the influence of two components: the motion of technological material together with the machine and the relative motion of the technological material along the working parts of the machine.**