



УДК 631:372

## ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ЧАСТИНКИ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ В ПОВІТРЯНОМУ ПОТОЦІ ПНЕВМАТИЧНОГО ВИСІВНОГО АПАРАТУ

Сівак І.М., к.т.н.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Тел.: (044) 527-82-33

**Анотація** – досліджено рух частинок мінеральних добрив в транспортуючому трубопроводі пневматичного висівного апарату розподільника, який працює в технологіях точного землеробства.

**Ключові слова** – рух, частинка, мінеральні добрива, повітряний потік, висівний апарат.

*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 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.

*Аналіз останніх 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[1,4,5].

*Постановка завдання.* Аналітично описати рух частинок мінеральних добрив в транспортуючому трубопроводі пневматичного висівного апарату розподільника, який працює в технологіях точного землеробства.

*Основна частина.* Розглянемо рух частинки матеріалу  $S$ , масою  $m$ , радіусом  $R$  з об'ємною масою матеріалу  $\gamma_v$  в повітряному потоці транспортуючого трубопроводу радіусом  $r$  (рис. 1) пневматичного висівного апарату.

Швидкість повітряного потоку, яка діє по висі трубоводу, рівна

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

де  $H_{\text{дин}}$  – динамічний напір, кгс/м<sup>2</sup>;

$\gamma_n$  – об’ємна вага повітря повітряного потоку, кг/м<sup>3</sup>.

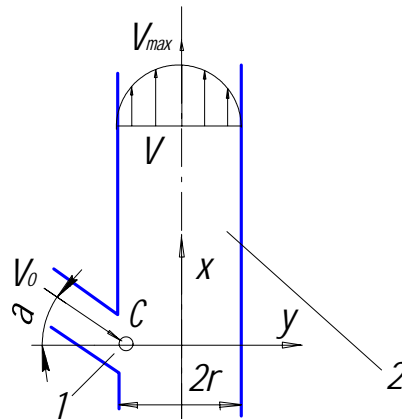


Рис. 1. Рух частинки добрив С в транспортуючому трубопроводі:  
1 – дозуючий пристрій; 2 – транспортуючий трубопровід.

Частинка С потрапляє у транспортуючий трубопровід з деякою початковою швидкістю  $V_0$ , яка спрямована під деяким кутом  $\alpha$  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

$$V_{ox} = -V_0 \sin \alpha ; V_{oy} = V_0 \cos \alpha . \quad (2)$$

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):  $\bar{G}$  – сила тяжіння,  $\bar{G} = mg$ , де  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння;  $\bar{R}$  – сила тиску повітряного потоку на частинку мінеральних добрив.

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + R_y^2}; \\ R_x &= k_n m (V_n - V_x)^2; \\ R_y &= -k_n m V_y^2, \end{aligned} \tag{4}$$

де  $k_n$  - коефіцієнт парусності частинки.

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

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

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

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

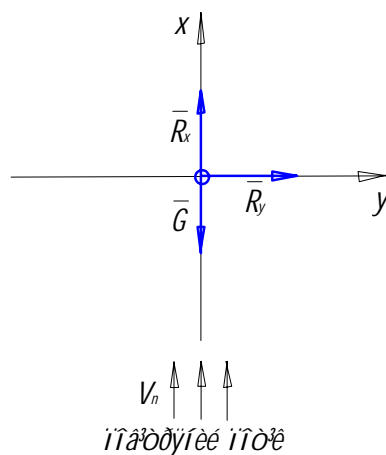


Рис. 2. Сили, які діють на частинку мінеральних добрив в повітряному потоці пневматичного висівного апарату.

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

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

Рух частинки вгору можливий за умови

$$k_n (V_n - V_x)^2 - g > 0, \tag{8}$$

а отже

$$V_x < V_n - \sqrt{\frac{g}{k_n}}. \tag{9}$$

В критичному стані  $V_{x_{кр}} = V_n - \sqrt{\frac{g}{k_n}}$ . (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

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

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  $x$

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

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 в разі, 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).

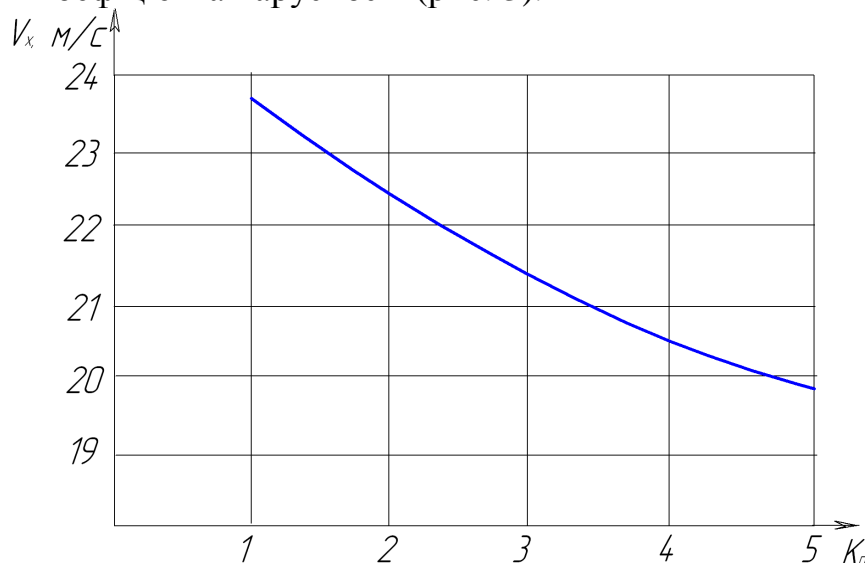


Рис. 3. Залежність швидкості переміщення частинки мінеральних добрив по вертикальній вісі координат від її коефіцієнта парусності у транспортуючому трубопроводі.

**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 діляльної головки, будуть різними.

## Література

1. *Первухин В.Г.* Горизонтальное транспортирование семян потоком высокой концентрации: Автореф. дисс... канд. техн. наук / *В.Г. Первухин*. – М., 1989. – 20 с.
2. *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.
3. *Бутенин Н.В.* Курс теоретической механики / *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.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ  
МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ  
ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА**

Сивак И.Н.

*Аннотация*

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

**THEORETICAL RESEARCH OF MOTION OF PARTICLES OF  
MINERAL FERTILIZERS AT AIR STREAM OF PNEUMATIC  
SOWING APPARATUSES**

I. Sivak

*Summary*

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