

интегрированных комплексов на базе спутниковой и курсо-скоростной навигационных подсистем с использованием датчиков с невысокими показателями точности без ухудшения показателей точности работы комплекса в целом. Разработана методика имитационного моделирования процессов навигации и управления движением МТА.

Полевая машина, навигационный комплекс, итерационный алгоритм, нелинейная регрессия, коррекция и экстраполяция оценок координат.

The invariant compensative with module of nonlinear regression method of treatment of navigation information at traffic of MTA control on set trajectory which can be applied for computer-integrated complexes on base of satellite and head-speeding navigation subsystems with use of sensors with low indexes of exactness without worsening of indexes of exactness of work of complex in whole is offered. The method of imitation design of processes of navigation and traffic of MTA control is developed.

Field mashine, navigating complex, iterative algorithm, nonlinear regression, correction and extrapolation of estimations of co-ordinates.

УДК 631:372

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ЧАСТИНКИ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ В ПОВІТРЯНОМУ ПОТОЦІ ПНЕВМАТИЧНОГО ВИСІВНОГО АПАРАТУ

І.М. Сівак, кандидат технічних наук

Досліджено рух частинок мінеральних добрив в транспоруючому трубопроводі пневматичного висівного апарату розподільника, який використовується в технологіях точного землеробства.

Добриво, частинка, висівний апарат, точне землеробство.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку технологій керованого землеробства, реалізацію внесення технологічних матеріалів доцільно проводити з використанням машин із пневматичними висівними апаратами. Такі машини мають сталу ширину захвату, високу рівномірність внесення технологічного матеріалу, порівняно з іншими розподільниками. На процес

© І.М. Сівак, 2012

внесення, при використанні цих машин, не впливають такі фактори, як зміна рельєфу поверхні поля та погодні умови, тому що технологічний матеріал від бункера до точки розподілу транспортується по закритих трубопроводах.

Мета досліджень. Для визначення правильного технологічного підходу до реалізації варійованого внесення матеріалів по ширині захвату такого розподільника, доцільно дослідити рух, наприклад, частинки мінеральних добрив у його пневматичному висівному апараті.

Результати досліджень. Розглянемо рух частинки матеріалу C , масою m , радіусом R з об'ємною масою матеріалу γ_u в повітряному потоці транспортуючого трубопроводу радіусом r (рис. 1) пневматичного висівного апарату.

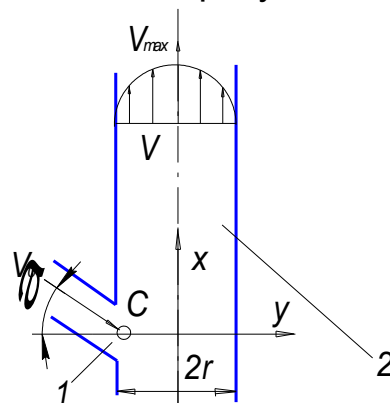


Рис. 1. Рух частинки добрив C в транспортуючому трубопроводі: 1 - дозуючий пристрій; 2 - транспортуючий трубопровід.

Швидкість повітряного потоку, яка діє по осі трубопроводу, рівна:

$$V_{n\max} = \sqrt{\frac{2H_{\text{дин}}}{\gamma_n}}, \text{ м / с} \quad (1)$$

де $H_{\text{дин}}$ - динамічний напір, кгс/ м²;

γ_n - об'ємна вага повітря повітряного потоку, кг/м³.

Частинка C потрапляє у транспортуючий трубопровід з деякою початковою швидкістю V_0 , яка спрямована під деяким кутом α до горизонту.

Вздовж осі транспортуючого трубопроводу, в напрямку руху частинки направимо вісь x , перпендикулярно до неї, в напрямку поперечного переміщення частинки по діаметру транспортуючого трубопроводу – вісь y .

Тоді проекції початкової швидкості на осі координат будуть рівні:

$$V_{ox} = -V_o \sin \alpha; V_{oy} = V_o \cos \alpha \quad (2)$$

Максимальне значення швидкості повітряного потоку V_{\max} досягається вздовж осі транспортуючого трубопроводу.

Зміна швидкості по діаметру трубопроводу відбувається згідно залежності [1]:

$$V_n = V_{n\max} \left[1 - \left(\frac{a}{r} \right)^{k_1} \right]^2 \quad (3)$$

де a - відстань від осі трубопроводу до точки, де знаходять значення швидкості повітряного потоку;

k_1 - коефіцієнт інтенсивності зміни швидкості потоку.

Причому, a може приймати значення від 0 (рух вздовж осі трубопроводу) до r (знаходження біля стінки трубопроводу).

На частинку мінеральних добрив у повітряному потоці транспортуючого трубопроводу діють сили (рис. 2): $\bar{G} = mg$, \bar{G} – сила тяжіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння, \bar{R} - сила тиску повітряного потоку на частинку мінеральних добрив.

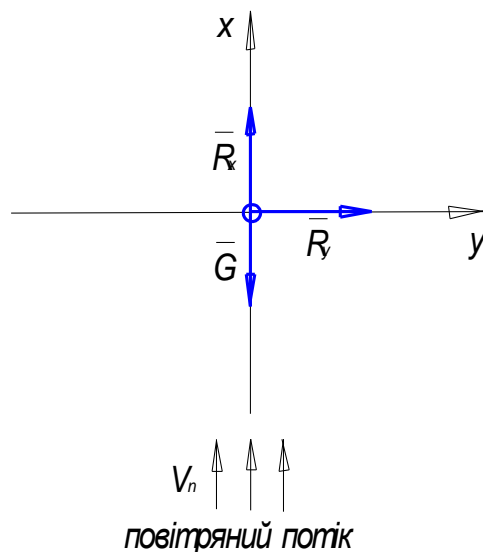


Рис. 2. Сили, які діють на частинку мінеральних добрив в повітряному потоці пневматичного висівного апарату.

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}, R_x = k_n m (V_n - V_x)^2; R_y = -k_n m V_y^2, \quad (4)$$

де k_n - коефіцієнт парусності частинки.

Тоді, відносний рух частинки мінеральних добрив в повітряному потоці описується векторним рівнянням [2, 3]:

$$m \frac{d\bar{V}}{dt} = \bar{G} + \bar{R}, \quad (5)$$

або в проекціях на осі координат x і y плоскої системи координат:

$$\left. \begin{aligned} m \frac{dV_x}{dt} &= R_x - G \\ m \frac{dV_y}{dt} &= R_y \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Розглянемо рух частинки мінеральних добрив вздовж осі x , для цього розпишемо перше рівняння системи (6), із врахуванням (4)

$$\frac{dV_x}{dt} = k_n (V_n - V_x)^2 - g \quad (7)$$

Рух частинки вгору можливий за умови

$$k_n (V_n - V_x)^2 - g > 0, \quad (8)$$

а отже:

$$V_x < V_n - \sqrt{\frac{g}{k_n}}. \quad (9)$$

В критичному стані: $V_{xkp} = V_n - \sqrt{\frac{g}{k_n}}$ (10)

Розглянемо диференціальне рівняння (7). Розв'язавши його інтегруванням в межах $-V_0 \sin \alpha \dots V_1$, отримаємо:

$$\sqrt{k_n g} t = \operatorname{arth} \left[\sqrt{\frac{k_n}{g}} (V_n - V_x) \right] - \operatorname{arth} \left[\sqrt{\frac{k_n}{g}} (V_n + V_0 \sin \alpha) \right], \quad (11)$$

після певних алгебраїчних перетворень з виразу (11), отримаємо:

$$V_x = V_n - \sqrt{k_n g} t \left\{ \sqrt{k_n g} t + \operatorname{arth} \left[\sqrt{\frac{k_n}{g}} (V_n + V_0 \sin \alpha) \right] \right\}. \quad (12)$$

З врахуванням (9), умова руху частинки мінеральних добрив вгору матиме наступний вигляд:

$$\sqrt{k_n g} t + \operatorname{arth} \left[\sqrt{\frac{k_n}{g}} (V_n + V_0 \sin \alpha) \right] > \operatorname{arth} \left(\frac{1}{k_n} \right). \quad (13)$$

Оскільки $V_x = \frac{dx}{dt}$, після підстановки у вираз (12), рівняння руху вздовж осі x , матиме вигляд інтегралу швидкості по часу

$$x = \int \left[V_n - \sqrt{k_n g} t \left\{ \sqrt{k_n g} t + \operatorname{arth} \left[\sqrt{\frac{k_n}{g}} (V_n + V_0 \sin \alpha) \right] \right\} \right] dt, \quad (14)$$

після інтегрування якого отримаємо

$$\begin{aligned} x &= V_n t + \frac{1}{2} \ln \left\{ -1 + t \left[\sqrt{k_n g} t + \operatorname{arth} \left[\sqrt{\frac{k_n}{g}} (V_n + V_0 \sin \alpha) \right] \right] \right\} + \\ &+ \frac{1}{2} \ln \left\{ 1 + t \left[\sqrt{k_n g} t + \operatorname{arth} \left[\sqrt{\frac{k_n}{g}} (V_n - V_0 \sin \alpha) \right] \right] \right\} + c_1 \end{aligned} \quad (15)$$

де c_1 - стала інтегрування, яка враховуючи початкові умови, дорівнює:

$$c_1 = -\frac{1}{2} \ln \left[\sqrt{\frac{k_n}{g}} (V_n - V_0 \sin \alpha) - 1 \right] - \ln \left[\sqrt{\frac{k_n}{g}} (V_n - V_0 \sin \alpha) + 1 \right]. \quad (16)$$

Після підстановки (16) у (15), отримуємо рівняння, яке визначає рух частинки мінеральних добрив вздовж осі x :

$$\begin{aligned} x(t) = & V_n t + \frac{1}{2} \ln \left\{ -1 + th \left[\sqrt{k_n g t} + \operatorname{arth} \left[\sqrt{\frac{k_n}{g}} (V_n - V_0 \sin \alpha) \right] \right] \right\} + \\ & + \frac{1}{2} \ln \left\{ 1 + th \left[\sqrt{k_n g t} + \operatorname{arth} \left[\sqrt{\frac{k_n}{g}} (V_n - V_0) \sin \alpha \right] \right] \right\} - \\ & - \frac{1}{2} \ln \left[\sqrt{\frac{k_n}{g}} (V_n - V_0 \sin \alpha) - 1 \right] - \frac{1}{2} \ln \left[\sqrt{\frac{k_n}{g}} (V_n - V_0 \sin \alpha) + 1 \right] \end{aligned} \quad (17)$$

Далі розглянемо рух частинки мінеральних добрив вздовж осі y , який згідно виразу (5) описується:

$$\frac{dV_y}{dt} = -k_n V_y^2. \quad (18)$$

Після інтегрування (18) отримуємо функцію проекції швидкості частинки мінеральних добрив на вісь y з часом:

$$V_y = \frac{V_0 \cos \alpha}{1 - k_n V_0 \cos \alpha t}. \quad (19)$$

Оскільки $V_y = \frac{dy}{dt}$, то після підстановки в (19) і інтегрування виразу, отримуємо рівняння руху частинки мінеральних добрив вздовж осі y , тобто, перпендикулярно напрямку руху повітряного потоку:

$$y = -\frac{\ln(1 - k_n \cos \alpha t)}{k_n} + c_2, \quad (20)$$

де c_2 - стала інтегрування, яка при початкових умовах: $t=0$; $y=0$ дорівнюватиме $c_2=0$.

Тоді:
$$y = -\frac{\ln(1 - k_n V_0 t \cos \alpha)}{k_n} \quad (21)$$

Як видно з рівнянь (12), (15), (17), швидкість переміщення частинки мінеральних добрив в повітряному потоці транспортуючого трубопроводу, залежить від її коефіцієнта парусності (рис. 3).

Висновок. Отже рух частинки мінеральних добрив в повітряному потоці пневматичного висівного апарату, описується системою рівнянь, що об'єднують рівняння (17) та (21). В зв'язку з різними швидкостями переміщення частинок мінеральних добрив в транспортуючому трубопроводі – точки їх контакту з поверхнею подільника ділильної головки, будуть різними.

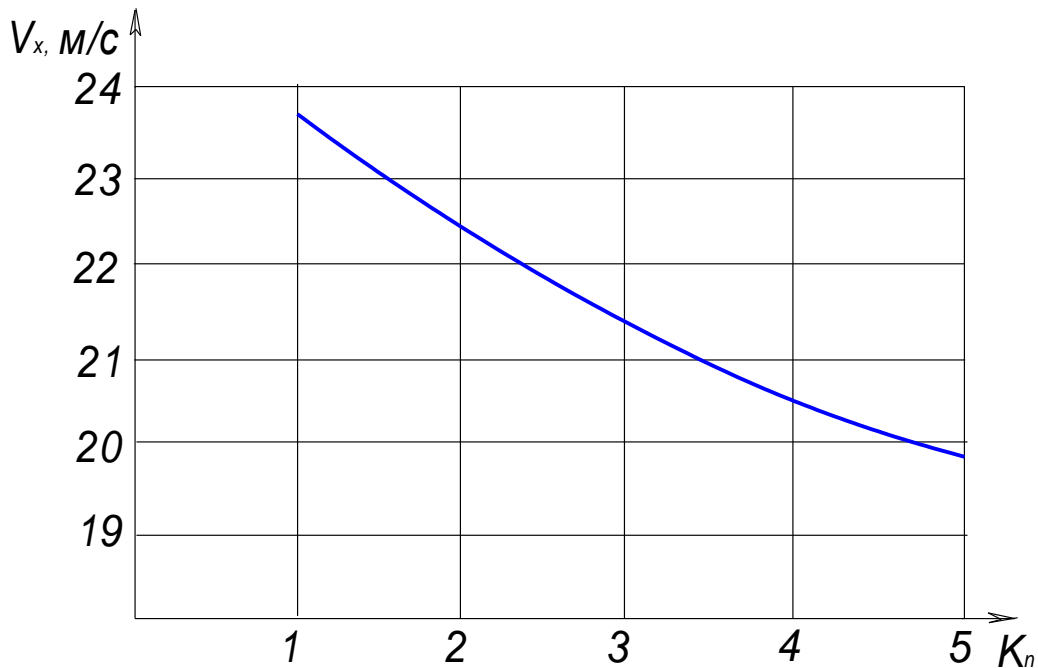


Рис. 3. Залежність швидкості переміщення частинки мінеральних добрив по вертикальній вісі координат від її коефіцієнта парусності у транспортуючому трубопроводі.

Список літератури

1. Первухин В.Г. Горизонтальное транспортирование семян потоком высокой концентрации. Автореф. ... канд. тех. наук : В.Г. Первухин. – М., 1989. – 20с.
2. Бать М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах. В 3 томах / Бать М.И., Джанилидзе Г.Ю., Кельзон А.С. – М.: Наука, 1972. – Т. 2. – 624 с.
3. Бутенин Н.В. Курс теоретической механики. В 2 томах / Бутенин Н.В., Луну Я.Л., Меркин Д.Р. – М.: Наука, 1979. – Т. 2. – 461 с.
4. Василенко П.М. Об уравнениях транспортировки частиц в сопротивляющихся средах / П.М. Василенко // Доклады ВАСХНИЛ. – 1970. – №4. – С. 44–46.
5. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко. – К.: УАСХН, 1960. – 283 с.

Исследовано движение частиц минеральных удобрений в транспортирующем трубопроводе пневматического высевающего аппарата распределителя, который работает в технологиях точного земледелия.

Удобрение, частица, высевной аппарат, точное земледелие.

The motion of particles of mineral fertilizers in conveying pipe pneumatic sowing machine distributor who works in technology for precision farming.

Fertilizers, particles, sowing apparatus, precision farming.