

ЗАКОНОМІРНОСТІ РУХУ ЧАСТОК В КВАЗІ ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ КАНАЛІ

Бакум М.В., к.т.н. проф., Ольшанський В.П., д.ф-м.н.проф.,
Крекот М.М., асист.

*Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка*

На основі отриманих формул, при аналітичному розв'язку спрощених нелінійних рівнянь руху часток в однорідному повітряному потоці встановлено основні закономірності переміщення часток з різними коефіцієнтами вітрильності в квазігоризонтальному сепарувальному каналі.

Постановка проблеми. Квазігоризонтальні повітряні канали широко використовуються в сільськогосподарському виробництві. Проте закономірності руху матеріалу в них досліджені недостатньо. При квадратичній залежності аеродинамічної сили від відносної швидкості потоку повітря рівняння польоту частки є нелінійними і для їх інтегрування використовують числові методи. Отримання аналітичних розв'язків пов'язані із значними математичними складнощами. Але їх отримання можливе після належного спрощення задачі Коші. Тому одержання наближених аналітичних розв'язків, які приводять до компактних розрахункових формул, залишається актуальною задачею, розв'язання якої спрощує дослідження закономірностей руху компонентів сільськогосподарських матеріалів в каналі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Із останніх робіт за проблемою повітряної сепарації зерна відмітимо [2, 3]. В роботі [2] обґрунтовано вплив живильника на ефективність сепарації у горизонтальному повітряному потоці. В дисертації [3] досліджено вплив нерівномірності потоку повітря по висоті каналу прямокутного перетину на якість розділення зернових сумішей. В статті [4] описані будова і принцип роботи зигзагоподібного кільцевого пневмосепаратора. Результати роботи модернізованого сепаратора з нахиленим повітряним каналом при очищенні насіння овочевих культур опубліковані в [5, 6]. Загальні напрямки інтенсифікації попереднього очищення зерна повітряними потоками і особисті результати досліджень наведені авторами в роботі [8].

Метою досліджень є визначення закономірності руху частки на основі отриманих наближених компактних формул для розрахунку кінематичних параметрів часток під час їх руху в однорідному повітряному потоці в плоскому каналі з малим кутом нахилу до горизонту.

Результати досліджень. Розглянемо повітряний прямокутний канал шириною h верхня і нижня стінки якого нахилені до горизонту під кутом α . Вектор швидкості висхідного однорідного повітряного потоку \vec{V} приймаємо сталим і спрямованим вздовж стінок каналу. Траєкторію польоту часток

розглянемо в повернутій на кут α прямокутній системі координат XOY , наведеній на рис 1. В цій системі координат проекції траєкторії руху часток є розв'язками диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} \ddot{x} - k(V - \dot{x})\sqrt{(V - \dot{x})^2 + \dot{y}^2} &= g \sin \alpha; \\ \ddot{y} - k\dot{y}\sqrt{(V - \dot{x})^2 + \dot{y}^2} &= g \cos \alpha, \end{aligned} \quad (1)$$

де k – коефіцієнт вітрильності часток;
 g – прискорення вільного падіння; крапка над символом визначає похідну за часом t .

Початкові умови до системи (1) приймаємо:

$$\dot{x}(0) = \mathcal{G}_1; \dot{y}(0) = \mathcal{G}_2; x(0) = 0; y(0) = 0, \quad (2)$$

де \mathcal{G}_1 і \mathcal{G}_2 – проекції початкової складової швидкості частки на осі OX та OY , відповідно.

Для отримання аналітичного розв'язку задачі Коші спростимо вихідні рівняння (1).

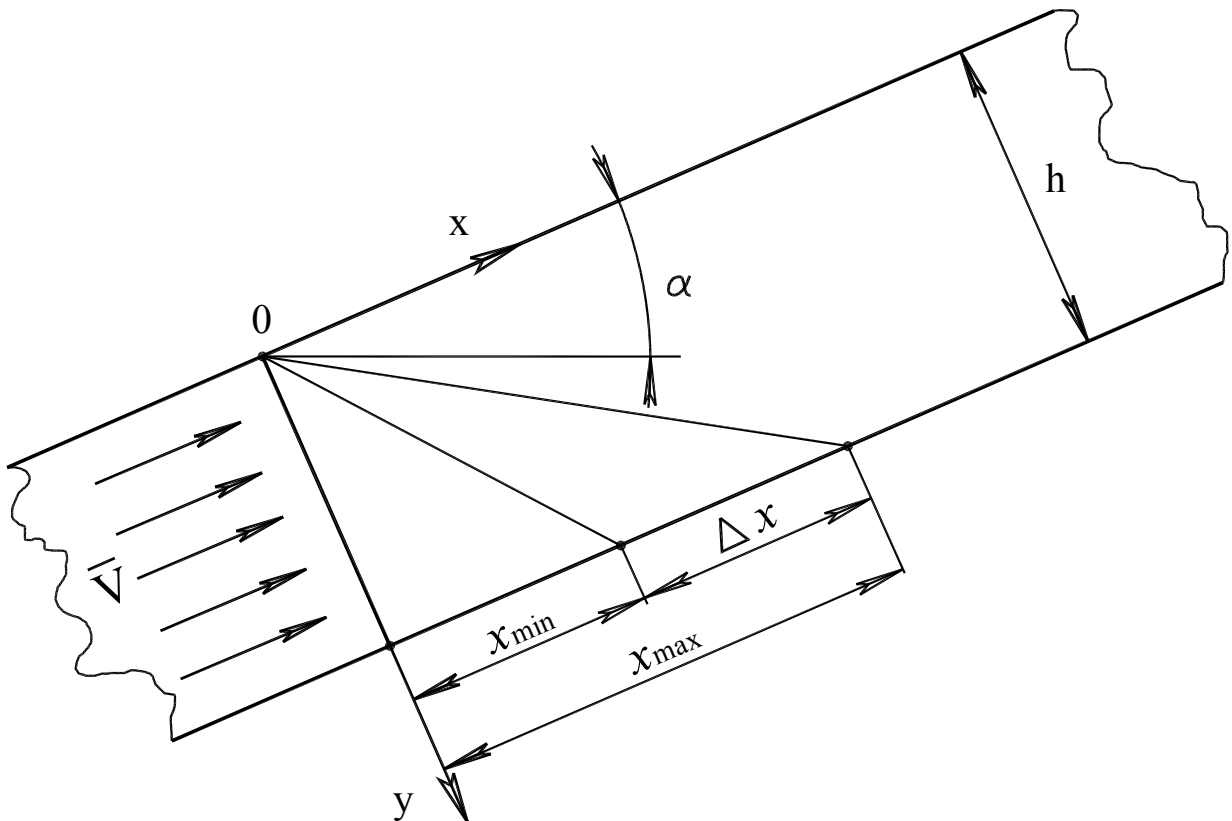


Рис. 1 – Розрахункова схема

Для пневматичного каналу в якого $\dot{y} \ll V - \dot{x}$, систему рівнянь (1) запишемо у вигляді:

$$\begin{aligned} \ddot{x} - k(V - \dot{x})^2 &= -g \sin \alpha; \\ \ddot{y} + k\dot{y}(V - \dot{x}) &= g \cos \alpha. \end{aligned} \quad (3)$$

Перше рівняння системи (3) не містить y і \dot{y} . Його інтегрування при початкових умовах (2), дає:

$$\dot{x}(t) = V - \mathcal{G}^* \frac{\exp(2k\mathcal{G}^* t) + c}{\exp(2k\mathcal{G}^* t) - c}; \quad (4)$$

$$x(t) = (V - \mathcal{G}^*) \cdot t - \frac{1}{k} \ln \frac{\exp(2k\mathcal{G}^* t)}{1 - c}, \quad (5)$$

де $\mathcal{G}^* = \sqrt{g \sin \alpha / k}$; $c = (V - \mathcal{G}_1 - \mathcal{G}^*)(V - \mathcal{G}_1 + \mathcal{G}^*)^{-1}$.

Враховуючи невеликі значення α (за постановкою задачі), спростимо друге рівняння системи (3), підставляючи в нього замість (4) більш простіший апроксимуючий вираз

$$\dot{x}(t) = V - \frac{V - \mathcal{G}_1}{1 + k(V - \mathcal{G}_1) \cdot t}.$$

В результаті такого перетворення, інтеграли з врахуванням (2), запишемо у вигляді:

$$\dot{y}(t) = \frac{1}{1 + k(V - \mathcal{G}_1) \cdot t} \left\{ \mathcal{G}_2 + g \cos \alpha \left[t + \frac{k}{2} (V - \mathcal{G}_1) \cdot t^2 \right] \right\};$$

$$y(t) = \frac{1}{k(V - \mathcal{G}_1)} \left[\mathcal{G}_2 - \frac{g \cos \alpha}{2k(V - \mathcal{G}_1)} \right] \ln [1 + k(V - \mathcal{G}_1) \cdot t] + \frac{1}{2} g \cos \alpha \cdot t \left[\frac{1}{k(V - \mathcal{G}_1)} + \frac{t}{2} \right]. \quad (6)$$

Щоб знайти час перельоту частки від верхньої стінки каналу до нижньої, де розташовані приймачі продуктів розділення, необхідно розв'язати рівняння:

$$y(t) = h, \quad (7)$$

в якому ліва частина визначається виразом (6).

Для цього запишемо (7) у вигляді:

$$A \ln z^2 + Bz^2 = h + B, \quad (8)$$

де
$$A = \frac{1}{2k(V - g_1)} \left[V_2 - \frac{g \cos \alpha}{2k(V - g_1)} \right]; \quad B = \frac{g \cos \alpha}{4k^2(V - g_1)^2};$$

$$z = 1 + k(V - g_1) \cdot t.$$

Із останнього виразу виходить, що

$$t = \frac{z - 1}{k(V - g_1)},$$

тому, знаючи z , можна визначити t .

При визначенні z , будемо розглядати три випадки.

1. В рівнянні (8) $A = 0$. Тоді

$$z = \sqrt{1 + \frac{h}{B}}.$$

2. Якщо в рівнянні (8) $A > 0$, то його можна перетворити до виду

$$\ln \frac{Bz^2}{A} + \frac{Bz^2}{A} = C, \quad (9)$$

де
$$C = \frac{h + B}{A} + \ln \frac{B}{A},$$

Розв'язок рівняння (9) виражається через функцію Ламберта $W(\xi)$ [9, 10] і має вигляд:

$$\frac{Bz^2}{A} = W(e^C) \Rightarrow z = \sqrt{\frac{A}{B} W(e^C)}.$$

3. Якщо в рівнянні (8) $A < 0$, то воно зводиться до виразу:

$$\ln \frac{Bz^2}{|A|} - \frac{Bz^2}{|A|} = -d, \quad (10)$$

в якому

$$d = \frac{h + B}{|A|} - \ln \frac{B}{|A|}.$$

Розв'язок рівняння (10) також записується через функцію Ламберта у вигляді:

$$z = \sqrt{\frac{A}{B} W(-e^{-d})}. \quad (11)$$

Таким чином, для розрахунку дальності польоту частки вздовж каналу потрібно визначити z , потім t та підставити його у формулу (5).

Традиційно на практиці вихідні значення параметрів такі, що $A < 0$ і z приходить визначати за формулою (11), тобто маємо справу з функцією Ламберта від'ємного аргументу. В цьому випадку її значення можна визначити методом лінійної інтерполяції за таблицею 1, наведеній в монографії [7, с. 181].

Результати досліджень впливу швидкості повітряного потоку в каналі та кута нахилу сепарувального каналу до горизонту на дальність польоту часток з різними коефіцієнтами вітрильності наведені на рис. 2 - 3.

З графіку рис. 2 видно що частки з більшим коефіцієнтом вітрильності при різних швидкостях повітряного потоку в каналі переміщуються на більшу відстань. Так при зміні швидкості повітряного потоку від 2 до 10 м/с дальність польоту часток у квазігоризонтальному каналі нахиленому до горизонту під кутом 5° дальність польоту часток збільшується з 0,02 до 0,57 м, для часток з коефіцієнтом вітрильності рівним 0,2; з 0,07 до 1,07 м, для часток з $k=0,45$; з 0,11 до 1,43 м, для часток з $k=0,7$; з 0,15 до 1,69 м, для часток з $k=0,95$; з 0,18 до 1,89 м, для часток з $k=1,2$. Різна інтенсивність зміни дальності польоту часток різної вітрильності підтверджує зростання поділяючої здатності каналу із збільшенням швидкості повітряного потоку. Аналіз результатів (рис. 3) показує що при збільшенні кута нахилу сепарувального каналу величина переміщення часток зменшується. Так, наприклад, при швидкості повітряного потоку 2 м/с в сепарувальному каналі встановленому під кутом $\alpha=0,5^\circ$ до горизонту частки з коефіцієнтом вітрильності $k=0,2$ переміщуються на відстань 0,039 м; частки з $k=0,45$ - на 0,088 м; частки з $k=0,7$ - на 0,13 м; частки з $k=0,95$ - на 0,16 м; частки з $k=1,2$ - на 0,2 м.

Збільшення кута нахилу до 5° спричинить зменшення дальності польоту часток. Так, для попереднього прикладу, дальність польоту часток відповідно зменшилась з 0,039 до 0,017 м у часток з $k=0,2$; з 0,088 до 0,067 м у часток з $k=0,45$; з 0,13 до 0,11 м у часток з $k=0,7$; з 0,17 до 0,15 м у часток з $k=0,95$; з 0,2 до 0,18 м у часток з $k=1,2$. Слід зазначити, що для часток з меншим коефіцієнтом вітрильності дальність польоту зменшується більш інтенсивно. Так для часток з $k=0,2$ дальність переміщення зменшилась в 2,21 рази, а для часток з $k=1,2$ лише в 1,08 рази.

Отримані залежності зміни дальності польоту часток від кута нахилу сепарувального каналу нелінійні, а їхні графіки майже паралельні для часток з різними коефіцієнтами вітрильності, тому поділяюча здатність із збільшенням кута нахилу практично не змінюється у досліджуваному діапазоні. Стає очевидною необхідність розробки математичної моделі яка б дозволила дослідити параметри польоту частки в сепарувальному каналі в залежності від кута його нахилу до горизонту.

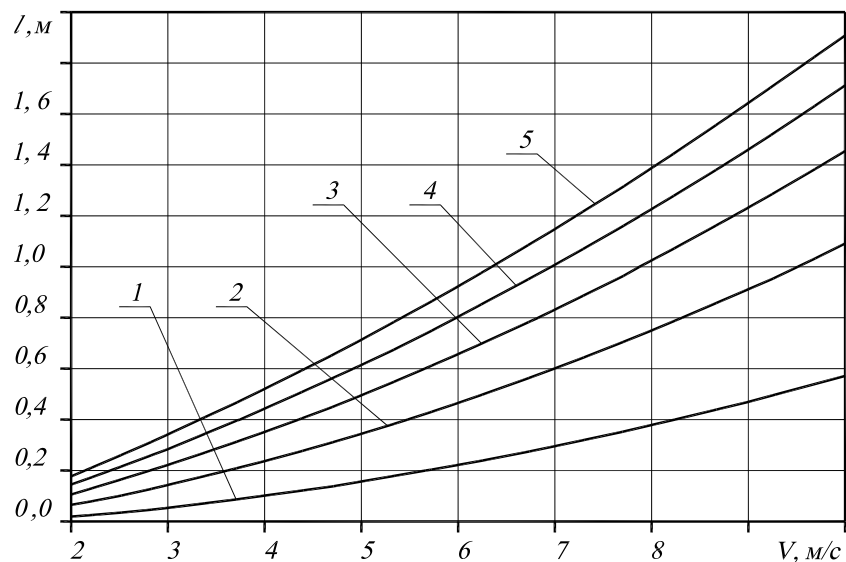


Рис. 2 – Залежність дальності польоту l часток у квазігоризонтальному каналі від швидкості V повітряного потоку при $\alpha = 5^\circ$: 1 - $k = 0,20$; 2 - $k = 0,45$; 3 - $k = 0,70$; 4 - $k = 0,95$; 5 - $k = 1,20$

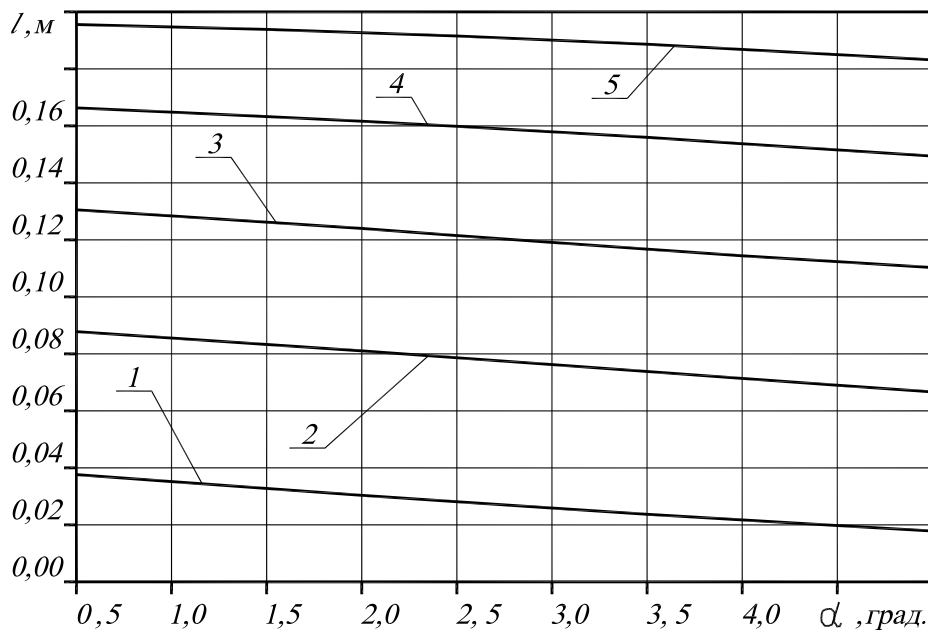


Рис. 3. Залежність дальності польоту l часток у квазігоризонтальному каналі від величини кута α його нахилу при $V = 2\text{ м/с}$: 1 - $k = 0,20$; 2 - $k = 0,45$; 3 - $k = 0,70$; 4 - $k = 0,95$; 5 - $k = 1,20$

Висновки

1. В результаті проведених теоретичних досліджень створена спрощена нелінійна математична модель руху компонентів насінневої суміші у квазігоризонтальному плоскому каналі пневматичного сепаратора, отриманий аналітичний розв'язок спрощених нелінійних рівнянь руху часток в сепарувальному каналі, а також формули для розрахунків швидкості та траєкторії їх польоту в каналі з малим кутом нахилу до горизонту.

В результаті аналізу проведених теоретичних досліджень встановлено, що величина переміщення часток вздовж каналу та його поділяюча здатність суттєво залежить від швидкості повітряного потоку і коефіцієнтів вітрильності часток.

2. Швидкість повітряного потоку більш інтенсивно впливає на величину переміщення часток з більшою вітрильністю. При збільшенні швидкості від 1 до 10 м/с величина переміщення збільшується в 10,32 рази для легких часток з $k = 1,2$, і в 32,17 рази для часток з $k = 0,2$.

3. Кут нахилу сепарувального каналу менш інтенсивно впливає на величину переміщення часток з більшим коефіцієнтом вітрильності. При збільшенні α від 0,5 до 5° переміщення часток з $k = 0,2$ зменшується від 0,039 до 0,017 м (в 2,21 рази) при $V = 2 \text{ м/с}$, а переміщення часток з $k = 1,2$ зменшується лише від 0,198 до 0,183 м (1,07 рази).

Список використаних джерел

1. Васильковський М.І. Аналіз сучасного стану повітряної сепарації зерна / М.І. Васильковський, С.Я. Гончарова, С.М. Лещенко, О.В. Нестеренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип. 36. – Кіровоград: КНТУ, 2006. – С. 11-114.
2. Єрмак В.П. Обґрунтування способу сепарування соняшника у повітряних потоках: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Луганськ, 2003. - 21 с.
3. Абдуєв М.М. Обґрунтування параметрів сепаратора з нахиленим повітряним каналом для розділення зернових сумішей: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Харків, 2007. – 21 с.
4. Степаненко С.П. Дослідження процесу пневматичної сепарації насіння в кільцевому зигзагоподібному сепараторі // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – С. 59-65.
5. Бакум М.В., Кречот М.М. Дослідження впливу основних параметрів пневматичного сепаратора на якість очищення насіння редиски // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. – Вип. 18. Луцьк: ЛНТУ, 2009. – С. 14-19.
6. Бакум М. В., Кречот М. М., Абдуєв М. М. та інш. Дослідження можливості підвищення посівних властивостей насіння дині // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, 2004. – Вип. 93, Т. 1. – С. 82 – 88.
7. Кучеренко С.І. Балістика крапель, які випаровуються при польоті / С.І. Кучеренко, В.П. Ольшанський, С.В. Ольшанський, Л.М. Тіщенко // Харків: ХНТУСГ, 2007. – 304 с.
8. Лещенко С.М. Підвищення ефективності попереднього очищення зернових сумішей / С.М. Лещенко, О.М. Васильковський, М.І. Васильковський, В.В. Гончаров // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. – Вип. 18. Луцьк: ЛНТУ, 2009. – С. 230-235.

9. Corless R.M., Gonnet G.H., Hare D.E.G., Jeffrey D.J. and Knuth D.E. On The Lambert W Function // Advances in Computational Math., V. 5, 1996, p. 329-359.
10. Fariel Shafee. Lambert function and new non-extensive form of entropy // IMA Journal of Applied Mathematics, V. 72, 2007, p. 785-800.

Аннотация

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ В КВАЗИГОРИЗОНТАЛЬНОМ КАНАЛЕ

Бакум Н., Ольшанский В., Крекот Н.

На основе полученных формул, при аналитическом решении упрощенных нелинейных уравнений движения частиц в однородном воздушном потоке установлена основная закономерность перемещения частиц с разными коэффициентами парусности в квазигоризонтальном сепарирующем канале.

Abstract

CONFORMITY TO THE LAW OF MOTION OF PARTICLES IN A KVAZIGORIZONTALNOM CHANNEL

N. Bakum, V. Olshanski, N. Krekot

On the basis of the got formulas, at the analytical decision of the simplified nonlinear equalizations of motion of particles in the homogeneous current of air basic conformity to the law of moving of particles with different coefficients of parusnosti in a kvazigorizontalnomo separiryushem channel is set.

УДК 631.362

ПОЛЬОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ СІВБИ ОГІРКІВ, ДИНЬ ТА КАВУНІВ

Бакум М.В., к.т.н., проф., Ящук Д.А., асист.

*Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка*

Наведені результати польових досліджень впливу різних способів сівби на польову схожість, урожайність та якість вирощеної продукції огірків, динь та кавунів

Постановка задачі. Одним із шляхів підвищення врожайності овочевих культур є забезпечення дружніх сходів, які багато в чому визначаються погодними умовами, якістю посівного матеріалу, підготовкою поля до сівби та способом висіву насіння.

Поряд з традиційними способами висіву насіння овочевих культур