

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ НАДІЙНОСТІ  
КЕРУВАННЯМ ПРОЦЕСАМИ ДОЗУВАННЯ І  
ПЕРЕРОЗПОДІЛУ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ В  
ТЕХНОЛОГІЯХ КЕРОВАНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА**

**І. М. Сівак, к.т.н.**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*Описана модель функціонування технологічної частини розподільника мінеральних добрив в технологіях точного землеробства*

**Постановка проблеми.** Для виконання операцій внесення технологічних матеріалів в аспекті керованого землеробства пріоритет мають розподільники із штанговими робочими органами. Такі машини мають сталу ширину захвату, високу рівномірність внесення мінеральних добрив порівняно з іншими машинами. Ці розподільники менш чутливі до змін рельєфу поверхні поля, їхні робочі органи більш придатні для застосування контрольованого перерозподілу мінеральних добрив по ширині захвату машини.

**Аналіз останніх досліджень.** Для застосування технологій змінних норм внесення мінеральних добрив існує необхідність дослідження моделі функціонування технологічної частини розподільника штангового типу з пневматичним висівним апаратом [1-5].

**Мета досліджень** обґрунтувати модель функціонування технологічної частини розподільника мінеральних добрив в технологіях точного землеробства.

**Результати досліджень.** Алгоритм формування заданих норм місцевизначеного перерозподілу мінеральних добрив за допомогою рухомого подільника конусного типу по напрямку руху, а також по ширині захвату розподільника з пневматичним висівним апаратом, можна описати наступною розрахунковою схемою (рис. 1).

Завданням на виконання технологічного процесу служить картограма - завдання, яка попередньо складається в офісних умовах на підставі ретельного аналізу агробіологічного потенціалу поля, що обробляється. Сигнал заданих змінних норм внесення технологічного матеріалу  $\delta_3(t)$  надходить до блоку розрахунку сигналу управління 1. На цей же ж блок приходить сигнал  $\gamma_1(t)$  від датчика контролю інтенсивності потоку добрив  $\alpha(t)$ .

Модель датчика представимо рівнянням:

$$\gamma_1'(t) = A_d \left\{ -\frac{1}{T_d} [\gamma_1(t) - \alpha(t)] \right\}, \quad (1)$$

де  $\gamma_1(t)$  - вихідний сигнал датчика;

$A_d = 1 + \Delta_d(t) + \xi_d(t)$ ;  $\Delta_d(t)$  та  $\xi_d(t)$  - систематична та випадкова складові

відносної помилки функціонування датчика;  
 $T_d$  - стала часу датчика;

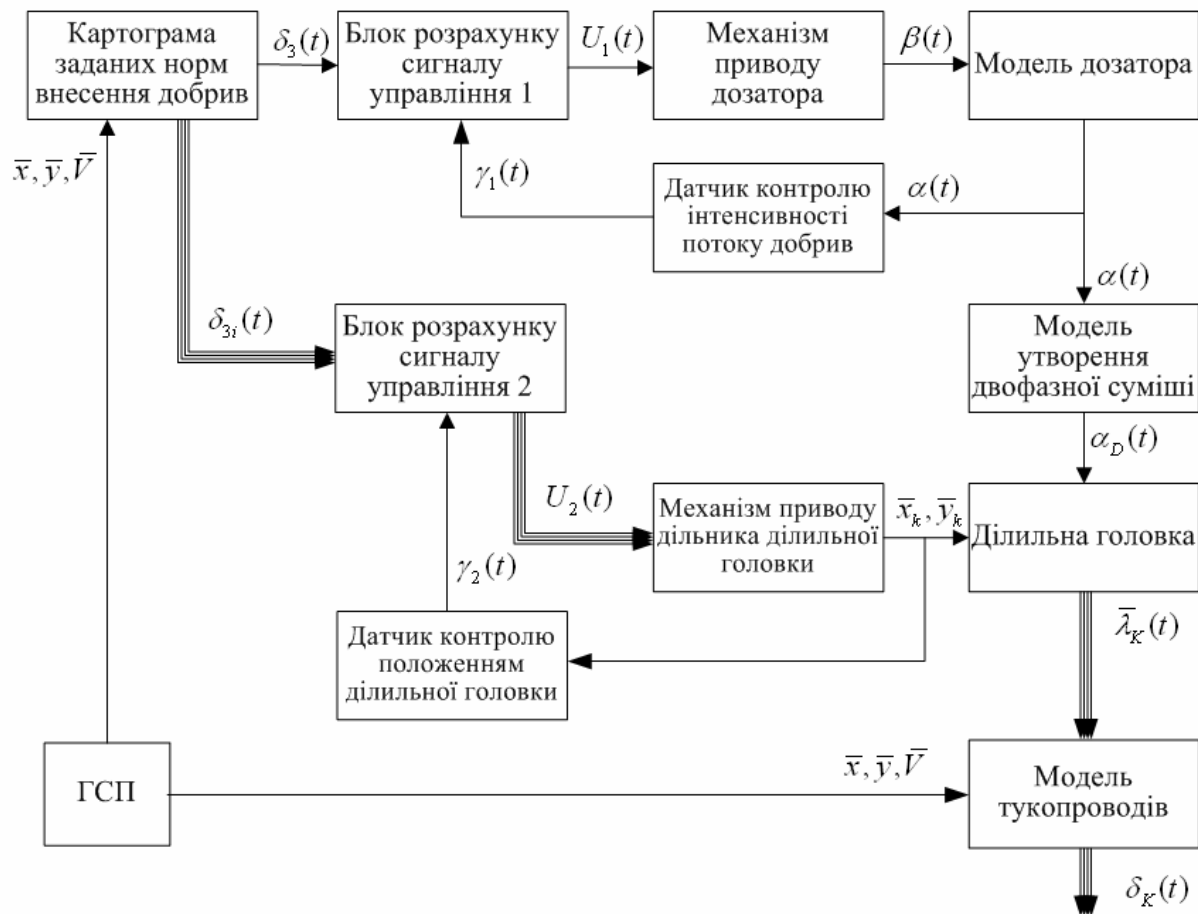


Рис. 1. Розрахункова схема керування процесами дозування і перерозподілу мінеральних добрив.

Рівень інтенсивності потоку добрив формується дозатором, робочі режими якого визначаються сигналом  $\beta(t)$ , який є вихідною величиною моделі блоку механізму приводу дозатора.

Оскільки, після миттєвої зміни керуючої дії  $U_1(t)$ , яка являється вхідною величиною механізму приводу дозатора, зміна інтенсивності  $\beta(t)$ , яку створює даний механізм, буде мати форму затухаючих синусоїдальних коливань, то її можна описати диференціальним рівнянням коливальної ланки системи автоматичного регулювання [1,2]:

$$T^2 \frac{d^2 X_{вих}}{dt^2} + T \frac{dX_{вих}}{dt} + X_{вих} = KX_{вх}, \quad (2)$$

де  $X_{вих}$ ,  $X_{вх}$  - вихідна та вхідна величина коливальної ланки відповідно;  
 $T, K$  - постійні коефіцієнти.

Для нашого конкретного випадку інтенсивність  $\beta(t)$  механізму приводу дозатора описується диференціальним рівнянням:

$$\beta''(t) = -\frac{2\xi_{np}}{T_{np}}\beta'(t) - \frac{\beta(t)}{T_{np}^2} + \frac{K_{np}U_1(t)}{T_{np}^2}, \quad (3)$$

де  $\xi_{np}$ ,  $K_{np}$ , та  $T_{np}$  - коефіцієнти затухання, підсилення та стала часу механізму приводу дозатора;  $U_1(t)$  - керуюча дія.

Інтенсивність вихідного потоку добрив  $\alpha(t)$  дозатора пов'язана з інтенсивністю вхідного потоку  $\beta(t)$  коефіцієнтом передачі  $k_p$ :

$$\alpha(t) = k_p(t)\beta(t); \quad (4)$$

де  $k_p(t) = k_u + \Delta k_p + \Delta \xi(t)$ ;  $k_u$  - установочне значення коефіцієнта передачі;

$\Delta k_p$  - систематичні похибки величини коефіцієнта передачі;

$\Delta \xi(t)$  - випадкові відхилення значення коефіцієнта передачі.

В результаті входження потоку добрив в потік повітря утворюється двофазна суміш "повітря-добрива". Цей процес описується моделлю утворення двофазної суміші з вихідним параметром  $\alpha_D(t)$ . Процес утворення двофазної суміші характеризується дисперсними явищами, що характерні для змішування твердих часток з повітряним потоком, що рухається з швидкістю більшою ніж швидкість витання часток добрив. Враховуючи той факт, що при миттєвій зміні параметра  $\alpha(t)$ , що являється вхідною величиною моделі утворення двофазної суміші, зміна вихідного параметра  $\alpha_D(t)$  під впливом коефіцієнта передачі буде запізнюватися в часі відносно  $\alpha(t)$ , то процес утворення двофазної суміші можна описати на основі диференціального рівняння аперіодичної ланки системи автоматичного регулювання [1,2]:

$$T \frac{dX_{вих}}{dt} + X_{вих} = KX_{вх}, \quad (5)$$

де  $X_{вих}$ ,  $X_{вх}$  - вихідна та вхідна величина аперіодичної ланки відповідно;

$T, K$  - постійні коефіцієнти, які залежать від конструкції і принципу дії елемента.

При цьому запрограмована двофазна суміш буде сформована за умови симетричності епюр сигналів вхідного  $\alpha(t)$  і вихідного  $\alpha_D(t)$  параметрів. В нашому конкретному випадку така симетричність забезпечується рівнянням 4-го порядку:

$$T \frac{d^4 \alpha_D(t)}{dt^4} + T \frac{d^3 \alpha_D(t)}{dt^3} + T \frac{d^2 \alpha_D(t)}{dt^2} + T \frac{d \alpha_D(t)}{dt} + \alpha_D(t) = K_n \alpha(t), \quad (6)$$

де  $T$  - коефіцієнт, величина якого залежить від статистичних характеристик параметрів  $C_d$ ,  $\rho_e$  та  $A$  часток мінеральних добрив;  $C_d$  - коефіцієнт аеродинамічного опору часток мінеральних добрив;  $\rho_e$  - густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;  $A$  - середня величина площі міделевого перерізу часток

добрив,  $\text{мм}^2$ ;  $k=1,2,\dots,n$  - порядок диференційного рівняння ланки, що описує процес розсіювання технологічного матеріалу при вільному його транспортуванні.  $\alpha_D(t)$  - інтенсивність потоку технологічного матеріалу з урахуванням процесів розсіювання його часток;  $K_3$  - коефіцієнт.

Надалі двофазна суміш надходить до ділильної головки, задача якої розподілити двофазну суміш "повітря-добрива" по тукопроводах у відповідності до сигналу  $\delta_{3i}(t)$ , який надходить від картограми-завдання. Блок розрахунку сигналу управління  $U_2(t)$  координує роботу механізму приводу подільника ділильної головки, задача якого виставити подільник в необхідне положення з координатами  $\bar{x}_k, \bar{y}_k$ . Модель роботи електрифікованого механізму приводу подільника ділильної головки представимо рівняннями:

$$\begin{cases} x_d''(t) = -\frac{2\xi_{np1}}{T_{np1}}x_d'(t) - \frac{x_d(t)}{T_{np1}^2} + \frac{K_{np1}U_2(t)}{T_{np1}^2}; \\ y_d''(t) = -\frac{2\xi_{np2}}{T_{np2}}y_d'(t) - \frac{y_d(t)}{T_{np2}^2} + \frac{K_{np2}U_2(t)}{T_{np2}^2} \end{cases} \quad (7)$$

де  $x_d$  та  $y_d$  - поточні координати центру подільника ділильної головки вздовж вісей  $X$  та  $Y$  (рис.2) відносної системи координат  $OXY$  відповідно;  $\xi_{np1}$ ,  $\xi_{np2}$ ,  $K_{np1}$ ,  $K_{np2}$ ,  $T_{np1}$ ,  $T_{np2}$  - коефіцієнти затухання, підсилення та стала часу механізмів переміщення подільника ділильної головки вздовж вісей  $X$  та  $Y$  відносної системи координат  $OXY$  відповідно.

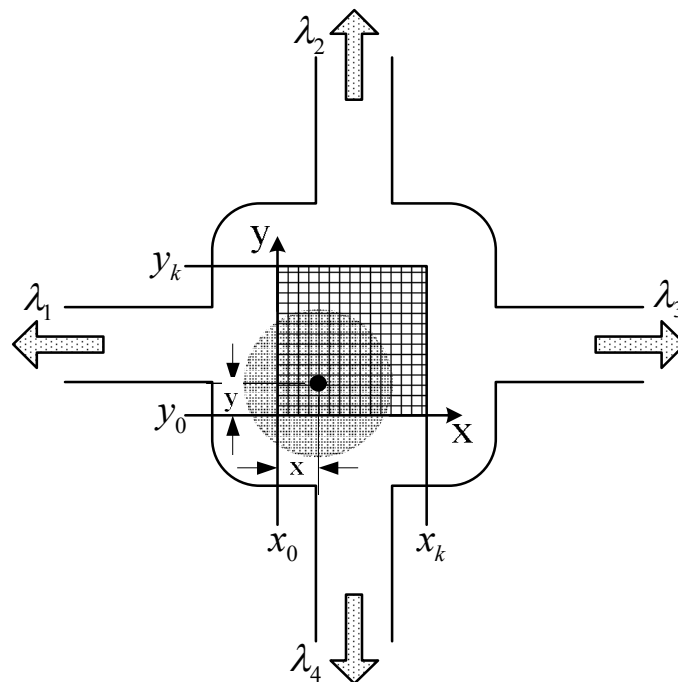


Рис. 2. Ділильна головка з чотирма висівними каналами.

Нормальна робота механізму приводу подільника ділильної головки забезпечується завдяки функціонуванню датчиків контролю положенням подільника ділильної головки з вихідним сигналом  $\gamma_2(t)$ . Представимо модель їх функціонування рівняннями:

$$\begin{cases} \gamma'_{2x}(t) = -\frac{A_{d2}}{T_{d2}}[\gamma_{2x}(t) - x_d(t)]; \\ \gamma'_{2y}(t) = -\frac{A_{d2}}{T_{d2}}[\gamma_{2y}(t) - y_d(t)], \end{cases} \quad (8)$$

де  $\gamma'_{2x}(t)$ ,  $\gamma'_{2y}(t)$  - вихідний сигнал датчика;  $A_d = 1 + \xi_{d2}(t)$ ;  $\xi_{d2}(t)$  - випадкова складова відносної помилки функціонування датчика;  $T_{d1}, T_{d2}$  - сталі часу датчиків.

В результаті описаних дій утворюється вектор потоків  $\bar{\lambda}_K(t)$ , кожен з яких надходить до відповідних тукопроводів. Робота останніх описується моделлю з вхідними сигналами  $\bar{\lambda}_K(t)$  та сигналом кінематичних параметрів руху агрегату  $\bar{x}, \bar{y}, \bar{V}$ , які надходять від датчика координат системи глобальної системи позиціонування.

Положення подільника в ділильній головці визначає інтенсивність вихідного потоку добрив  $\lambda_{Ki}(t)$  по кожному з чотирьох каналів регулювання ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) і описується рівнянням:

$$\lambda_{Ki}(t) = k_{pi}(t)\alpha_D(t), \quad (9)$$

де  $k_{pi}(t) = k_{ui} + \Delta\xi_i(t)$ ;  $k_{ui}$  - установочне значення коефіцієнта передачі по кожному з каналів ділильної головки, причому  $\sum_{i=1}^4 k_{ui} = 1$ ;  $\Delta\xi_i(t)$  - випадкові відхилення значення коефіцієнтів передач.

На виході з тукопроводів двофазна суміш "добрива-повітря" при дотриманні заданих режимів руху агрегату під дією глобальної системи позиціонування утворюють кінцеву щільність розподілу технологічного матеріалу по площі поля. При цьому довжина лінії траєкторії руху двофазної суміші по тукопроводах не є сталою. Шлях руху добрив від ділильної головки до центральних сошників менший ніж до периферійних, що впливає на формування кінцевої щільності розподілу добрив на полі. Тому будемо враховувати цей факт коефіцієнтом транспортного запізнення. Тоді кінцева щільність розподілу технологічного матеріалу по площі поля буде визначатися:

$$\delta_{Kij} = \frac{\lambda_{Ki} 10^4 (t + \tau_j)}{B \cdot S}, \text{ кг/га} \quad (10)$$

де  $\lambda_{Ki}$  - інтенсивність потоку добрив по  $i$ -му каналу регулювання;  $\tau_j$  - час запізнення доставки технологічного матеріалу до периферійних сош-

ників;  $j = 1, 2, \dots, n$  – порядковий номер сошника в  $i$ -му каналі регулювання.

**Висновок.** Рівняння (1-4, 6-10) складають модель функціонування технологічної частини розподільника мінеральних добрив в технологіях керованого землеробства. Закони регулювання  $U_1(t)$  та  $U_2(t)$  забезпечують досягнення усталеності процесу функціонування, а також роботу при допустимих значеннях помилки виконання завдання.

### Список використаних джерел

1. Пантаев Н.Ф. Основы теории автоматического регулирования и авторегуляторы / Н.Ф. Пантаев, В.Г. Дианов. – М.: Недра, 1970. – 326 с.
2. Зубов В.И. Математические методы исследования систем автоматического регулирования / В.И. Зубов. – Л.: Машиностроение, 1974. – 334 с.
3. Первухин В.Г. Горизонтальное транспортирование семян потоком высокой концентрации : автореф. ... канд. техн. наук / В.Г. Первухин. – М., 1989. – 20 с.
4. Бать М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах / Бать М.И., Джанилидзе Г.Ю., Кельзон А.С. – М.: Наука, 1972. – Т. 2. – 624 с.
5. Бутенин Н.В. Курс теоретической механики. / Бутенин Н.В., Луну Я.Л., Меркин Д.Р. – М.: Наука, 1979. – Т. 2. – 461 с.

### Аннотация

#### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ НАДЕЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ДОЗИРОВКИ И ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИЯХ УПРАВЛЯЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

**И.М. Сивак**

*Описана модель функционирования технологической части распределителя минеральных удобрений в технологиях точного земледелия.*

### Abstract

#### **MATHEMATICAL MODEL RELIABILITY MANAGEMENT PROCESSES AND DOSAGE REDISTRIBUTION OF MINERAL FERTILIZERS IN FARMING TECHNOLOGIES THAT CAN BE MANAGED**

**I. Syvak**

*Describe a model of the technological part of the distributor of fertilizers in the technology of precision farming.*