

ОПТИМАЛЬНЕ СПІВВІДНОШЕННЯ КУТІВ НАХИЛУ ПРИ РУСІ ЗЕРНА У ПОХИЛОМУ КАНАЛІ

*Антонець А. В.,
кандидат педагогічних наук, доцент
Арендаренко В. М.,
кандидат технічних наук, доцент
Савченко Н. К.,
здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії*

Для зменшення кількості травмованого зерна при загрузці у силос, необхідно використовувати пристрої котрі не надають додаткової швидкості і тим самим не призводять до травмування зерна об бетонне дно [1]. Для дослідження руху зернівок використовувалась гравітаційна установка, що містить розгінну та гальмівну ділянки відкритого каналу спуску. Ділянки можуть змінювати кут нахилу у вертикальній площині відносно горизонту. З рівняння нерозривності течії, необхідно щоб кінцева швидкість зерна на кінці гальмівної ділянки була неменша, ніж початкова швидкість потоку на початку розгінної ділянки, тобто $V_{\text{поч}} \leq V_{\text{кін}}$. Для запобігання згуження і водночас надмірного пришвидшення зерна будемо вважати, $V_{\text{поч}} = V_{\text{кін}} = V_0$.

Початкову швидкість V_0 зерно набуває в результаті падіння з висоти h_0 . Використовуючи закон збереження енергії маємо $V_0 = \sqrt{2gh_0}$. Продовжуючи рух, зерно пришвидшується до V_{max} проходячи шлях l_1 по розгінній ділянці, що розташована під кутом α до горизонту. Необхідно також врахувати силу тертя між шаром зернової маси та поверхнею каналу з коефіцієнтом тертя μ . Використавши закону збереження енергії, а також врахувавши роботу сили тертя $A_1 = \mu mgl_1 \cos \alpha$ маємо рівняння, для розгінної ділянки [2]:

$$\frac{mV_0^2}{2} + mgl_1 \sin \alpha - \mu mgl_1 \cos \alpha = \frac{mV_{\text{max}}^2}{2}. \quad (1)$$

Рух зернового потоку по гальмівній ділянці довжиною l_2 , розміщеної під кутом β до горизонту, відбувається за рахунок попередньо набутої максимальної кінетичної енергії та потенціальної енергії зерна $E_{n2} = mgl_2 \sin \beta$. В той же час даному процесу протидіє робота сили тертя $A_2 = \mu mgl_2 \cos \beta$, яка за рахунок меншого кута нахилу гальмівного жолобу β ($\beta \leq \alpha$) є вже значно більшою і спричиняє зменшення швидкості руху зернового потоку з V_{max} до V_0 . Маємо спрощене рівняння для гальмівної ділянки [2]:

$$\frac{mV_{\text{max}}^2}{2} + mgl_2 \sin \beta - \mu mgl_2 \cos \beta = \frac{mV_0^2}{2}. \quad (2)$$

Для знаходження залежності між кутами нахилу розгінної та гальмівної ділянки α і β прирівняємо (1) і (2) та спростимо вираз:

$$\begin{aligned} \frac{mV_0^2}{2} + mgl_1 \sin \alpha - \mu mgl_1 \cos \alpha + mgl_2 \sin \beta - \mu mgl_2 \cos \beta &= \frac{mV_0^2}{2}, \\ l_1 \sin \alpha + l_2 \sin \beta &= \mu l_1 \cos \alpha + \mu l_2 \cos \beta, \\ \sin \beta - \mu \cos \beta &= \frac{l_1}{l_2} (\mu \cos \alpha - \sin \alpha). \end{aligned} \quad (3)$$

Позначимо праву частину (3) через b , розв'яжемо рівняння виду:

$$\begin{aligned} \sin \beta - \mu \cos \beta &= b, \\ 2 \sin \frac{\beta}{2} \cos \frac{\beta}{2} - \mu \cos^2 \frac{\beta}{2} + \mu \sin^2 \frac{\beta}{2} &= b \sin^2 \frac{\beta}{2} + b \cos^2 \frac{\beta}{2}, \\ (\mu - b) \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2} + 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} - (\mu + b) &= 0. \end{aligned}$$

Введемо заміну $y = \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}$ і розв'яжемо отримане рівняння:

$$(\mu - b)y^2 + 2y - (\mu + b) = 0 \Rightarrow y = \frac{-1 \pm \sqrt{1 + (\mu^2 - b^2)}}{\mu - b}$$

Врахувавши заміну і те, що кути α і β лежать в межах від 0 до $\frac{\pi}{2}$, маємо:

$$\beta = 2 \operatorname{arctg} \left(\frac{-1 + \sqrt{1 + \left(\mu^2 - \left(\frac{l_1}{l_2} (\mu \cos \alpha - \sin \alpha) \right)^2 \right)}}{\mu - \frac{l_1}{l_2} (\mu \cos \alpha - \sin \alpha)} \right) + 2\pi k$$

Якщо розглянути окремо випадок $l_1 = l_2 = l$ з (3) маємо:

$$\beta = 2 \operatorname{arctg} \mu - \alpha$$

Отже, для компенсації зростання швидкості руху зернового потоку при збільшенні кута нахилу розгінної ділянки необхідно зменшувати кут гальмівної ділянки або підвищувати коефіцієнт тертя зерна по поверхні каналу, що досягається зміною якості та шорсткості цієї поверхні. Крім того, формування кута нахилу гальмівного лотка залежить від співвідношення довжин розгінної та гальмівної ділянок каналу, тобто кут нахилу гальмівного жолобу повинен зменшуватись в залежності від зростання величини співвідношення довжин даних ділянок.

Список використаних джерел

1. Самойленко Т. В., Арндаренко В. М., Антонєць А. В. Кінематика руху зерна по спіральному пристрою зі змінним кутом спуску. *Вісник ПДАА*. 2020. № 1. С. 267–274.
2. Арндаренко В.М., Антонєць А.В., Савченко Н.К., Самойленко Т.В., Іванов О. М. Розрахункова модель гравітаційного руху зернового матеріалу в похилому каналі з дискретно змінним кутом нахилу. *Вісник ПДАА*, 2020. No 4. С. 273–282. DOI: 10.31210/visnyk2020.04.35