

**ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДРИВНОГО РУХУ ЧАСТКИ
СИПКОГО МАТЕРІАЛУ ПО РОБОЧОМУ ОРГАНУ ВІБРАЦІЙНОГО
ДОЗАТОРА З ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ЗБУДЖУВАЧЕМ КОЛИВАНЬ**

Єрмак В.П., д.т.н., проф., Богданов Є.В., к.т.н., доц., Грачов О.С., магістр.
(Луганський національний аграрний університет)

В статті розглянуто рух частки сипкого матеріалу з відривом від несучої поверхні. Проведено аналіз кінематичних параметрів мікро польоту частки. На основі аналізу визначені прискорення, швидкості та переміщення частки матеріалу на етапах розгону та мікро польоту частки сипкого матеріалу.

Режими руху частки по поверхні вібролотка поділяють на дві групи: без відриву від несучої поверхні та з відривом від несучої поверхні. У загальному випадку частка матеріалу може знаходитися відносно поверхні лотка що вібрує в наступних станах: відносно спокою, ковзання вперед, ковзання назад та відриву від несучої поверхні, який також називають польотом. Зазначені стани частки матеріалу можна позначати відповідними символами: « 0 », « + », « - », « / ».

У нашому випадку буде розглянуто режим руху з відривом від несучої поверхні, при якому частка матеріалу частину кожного циклу слідує не торкаючись поверхні лотка. Розглянуто спосіб транспортування частки матеріалу з симетричним гармонічним законом коливального руху лотка.

Розглянемо рух частки матеріалу по лотку, який має нахил під кутом α до обрїю та виконує гармонічні коливальні рухи під кутом вібрації $\beta = 90^\circ$ до площини лотка (Рис.1). Тут A амплітуда коливаний лотка в напрямку перпендикулярному вектору швидкості лотка.

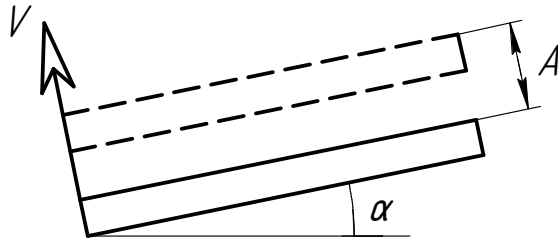


Рис.1. Коливальний рух лотка.

На (Рис. 2) зображено дві системи відрахунку – інерційна (ІСВ xoy) та неінерційна (НІСВ $x'o'y'$). Остання жорстко зв'язана з лотком та виконує разом із нею гармонічні коливання.

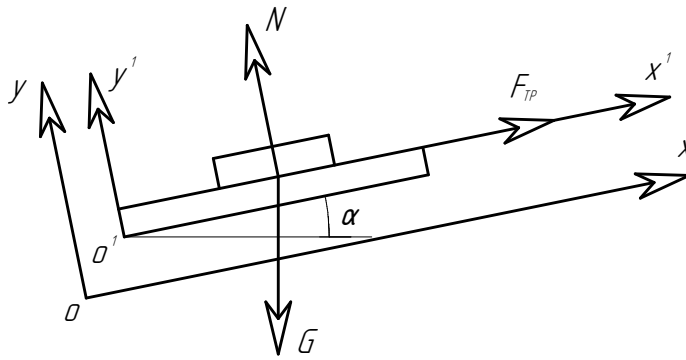


Рис. 2. Рухома та нерухома системи координат та сили, що діють на частку матеріалу.

Відносно нерухомої системи координат рівняння руху вібрлотка можна записати наступним чином [1,2]:

$$\ddot{x}_l = 0, \text{ м/с}^2. \tag{1}$$

$$\dot{x}_l = 0, \text{ м/с}. \tag{2}$$

$$\ddot{y}_l = \frac{A}{2} \omega^2 \cos(\varphi), \text{ м/с}^2. \tag{3}$$

$$\dot{y}_l = \frac{A}{2} \omega \sin(\varphi), \text{ м/с}. \tag{4}$$

Розглянемо рух частки у випадку відриву від несучої поверхні. На Рис.3 зображено момент відриву частки сипкого матеріалу від лотка (точка А). Пунктиром зображена траєкторія польоту та в точці В (φ_3) відбувається торкання поверхні лотка часткою. Будемо розглядати рух частки в інерційній системі відрахунку.

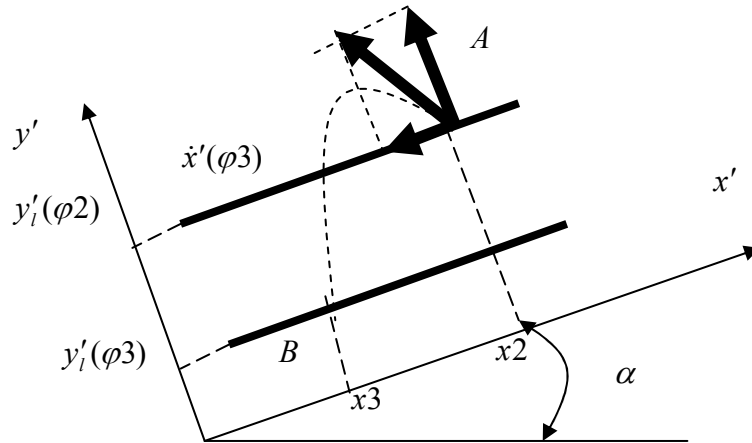


Рис. 3. Схема руху частки під час відриву від поверхні лотка.

В точці А під час відриву від поверхні лотка швидкість вздовж вісі Y буде дорівнювати швидкості лотка за φ_2 . З виразу (4) вона дорівнює:

$$\dot{y}_l(\varphi_2) = \frac{A}{2} \omega \sin(\varphi_2), \text{ м/с.} \quad (5)$$

Складова швидкості вздовж вісі X буде дорівнювати швидкості, яку частка сипкого матеріалу отримала в точці φ_2 зісковзуючи пришвидшено вздовж лотка. Вона дорівнює:

$$\dot{x}(\varphi) = \left[\frac{g(f \cos(\alpha) - \sin(\alpha)) + C1}{\omega} \right] \cdot \varphi + \frac{Af\omega}{2} \sin(\varphi) + C2, \text{ м/с.} \quad (6)$$

Де:

$$C2 = \left[-\frac{g(f \cos(\alpha) - \sin(\alpha)) + C1}{\omega} \right] \cdot \varphi_1 - \frac{Af\omega}{2} \sin(\varphi_1). \quad (7)$$

Рух частки під час польоту вздовж вісі OY відбувається з прискоренням $g \cos(\alpha)$, а вздовж вісі X з прискоренням $g \sin(\alpha)$. Враховуючи це рівняння руху на другому етапі польоту частки будуть мати вигляд:

$$x_2(\varphi) = x_1(\varphi_2) \frac{\varphi}{\omega} + \frac{g \sin(\alpha)}{2\omega^2} \cdot \varphi^2 + C3, \text{ м.} \quad (8)$$

$$y_2(\varphi) = A \frac{\varphi}{2} \sin(\varphi) - \frac{g \cos(\alpha) \cdot \varphi^2}{2\omega^2} + C4, \text{ м.} \quad (9)$$

Константу C4 знаходимо переносячи початок координат в φ_2 . Це дозволяє визначити C4 як:

$$C4 = -x1(\varphi2) \frac{\varphi2}{\omega} - \frac{g \sin(\alpha)}{2\omega^2} \cdot \varphi2^2. \quad (10)$$

Константу C3 визначає умова що під час відриву частки від лотка координати частки та лотка співпадають відносно Y. Тому запишемо:

$$C3 = -\frac{A}{2} \omega \cos(\varphi2) - A \frac{\varphi2}{2} \sin(\varphi2) + \frac{g \cos(\alpha) \cdot \varphi2^2}{2\omega^2}. \quad (11)$$

Прискорення частки буде визначатись за формулою:

$$a_x(\varphi) = -g \cdot \sin \alpha - f \cdot g \cdot \cos \alpha + A \cdot \frac{f}{2} \cdot \omega^2 \cdot \cos \varphi + C5, \text{ м/с}^2. \quad (12)$$

Константу C5 знаходимо за формулою:

$$C5 = g \cdot \sin \alpha - f \cdot g \cdot \cos \alpha - A \cdot \frac{f}{2} \cdot \omega^2 \cdot \cos \varphi1. \quad (13)$$

Швидкість частки буде визначатись за формулою:

$$V_x(\varphi) = \frac{g}{\omega} \cdot (f \cdot \cos \alpha - \sin \alpha) \cdot \varphi + \frac{A}{2} \cdot f \cdot \omega \cdot \sin \varphi + \frac{C5 \cdot \varphi}{\omega} + C6, \text{ м/с}. \quad (14)$$

Константу C6 знаходимо за формулою:

$$C6 = \frac{-g}{\omega} \cdot (f \cdot \cos \alpha - \sin \alpha) \cdot \varphi1 - \frac{A}{2} \cdot f \cdot \omega \cdot \sin \varphi1 - \frac{C5 \cdot \varphi}{\omega}. \quad (15)$$

Шлях частки буде визначатись за формулою:

$$X(\varphi) = \frac{g}{2\omega^2} (f \cdot \cos \alpha - \sin \alpha) \cdot \varphi^2 - A \cdot \frac{f}{2} \cdot \cos \varphi + \frac{C6 \cdot \varphi}{\omega} + C7 + \frac{C5 \cdot \varphi^2}{2\omega^2}, \text{ м}. \quad (16)$$

Константу C7 знаходимо за формулою:

$$C7 = \frac{-g}{2\omega^2} (f \cdot \cos \alpha - \sin \alpha) \cdot \varphi1^2 + A \frac{f}{2} \cos \varphi1 - \frac{C5 \cdot \varphi1^2}{2\omega^2} - \frac{C6 \cdot \varphi1}{\omega}. \quad (17)$$

На Рис. 3 по вертикальній вісі відкладено різницю Y координат між часткою та лотком. Видно, що за $\varphi2$ (момент відриву від поверхні лотка) різниця координат дорівнює нулю, потім вона збільшується та за $\varphi = \varphi3$ частка падає на поверхню лотка та різниця знов перетворюється на нуль. На Рис.4 наведено графік зміни координати Y лотка та частки сипкого матеріалу в процесі польоту.

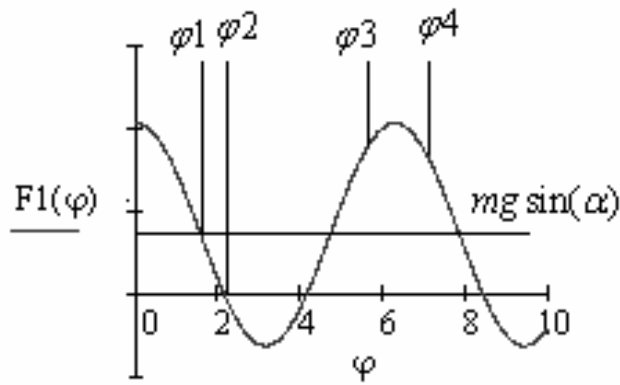


Рис. 4. Схема відривного руху частки.

Визначимо кут φ_3 падіння частки на лоток. За $\varphi = \varphi_3$ відбувається торкання поверхні лотка часткою та відповідно до умови:

$$y_l(\varphi_3) = y_p(\varphi_3). \quad (18)$$

Можна знайти φ_3 з нелінійного рівняння $F(\varphi_3) = 0$, де:

$$F(\varphi_3) = \frac{A}{2} \cos(\varphi_3) - \frac{\varphi_3^2 g \sin(\alpha)}{\omega^2 2}, \text{ м/с.} \quad (19)$$

Для цього скористаємось вбудованою функцією «root» оскільки рівняння для знаходження φ_3 не є лінійним. Дана функція для знаходження кореня використовує числовий метод перетинів. Запис знаходження кореня з використанням пакета Mathcad буде мати вигляд:

$$\text{root}(F_3(\varphi_3, \varphi_2, 2\pi) = \varphi_3 \quad (20)$$

В результаті рівняння руху можна записати як:

$$Y_{p3} = A \frac{\varphi}{2} \cdot \sin \varphi - \frac{g \cdot \cos \alpha \cdot \varphi^2}{2\omega^2} + C_8, \text{ м.} \quad (21)$$

$$X_2(\varphi) = V_x(\varphi_2) \cdot \frac{\varphi}{\omega} + \frac{g \cdot \sin \alpha \cdot \varphi^2}{2\omega^2} + C_9, \text{ м.} \quad (22)$$

Константи C_8 та C_9 знаходимо за формулами:

$$C_8 = Y_1(\varphi_2) - A \frac{\varphi_2^2}{2} \cdot \sin \varphi_2 + \frac{g \cdot \cos \alpha \cdot \varphi_2^2}{2\omega^2}. \quad (23)$$

$$C_9 = -V_x(\varphi_2) \cdot \frac{\varphi_2}{\omega} - \frac{g \cdot \sin \alpha \cdot \varphi_2^2}{2\omega^2}. \quad (24)$$

Для знаходження шляху, що пройшла частка достатньо до виразу (8) підставити кут $\varphi = \varphi_3$.

Список літератури

1. Никитин Е.М. Краткий курс теоретической механики для ВТУЗОВ. Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1971. – 400 с.
2. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1970. – 478 с.

Аннотация

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОТРЫВНОГО ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА ПО РАБОЧЕМУ ОРГАНУ ВИБРАЦИОННОГО ДОЗАТОРА С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОБУДИТЕЛЕМ КОЛЕБАНИЙ

Ермак В.П., Богданов Е.В., Грачев А.С.

В статье рассмотрено движение частицы сыпучего материала с отрывом от несущей поверхности. Проведен анализ кинематических параметров микрополета частицы. На основе анализа определены ускорения, скорости и перемещения частицы материала на этапах разгона и микрополета частицы сыпучего материала.

Abstract

THEORETICAL RESEARCH OF THAT CAN BE TORN OFF RUH OF PARTICLE OF FRIABLE MATERIAL IS ON WORKING ORGAN OF VIBRATION METERING DEVICE WITH ELECTROMAGNETIC EXCITER OF VIBRATIONS

V. Ermak, E. Bogdanov, A. Grachov.

In the article motion of particle of friable material is considered with tearing away from bearing of surface. The analysis of kinematics parameters is conducted micro to flight of particle. On the basis of analysis accelerations, speeds and moving of particle of material, are certain on the stages of acceleration and micro to flight of particle of friable material.