

О.В.Оришака, доц., канд. техн. наук, В.В.Гончаров, доц., канд. ф-м. наук,
А.О.Кравцов.

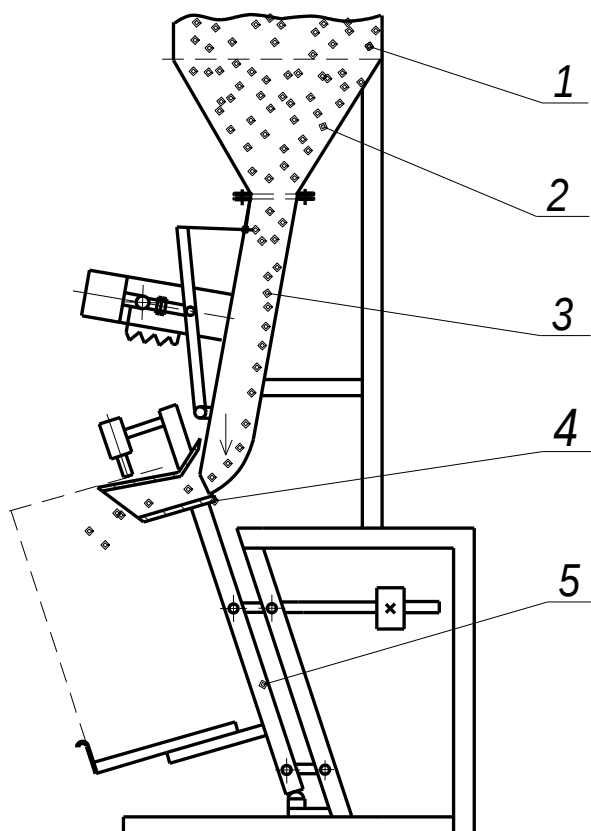
Кіровоградський національний технічний університет

Теоретичні дослідження заповненості клапанного мішка сипким матеріалом

Обґрунтовані залежності для визначення незаповнених зон клапанного мішка і вплив на їх величину вихідної швидкості потоку сипкого матеріалу, кута нахилу завантажувального патрубку і фізико-механічних властивостей сипкого матеріалу.

клапанний мішок, сипкий матеріал, потік, кут нахилу, властивості, машина

Завантажувальна машина гравітаційного типу (рис.1) має значні переваги перед машинами інших типів [1]: простота конструкції, мала енергоємність, висока точність дозування маси, не допускає запиленості повітря приміщення.



- 1 – бункер; 2 – воронка;
3 – матеріалопровід;
4 – завантажувальний патрубок;
5 – ваговимірювальне пристосування

Рисунок 1 – машина гравітаційного типу.

Для розрахунку параметрів постачального пристрою машини, при яких забезпечується максимальна заповненість клапанного мішка, необхідно знати вихідну швидкість сипкого матеріалу і кут встановлення завантажувального патрубку.

При виході із завантажувального патрубку сипкий матеріал здійснює вільний політ в об'ємі мішка і, досягнувши стінки мішка, починає заповнювати об'єм мішка.

В клапанному мішку після заповнення залишаються вільні зони – одна під клапаном мішка, а друга – перед завантажувальним патрубком.

Визначимо залежність вільного об'єму мішка від швидкості сипкого матеріалу на виході завантажувального патрубку, кута його нахилу. Так як товщина мішка значно менша його ширини (в заповненому вигляді мішок

має плоску форму), то вирішення поставленої задачі проводимо в площині, яка проходить через повздовжний переріз мішка і завантажувального патрубку.

Для визначення і мінімізації площі незаповненого простору необхідно знати траєкторію руху сипкого матеріалу, що здійснює вільний політ в об'ємі мішка (лінія OT_c на рис.2).

Диференціальне рівняння руху частинок сипкого матеріалу в проекціях на осі координат:

$$\begin{aligned} m \frac{dV_x}{dt} &= -mK_n V^2 \cos \beta, \\ m \frac{dV_y}{dt} &= mg - mK_n V^2 \sin \beta, \end{aligned} \quad (1)$$

де m – маса частинки;

K_n – коефіцієнт парусності частинки;

V – швидкість руху частинки;

β – кут між швидкістю частинки при русі по траєкторії і горизонталлю.

Рішення диференціального рівняння руху частинок матеріалу виконуємо відповідно відомої методики [2].

Закон руху частинок матеріалу в параметричній формі записи буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} x &= \frac{1}{K_1} \ln \left(1 - \frac{t}{C_1} \right), \\ y &= \frac{1}{2K_2} \ln \frac{(e^{\sqrt{K_2 g}(t-C_2)} + e^{-\sqrt{K_2 g}(t-C_2)})^2}{4g} + C_3, \end{aligned} \quad (2)$$

де $K_1 = K_n K_x$;

$K_2 = K_n K_y$;

K_x і K_y – постійні коефіцієнти, які визначаються відповідно [2];

t – час вільного польоту;

$$C_1 = -\frac{1}{K_1 V_n \cos \beta};$$

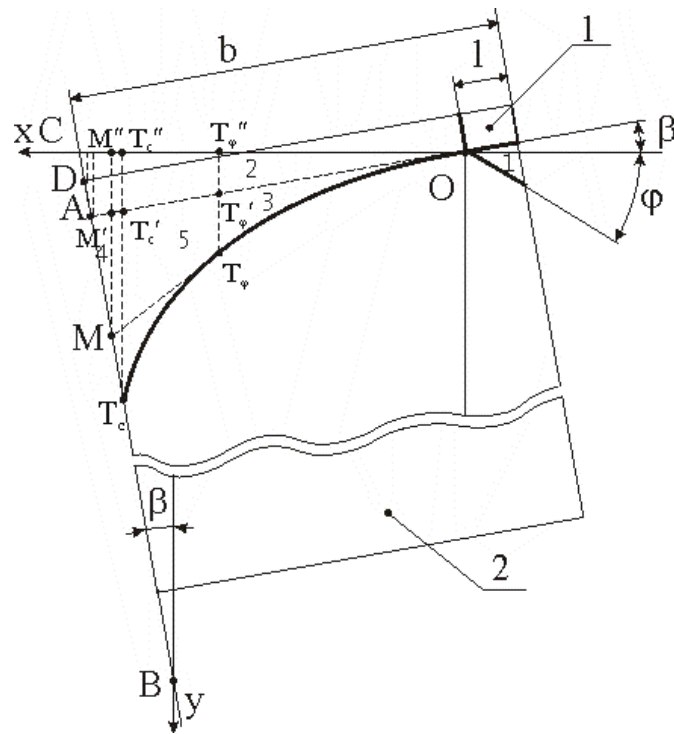
$$C_2 = \frac{1}{2\sqrt{K_2} y} \ln \left[\frac{\sqrt{\frac{g}{K_2}} + V_n \cos \beta}{\sqrt{\frac{g}{K_2}} - V_n \cos \beta} \right];$$

$$C_3 = \frac{1}{2K_2} \ln (g - K_2 V_n^2 \sin^2 \beta);$$

V_n – швидкість виходу частинок сипкого матеріалу з завантажувального патрубку.

$$\begin{aligned} V_x &= \frac{1}{K_1(t - C_1)} \\ V_y &= \sqrt{\frac{g}{K_2}} \frac{1 - e^{-2\sqrt{K_2 g}(t-C_2)}}{1 + e^{-2\sqrt{K_2 g}(t-C_2)}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Перейдемо до визначення часу вільного польоту частинок. Запишемо рівняння сторони АВ перерізу мішка (рис.2).



1-завантажувальний патрубок; 2-клапанний мішок.

Рисунок 2 – Схема для визначення площі незаповненого простору клапанного мішка.

Із $\triangle OAC$ і $\triangle OAB$ маємо:

$$OB = \frac{b-l}{\sin \beta} \quad OC = \frac{b-l}{\cos \beta},$$

де b – ширина мішка

l – довжина клапана.

З рівняння прямої, яка проходить через дві точки (C і B), держимо:

$$y = -ctg\beta \cdot x + \frac{b-l}{\sin \beta}. \quad (4)$$

Знайдемо координати точки D, або момент часу, коли частинка досягає цієї точки.

Для цього необхідно розв'язати рівняння (3),(4) відносно змінних x і y або t .

$$\left(e^{\sqrt{K_2 g}(t-C_4)} + e^{-\sqrt{K_2 g}(t-C_4)} \right)^{\sin \beta} \cdot \left(1 - \frac{t}{C_3} \right)^{\cos \beta} = (2\sqrt{g})^{\sin \beta} \cdot e^{K_1(b-lC_2 \sin \beta)}. \quad (5)$$

З рівняння (5) знаходимо t_e – час вільного польоту.

Знайдемо момент часу, коли дотична до траєкторії польоту співпадає з лінією природного відкосу сипкого матеріалу, тобто коли виконується умова:

$$y'_x = \frac{y'_t(t)}{x'_t(t)} = tg\varphi, \text{ або } \frac{V_y}{V_x} = tg\varphi, \quad (6)$$

де φ – кут природного відкосу сипкого матеріалу.

Підставимо у рівняння (6) вираз (3):

$$\frac{1 - e^{-2\sqrt{K_2 g}(t-C_4)}}{1 + e^{2\sqrt{K_2 g}(t-C_4)}} \cdot (t - C_3) = \frac{tg\varphi}{\sqrt{K_1 g}}. \quad (7)$$

Знайшовши розв'язок рівняння (7) відносно t знайдемо t_φ .

Перейдемо безпосередньо до визначення площі перерізу незаповненого простору S (рис.3).

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5, \quad (8)$$

$$S_1 = \frac{l^2 \operatorname{tg}(\beta + \varphi)}{2}, \quad (9)$$

$$S_2 = (b-l)d, \quad (10)$$

де d – висота завантажувального патрубкa.

Знайдемо S_3 .

$$S_3 = \int_0^{t_1} y(t)x'(t)dt - S_{\Delta} \quad (11)$$

$$\int_0^{t_1} y(t)x'(t)dt = \frac{1}{K_2^2} (I + \sqrt{K_2 g} \cdot t_1 + (C_3 - C_4 + \frac{C_2}{2} \ln 2\sqrt{g}) \ln(t - \frac{t_1}{C_3})) \quad (12)$$

$$\text{де } I = \int_0^{t_1} \frac{\ln(1 + e^{-2\sqrt{K_2 g}(t-C_4)})}{t - C_3} dt;$$

$$t_1 = \min(t_e; t_{\varphi}).$$

Під S_{Δ} розуміється площа $\Delta OT_C''T'_C$, якщо $t_e < t_{\varphi}$, або $\Delta OT_{\varphi}'T_{\varphi}''$, якщо $t_e > t_{\varphi}$.

$$\text{В обох випадках: } S_{\Delta} = \frac{\ln^2(1 - \frac{t_1}{C_3})}{K_2^2} \cdot \frac{\operatorname{tg}\beta}{2}.$$

Якщо $t_e < t_{\varphi}$, то

$$S_4 = \frac{[(b-l) \cos \beta - \ln(1 - \frac{t_1}{C_3})]^2}{\sin 2\beta}. \quad (13)$$

Якщо $t_e > t_{\varphi}$, то необхідно визначити S_{φ} і (13) буде мати інший вигляд.

Для цього знайдемо координати точки М – точки перетину дотичної $T_{\varphi}M$ зі стороною DT_C . Запишемо рівняння прямої $T_{\varphi}M$:

$$y - y_{T_{\varphi}} = \operatorname{tg}\varphi(x - x_{T_{\varphi}}),$$

$$\text{де } x_{T_{\varphi}} = \frac{1}{K_1} \ln(1 - \frac{t_1}{C_3}); \quad y_{T_{\varphi}} = \frac{1}{2K_2} \ln \frac{e^{\sqrt{K_2 g}(t-C_4)} + e^{-\sqrt{K_2 g}(t-C_4)}}{4g} + C_2$$

і рішивши систему рівнянь:

$$\begin{cases} y = -\operatorname{ctg}\beta \cdot x + \frac{b-l}{\sin\beta} \\ y - y_{T_{\varphi}} = \operatorname{tg}\varphi \cdot (x - x_{\varphi}) \end{cases}$$

одержимо

$$x_M = \frac{\frac{b-l}{\sin\beta} + x_{\varphi} \operatorname{tg}\varphi - y_{\varphi}}{\operatorname{ctg}\beta + \operatorname{tg}\varphi}, \quad (14)$$

$$y_M = \frac{b-l}{\sin\beta} - x_M \operatorname{ctg}\beta.$$

Площу S_5 знайдемо як площу трапеції $MM'T_{\varphi}'T_{\varphi}$:

$$S_5 = \frac{x_M - x_{\varphi}}{2} (y_{\varphi} - x_{\varphi} \operatorname{tg}\beta + y_M - x_M \operatorname{tg}\beta). \quad (15)$$

Площа S_4 буде рівнятися:

$$S_4 = \frac{[(b-l) \cos \beta - x_M]^2}{\sin 2\beta}. \quad (16)$$

Результати розрахунків по одержаним залежностям площі незаповнених зон клапанного мішка, які проведені з використанням пакету математичних програм приведені на рис.3. Аналіз теоретичних досліджень показує, що при збільшенні вихідної швидкості сипкого матеріалу при сході з завантажувального патрубку площа незаповнених зон зменшується.

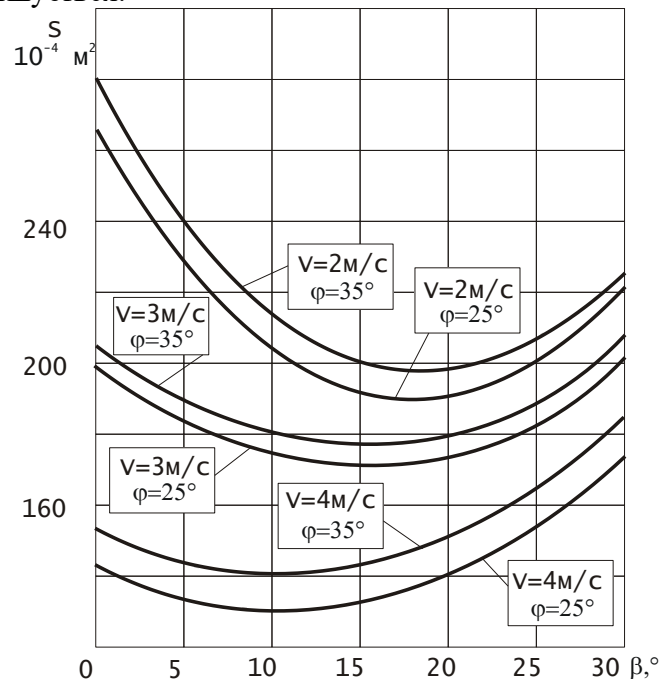


Рисунок 3 – Залежність незаповненої площі клапанного мішка від кута нахилу завантажувального патрубку.

У залежності від вихідної швидкості оптимальні значення кута нахилу завантажувального патрубку до горизонталі знаходиться в межах 10..20°.

За оптимальну може бути прийнята вихідна швидкість сипкого матеріалу 2..3м/с (при подальшому збільшенні швидкості значно збільшується висота матеріалопровода).

Одержані теоретичні залежності можуть бути використані для оптимізації параметрів постачального пристрою завантажувальних машин гравітаційного типу.

Список літератури

1 Оришака О.В., Артюхов А.М., Кравцов А.О. Шляхи розширення технологічних можливостей машини гравітаційного типу для завантаження сипких матеріалів. / 36. наук. праць КДТУ „Техніка в с-г виробн., галузеве машинобуд., автоматиз.”. Вип.14. Кіровоград, 2004.– С. 258-262.

2 Волков В.А. Приближенный расчет движения тел в сопротивляющейся среде. / Труды ВИСХОМ. Вып.24. М.:ЦБТИ, 1959. – 19с.

Обоснованные зависимости для определения незаполненных зон клапанного мешка и влияние на их величину исходной скорости потока сыпучего материала, угла наклона загрузочного патрубка и физико-механических свойств сыпучего материала.

The proved dependences for definition of the blank zones klapanas a bag and influence on their size of initial speed of a stream of a loose material, a corner of an inclination of a loading branch pipe and physicomechanical properties of a loose material.

Одержано 22.02.05