УДК 631. 362. 36

С.М. Мороз, інж., М.І. Васильковський, доц., канд. техн. наук,
О.М. Васильковський, доц., канд. техн. наук, В.В. Гончаров, доц., канд. фіз.–мат. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Аналіз багатошарового руху зерна на нерухомій похилій робочій поверхні

Стаття присвячена аналізу багатошарового руху зернового матеріалу по нерухомій похилій робочій поверхні.
шар зерна, рух частки, похила поверхня, коефіцієнти тертя, рівняння, сепарування

Нерухомі похили поверхні є значно поширені в зерноочисних машинах і їх робочих органах для забезпечення необхідного руху зерна при його транспортуванні та переробці. Ефективність їх роботи завжди пов'язана з забезпеченням раціональних умов руху зерна на робочій поверхні, які залежать від багатьох факторів. Тому для інтенсифікації процесу сепарації на основі забезпечення оптимальних умов руху зерна на робочих поверхнях необхідно враховувати дію всіх основних факторів.

Відомі теоретичні дослідження руху зерна на нерухомій похилій поверхні [1, 2] базуються на аналізі умов руху ізольованої матеріальній частки, тобто без урахування впливу міжшарових сил, які в більшості випадках реально мають місце. Тому результати таких досліджень не завжди збігаються з закономірностями реального багатошарового руху і не дають відповіді на певні питання багатошарового руху, які виявлено експериментально [3]. Насамперед це стосується впливу на закономірності цього руху як кількості шарів зерна на робочій поверхні, так і величини співвідношення коефіцієнтів його внутрішнього та зовнішнього тертя.

Метою даної роботи було визначення закономірностей багатошарового руху зерна на нерухомій похилій поверхні з урахуванням впливу дії його міжшарових сил.

При розгляді даного питання зробимо наступні припущення:

– всі частки зернового матеріалу є однаковими за масою і розмірами;

– розміри часток зерна не враховуємо, а приймаємо за матеріальні точки;

– коефіцієнти зовнішнього тертя часток по похилій площині f_1 та внутрішнього тертя f_2 не залежать від швидкості руху і навантаження, тобто $f_1, f_2 = \varphi(v, Q) = const$;

– дія сил сусідніх часток, які знаходяться ліворуч, праворуч, попереду та позаду відносно тієї що розглядається взаємно врівноважуються, а їх сума рівна нулю.

На частку зерна нижнього (першого) шару, яка розглядається, діють (рис.1):

– сила власної ваги m_1g;

– сила ваги верхніх шарів m_2g;

– нормальна реакція нижньої частки внаслідок дії на неї верхньої N_2;

– сила внутрішнього тертя між частками нижнього та верхнього шарів F_2;

– нормальна реакція робочої поверхні, по якій рухається розглядувана частка N_1;

– сила тертя частки по робочій поверхні F_1.

До відомих сил необхідно віднести силу ваги часток нижнього та верхніх шарів (відповідно m_1g та m_2g), реакцію N_2 та силу внутрішнього тертя F_2.

© С.М. Мороз, М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, В.В. Гончаров , 2011

Запишемо вирази визначення відомих сил:

$$N_2 = m_2 g \cos\alpha ;$$

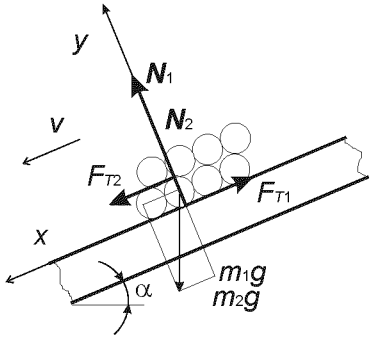


Рисунок 1 – Схема сил, що діють на зернову частку при її русі по похилій шорсткій поверхні

$$F_2 = f_2 N_2 = f_2\, m_2 g \cos\alpha ,$$

де f_2 – коефіцієнт внутрішнього тертя зернових часток;

α – кут нахилу поверхні.

Знайдемо невідомі сили:

$$N_1 = f_1(m_1 + m_2)\cos\alpha ;$$

$$F_1 = f_1 N_1 = f_1(m_1 + m_2)\cos\alpha ,$$

де f_1 – коефіцієнт тертя зернових часток по похилій шорсткій поверхні.

Запишемо баланс сил, що діють на зернову частку нижнього ряду відносно осі X:

$$m_1 g \sin\alpha + m_2 g \sin\alpha + f_2 m_2 g \cos\alpha - f_1(m_1 + m_2)\cos\alpha - m_1 \frac{dV_1}{dt} = 0 . \qquad (1)$$

З виразу (1) виведемо рівняння руху зернової частки нижнього ряду під дією зовнішніх сил:

$$m_1 \frac{dV_1}{dt} = m_1 g \sin\alpha + m_2 g \sin\alpha + f_2 m_2 g \cos\alpha - f_1(m_1 + m_2)\cos\alpha . \qquad (2)$$

Спростимо праву частину виразу

$$m_1 \frac{dV_1}{dt} = \left((m_1 + m_2)\sin\alpha - [(m_1 + m_2) f_1 - m_2 f_2]\cos\alpha\right)\cdot g .$$

Розділимо тепер обидві частини на масу частки нижнього шару й отримаємо

$$dV_1 = g\left(\left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right)\sin\alpha - \left[(1 + \frac{m_2}{m_1}) f_1 - \frac{m_2}{m_1} f_2\right]\cos\alpha\right)dt . \qquad (3)$$

Після інтегрування цього виразу за часом та визначення константи інтегрування для початкової умови, що $V_0 \neq 0$, отримаємо остаточне рівняння для швидкості руху частки нижнього шару з урахуванням впливу на неї сил тертя і нормального тиску від часток верхнього шару

$$V_1 = V_0 + gt\left(\left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right)\sin\alpha - \left[(1 + \frac{m_2}{m_1}) f_1 - \frac{m_2}{m_1} f_2\right]\cos\alpha\right). \qquad (4)$$

Аналіз отриманого рівняння (4) і відповідних графічних залежностей руху частки зерна для нижнього шару показує наступне.

Для зерна, що рухається тонким шаром товщиною в одне зерно, тобто коли число шарів $n=1$ та $m_2=0$, рівняння (4)матиме вигляд

$$V_{1_{(1)}} = V_0 + gt(\sin\alpha - f_1 \cos\alpha). \qquad (5)$$

Це рівняння повністю відповідає рівнянню руху для ізольованої матеріальної точки по похилій поверхні [1, 2], яке являється частковим випадком рівняння (4).

Для руху зерна з товщиною шара в два зерна, тобто для n=2 і при однаковій маси всіх часток в кожному шарі (m_2=m_1), в залежності від значень коефіцієнтів тертя зовнішнього f_1 та внутрішнього f_2 вираз (4) матиме вигляд:

– для умов, якщо коефіцієнти тертя різні, тобто $f_1 \neq f_2$

$$V_{1_{(2)}} = V_0 + gt\left(2\sin\alpha - (2f_1 - f_2)\cos\alpha\right); \tag{6}$$

– або якщо коефіцієнти тертя рівні за значенням, тобто $f_1 = f_2$

$$V_{1_{(2)}}{}' = V_0 + gt\left(2\sin\alpha - f_1\cos\alpha\right). \tag{7}$$

Для випадку руху зерна на робочій поверхні в три ряди (n=3, m_2=2m_1) вирази (6) та (7) набудуть наступного вигляду:

– при $f_1 \neq f_2$

$$V_{1_{(3)}} = V_0 + gt\left(3\sin\alpha - (3f_1 - 2f_2)\cos\alpha\right); \tag{8}$$

– при $f_1 \neq f_2$

$$V_{1_{(3)}}{}' = V_0 + gt\left(3\sin\alpha - f_1\cos\alpha\right). \tag{9}$$

Узагальнення окремих випадків (5)–(9) рівняння (4) при визначенні швидкості руху часток нижнього шару зерна при його багатошаровому русі на нерухомій похилій поверхні, в залежності від значень його коефіцієнтів тертя f_1 і f_2 та з урахуванням, що $m_2 = (n-1)m_1$, можна записати наступним чином:

– при $f_1 \neq f_2$

$$V_{1_{(n)}} = V_0 \pm gt\left(n\sin\alpha - (nf_1 - (n-1)f_2)\cos\alpha\right); \tag{10}$$

– при $f_1 = f_2$

$$V_{1_{(n)}}{}' = V_0 + gt\left(n\sin\alpha - f_1\cos\alpha\right). \tag{11}$$

Більш інформативною є залежність швидкості руху частки від шляху, який вона пройшла. Для цього виразимо з (10) значення часу

$$t = \frac{v_{1_{(n)}} - v_0}{g\left(n\sin\alpha - (nf_1 - (n-1)f_2)\cos\alpha\right)}. \tag{12}$$

Проінтегрувавши (10) за часом та підставивши (12), після перетворень отримаємо наступний вираз:

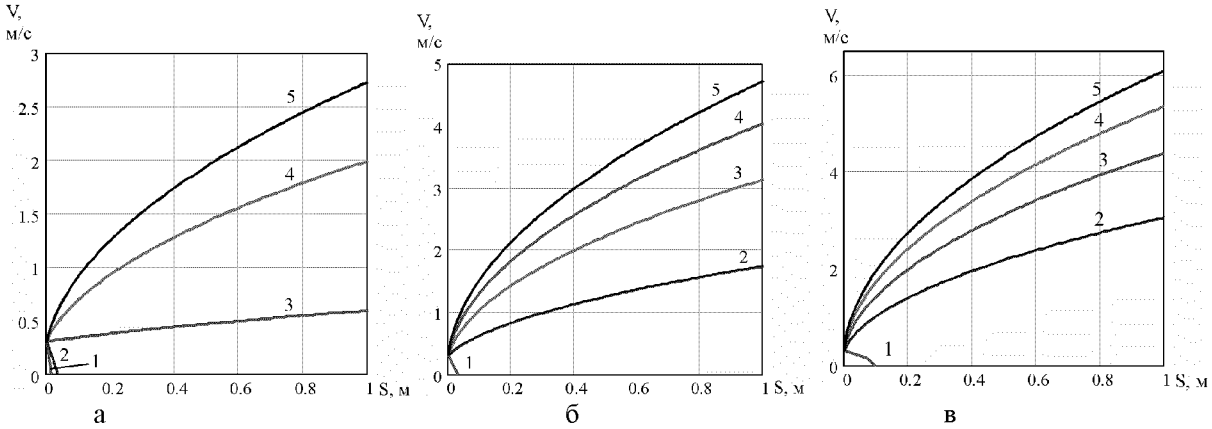
$$v_{1_{(n)}} = \sqrt{v_0^2 + 2\cdot g\cdot S\cdot\left(n\sin\alpha - (nf_1 - (n-1)f_2)\cos\alpha\right)}. \tag{13}$$

Графічне зображення закономірностей руху зерна за одержаним рівнянням для різних умов представлено на рисунках 2–3.

Таким чином, на основі проведених нами теоретичних досліджень отримано наступні результати і висновки:

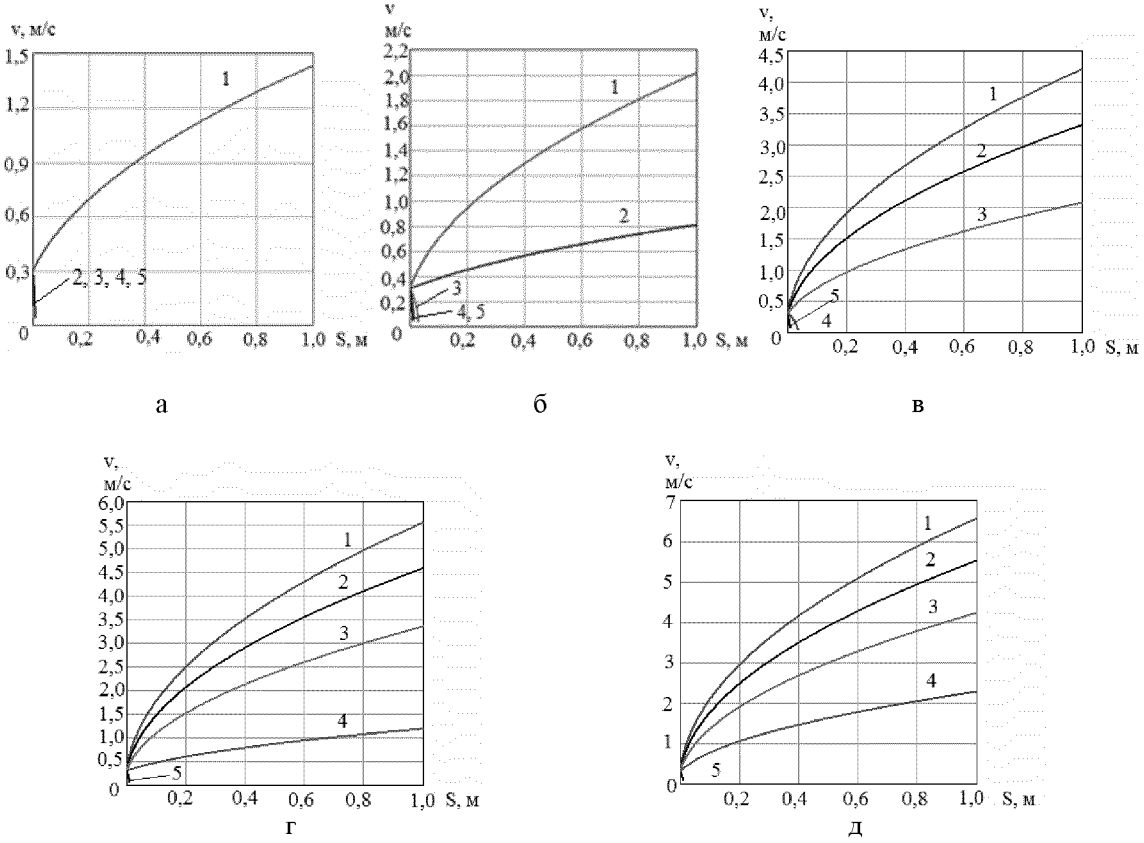
1) встановлено, що багатошаровий рух зерна на похилий робочий поверхні порівняно з одношаровим має певні відмінності, які впливають на закономірності зміни їх швидкості і тому використання загально відомого рівняння (5) [1, 2] для визначення швидкості багатошарового руху зерна не завжди дає задовільних результатів;

2) багатошаровий рух порівняно з одношаровим прискорює швидкість руху часток нижнього шару, при цьому чим більша кількість шарів на робочій поверхні, тим більша і їх швидкість;



а, б, в – відповідно при n=1; n=2; n=3; 1 – α=0°; 2 – α=10°; 3 – α=20°; 4 – α=30°; 5 – α=40°

Рисунок 2 - Графіки залежностей швидкості руху часток нижнього шару при $f_1<f_2$



а, б, в, г, д – відповідно при кутах нахилу поверхні відносно горизонту 0, 10°, 20°, 30° та 40°; 1, 2, 3, 4, 5 – відповідно для часток нижнього (першого) шару(n=4), другого шару (n=3), третього шару (n=2), четвертого шару (n=1) та п'ятого шару (n=0)

Рисунок 3 - Графіки зміни швидкості руху часток різних шарів

3) одношаровий рух зерна на нерухомій похилій поверхні являється окремим (частковим) випадком багатошарового і тому може визначатися за допомогою рівняння (4), яке за відсутності верхніх шарів (m_2=0, при n=1) перетворюється в рівняння (5);

4) на характер зміни швидкості часток зерна в нижньому шарі впливає велична співвідношення його коефіцієнтів внутрішнього і зовнішнього тертя, а саме в залежності від їх співвідношення зміна кількості шарів зерна на похилій робочій поверхні може збільшувати, зменшувати або не вливати на зміну їх швидкості.

Отримані нами результати аналітичних досліджень добре узгоджуються з даними експериментальних досліджень і дозволяють більш ефективно здійснювати обґрунтування параметрів відповідних робочих органів різних машин при їх проектуванні і розрахунку.

Список літератури

1. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. – К.: УСХА, 1960. – 263 с.
2. Заика П.М. Избранные задачи земледельческой механики: Практ. пособие. – Киев: Изд-во УСХА,1992. – 512 с.
3. 3.Васильковский М.И. Повышение эффективности сепарации зерна на быстровращающемся цилиндрическом решете: Дис… канд. техн. наук: 05.20.01. –Кировоград, 1987. – 164 с.

С. Мороз, М. Васильковский, А. Васильковский, В. Гончаров

Анализ многослойного движения зерна по неподвижной наклонной рабочей поверхности

Статья посвящена анализу многослойного движения зернового материала по неподвижной шероховатой поверхности

S. Moroz, M.Vasilkovski, A. Vasilkovski, V. Gontsarov

Analysis of multi-grain movement on a stationary inclined work surface

The article is devoted to the analysis of motion of corn material in a lot of layers on an immobile rough surface.

Одержано 30.09.11