УДК 621.798.38

О.В. Оришака, доц., канд. техн. наук, В.В. Гончаров, доц., канд. фіз.-мат. наук,
А.М. Артюхов, ст. викл., канд. техн. наук, В.О. Оришака, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Теоретичне дослідження подільчо-формуючих постачальних пристроїв машин для завантаження сипких матеріалів

Теоретично обґрунтовані параметри подільчо-формуючих постачальних пристроїв машин для завантаження сипких матеріалів в клапанні мішки, а саме постачального пристрою з лійками, на вихідних частинах яких встановлені вивантажувальні патрубки з можливістю здійснювати зворотно-обертальний рух і постачального пристрою з формуючими гравітаційними поверхнями, які жорстко встановлені на корпусі, що змонтований на матеріалопроводі з можливістю здійснювати зворотно-обертальний рух. Встановлені оптимальні співвідношення вхідних і вихідних параметрів лійки та кута нахилу гравітаційної поверхні.

постачальний пристрій, завантажувальна машина, матеріалопровід, клапан, бункер, сипкий матеріал, клапанний мішок

Завантажувальні машини гравітаційного типу з подільчо-формуючими постачальними пристроями мають значні переваги перед машинами гравітаційного типу з цикловим випуском сипкого матеріалу з бункера, а саме:

- стабільний постійний виток сипкого матеріалу з бункера при відсутності умов для створення “склепів” і “труб” (створення додаткових напружень в сипкому середовищі при циклічному випуску сипкого матеріалу);
- висока продуктивність (залежить тільки від витоку сипкого матеріалу з вивантажувального отвору бункера і не залежить від часу на заміну клапанних мішків);
- висока точність дозування маси в клапанному мішку (невеликий розмір запізнюючої ланки);
- компактність (незначні габаритні розміри і мала маса).

В завантажувальних машинах нового покоління передбачається два типи постачальних пристроїв:

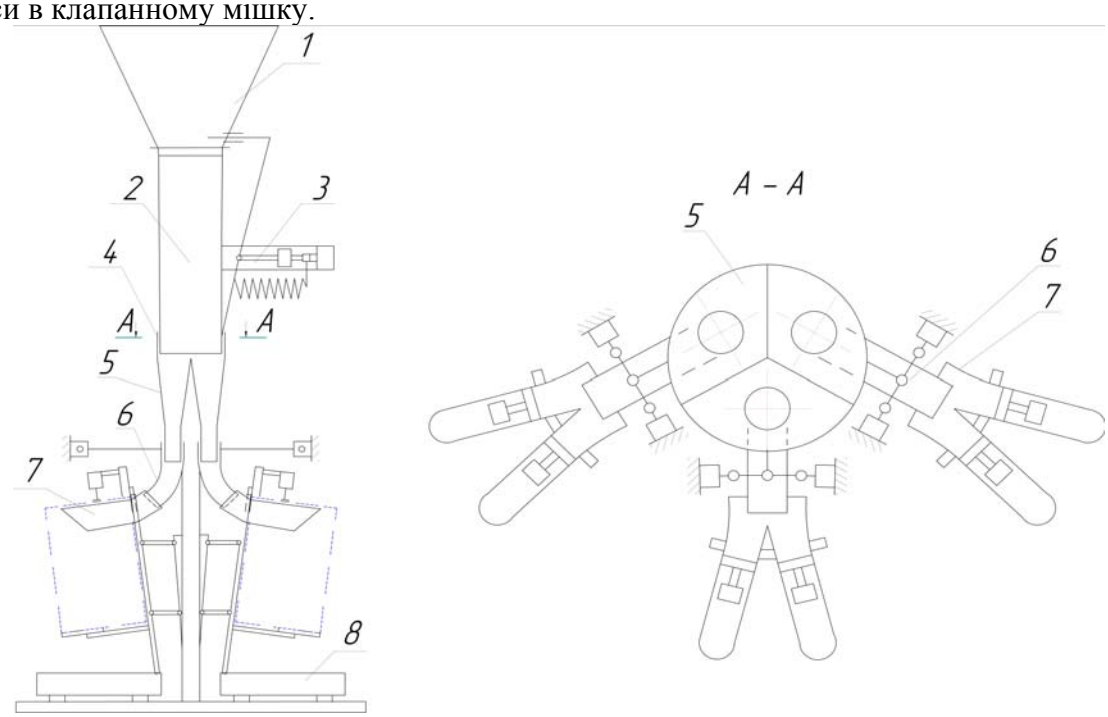
- з подільчо-формуючими лійками (рис.1);
- з формуючою гравітаційною поверхнею (рис.2).

Завантажувальні машини гравітаційного типу з подільчо-формуючими пристроями є подальшим удосконаленням гравітаційних машин з циклічним випуском сипкого матеріалу з бункера.

Обґрунтуванню параметрів завантажувальних машин з циклічним випуском сипкого матеріалу з бункера присвячені роботи О.В. Оришаки, В.В. Гончарова, М.М. Петренка, В.О. Оришаки, А.М. Артюхова, Г.В. Кравцової [1,2,3]. В них обґрунтовані основні параметри матеріалопроводів та завантажувальних пристроїв. Встановлений вплив параметрів бункера, матеріалопровода на вихідну швидкість сипкого матеріалу, вплив вихідної швидкості і кута нахилу завантажувального патрубка на забезпечення максимального заповнення об’єму клапанного мішка,

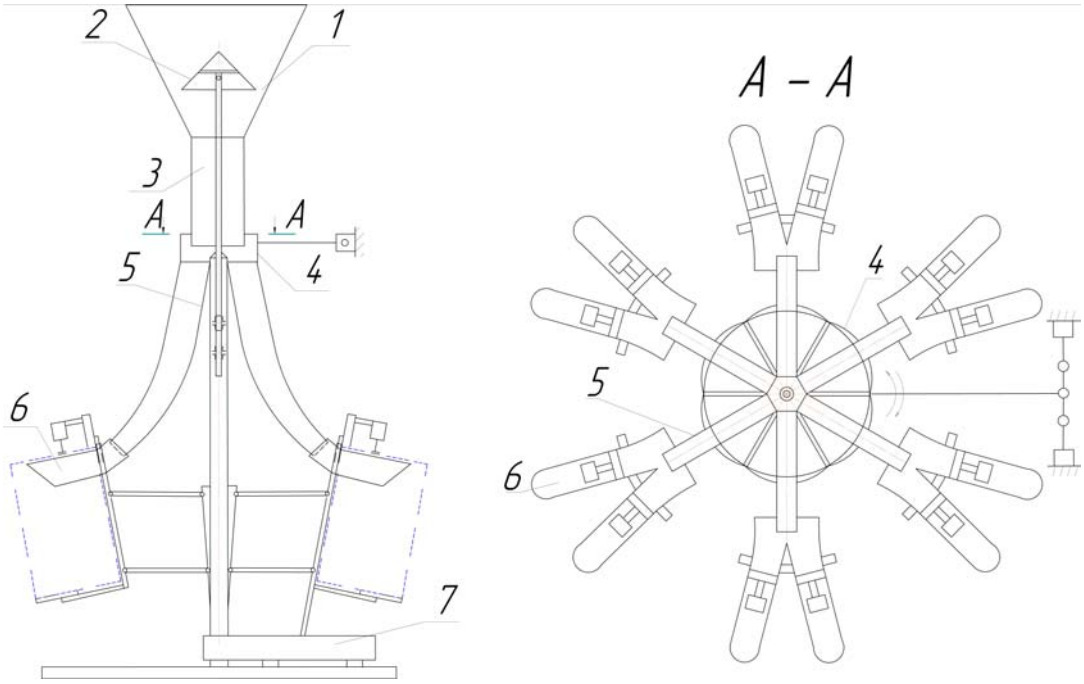
© О.В. Оришка, В.В. Гончаров, А.М. Артюхов, В.О. Оришка, 2010

визначений вплив роботи клапана, параметрів матеріалопровода на точність дозування маси в клапанному мішку.



1 – бункер; 2 – матеріалопровід; 3 – клапан; 4 – подільчо-формуючий постачальний пристрій; 5 – лійка; 6 – вивантажувальний патрубок; 7 – завантажувальний пристрій; 8 – ваги

Рисунок 1 – Схема завантажувальної машини з подільчо-формуючими лійками



1 – бункер; 2 – матеріалопровід; 3 – клапан; 4 – подільчий постачальний пристрій; 5 – формуюча гравітаційна поверхня; 6 – завантажувальний пристрій; 7 – ваги

Рисунок 2 – Схема завантажувальної машини з формуючою гравітаційною поверхнею

Мета даної роботи – встановити оптимальні параметри постачальних пристроїв: лійки і гравітаційної формуючої поверхні.

Для проведення обґрунтування постачальних пристроїв повинно бути задано:

1. Продуктивність машини, Q (т/год.), q (кг/с).
2. Точність дозування маси.
3. Фізико-механічні характеристики сипкого матеріалу (питому масу, коефіцієнти зовнішнього і внутрішнього тертя, початковий опір зсуву, тощо).
4. Масу матеріалу в клапанному мішку.
5. Розміри клапанного мішка і розміри самого клапана (стандартна ширина клапана 80, 90, 130мм, а для деяких матеріалів, наприклад, аеросилу, застосовуються нестандартні клапани шириною 150мм).

Площу вихідного отвору з бункера визначаємо із залежності:

$$q = S_б \cdot V_б \cdot \rho, \quad (1)$$

де ρ – питома маса, кг/м^3;

$V_б$ – швидкість витоку матеріалу, м/с;

$S_б$ – площа вихідного отвору, м^2.

Швидкість витоку сипкого матеріалу визначається по відомим залежностям [4].

В подальшому визначається число секцій машини (z), тобто на скільки частин необхідно поділити потік матеріалу, який витікає з бункера.

$$Z = \frac{\text{q}}{\text{q}_{\text{max}}}, \quad (2)$$

де q_{max} – максимальна можлива продуктивність одної секції:

$$q_{max} = S_n \cdot V_в \cdot \rho \cdot \varphi, \quad (3)$$

де S_n – площа завантажувального патрубка (залежить від ширини клапана);

$V_в$ – швидкість витоку матеріалу з завантажувального патрубка, м/с.

Дослідженнями встановлено, що для забезпечення необхідної повноти заповнення об'єму клапанного мішка $V_в \geq 3$ м/с.

φ – коефіцієнт використання поперечного перетину вивантажувального патрубка (приймається $\varphi = 0{,}5...0{,}75$ із умови виключення гідравлічного стрибка сипкого матеріалу).

Визначивши число секцій, визначаємо площу вхідного отвору в лійку, або на формуючу гравітаційну поверхню:

$$S_л = \frac{S_б}{Z}. \quad (4)$$

Розглянемо процес проходження сипкого матеріалу через лійку (рис. 3).

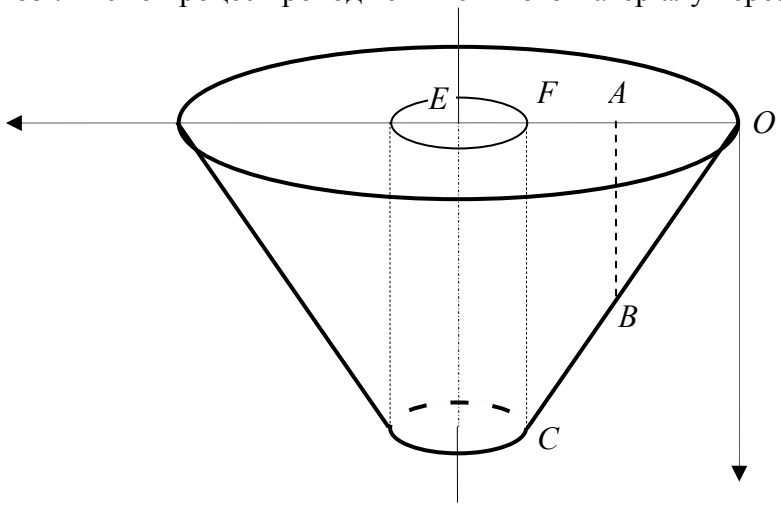


Рисунок 3 – Схема проходження сипкого матеріалу через подільчо-формуючу лійку

Виберемо довільну матеріальну точку A (рис. 3) на вході в конічну лійку і прослідкуємо за її рухом при проходженні через лійку. Нехай $\angle FOC = \alpha$, $OE = R$,

$EF = r$. Спочатку матеріальна точка здійснює вільне падіння (ланка AB). Потім відбувається удар по боковій стінці лійки в точці B, далі рух по боковій стінці лійки (ланка BC) і удар по вертикальному потоку матеріалу (точка C).

1) В початковий момент $V_A = V_0$.

2) Рух по ланці AB. З закону збереження енергії

$$V_B = \sqrt{V_0^2 + 2g \cdot AB} \quad \text{або} \quad V_B = \sqrt{V_0^2 + 2gx\,\mathrm{tg}\,\alpha},$$

де $x = OA$.

3) Удар в точці B. Швидкість після удару

$$V_1 = V_B(\sin\alpha - f\cos\alpha) \quad \text{або} \quad V_1 = C_1\sqrt{V_0^2 + 2gx\,\mathrm{tg}\,\alpha},$$

де $C_1 = \sin\alpha - f\cos\alpha$, f – коефіцієнт тертя матеріалу по поверхні лійки.

4) Ланка BC. З закону збереження енергії:

$$V_C = \sqrt{V_1^2 + 2gH - 2f \cdot \frac{|\bar{N}|}{m} \cdot BC}, \tag{5}$$

де $\bar{N}$ – реакція бокової стінки лійки, m – маса матеріальної точки.

З (5) маємо:

$$V_C = \sqrt{V_1^2 + 2g(R - r - x)\,\mathrm{tg}\,\alpha - f\,2g\cos\alpha\,\frac{R - r - x}{\cos\alpha}},$$

або

$$V_C = \sqrt{V_1^2 + 2g(R - r - x)(\mathrm{tg}\,\alpha - f)}.$$

І з урахуванням п. 3)

$$V_C = \sqrt{C_1^2 V_0^2 + 2C_1^2 gx\,\mathrm{tg}\,\alpha + 2g(R - r - x)(\mathrm{tg}\,\alpha - f)},$$

або

$$V_C = \sqrt{C_1\left[C_1 V_0^2 + 2g\left(\frac{R - r}{\cos\alpha} - x(f\sin\alpha + \cos\alpha)\right)\right]}.$$

5) Швидкість після зіткнення з вертикальним потоком (точки які знаходились на ланці FE)

$$V_2 = C_2\sqrt{C_1\left[C_1 V_0^2 + 2g\left(\frac{R - r}{\cos\alpha} - x(f\sin\alpha + \cos\alpha)\right)\right]},$$

де $C_2 = \sin\alpha - f_1\cos\alpha$, f_1 – коефіцієнт внутрішнього тертя матеріалу.

6) Усереднена швидкість по усіх точках, що попадають на бокову поверхню лійки (ланка OF)

$$V_c = \frac{1}{\pi(R^2 - r^2)}\int_0^{R-r} C_2\sqrt{C_1\left[C_1 V_0^2 + 2g\left(\frac{R - r}{\cos\alpha} - x(f\sin\alpha + \cos\alpha)\right)\right]}\,2x\,dx =$$

$$= \frac{2C_2}{\pi(R^2 - r^2)}\int_0^{R-r}\sqrt{2gC_1(f\sin\alpha + \cos\alpha)\left[\frac{C_1 V_0^2\cos\alpha + 2g(R - r)}{2g\cos\alpha(f\sin\alpha + \cos\alpha)} - x\right]}\cdot x\,dx =$$

$$= \frac{2C_2\sqrt{2gC_1(f\sin\alpha+\cos\alpha)}}{\pi(R^2-r^2)}\int_0^{R-r}\sqrt{\frac{C_1V_0{}^2\cos\alpha+2g(R-r)}{2g\cos^2\alpha(f\,\mathrm{tg}\alpha+1)}-x}\cdot x dx\,.$$

Нехай

$$C_3=\frac{\sqrt{g}}{R^2-r^2}\cdot\frac{2C_2}{\pi}\sqrt{2C_1(f\sin\alpha+\cos\alpha)}\,,\ \ C_4=\frac{V_0{}^2}{g}\cdot\frac{C_1\cos\alpha+\dfrac{2g(R-r)}{V_0{}^2}}{2\cos^2\alpha(f\,\mathrm{tg}\alpha+1)},$$

тоді, зробивши заміну $x=C_4-t^2$, отримаємо:

$$V_c=C_3\int_0^{R-r}\sqrt{C_4-x}\cdot x dx=\left\langle\begin{array}{l}dx=-2tdt,\\ x=0\Rightarrow t=\sqrt{C_4},\\ x=R-r\Rightarrow t=\sqrt{C_4-R+r}\end{array}\right\rangle=2C_3\int_{\sqrt{C_4}}^{\sqrt{C_4-R+r}}(t^4-C_4t^2)dt$$

.

Проінтегрувавши, отримаємо:

$$V_c=2C_3\left[\frac{1}{5}\left((C_4-R+r)^{5/2}-C_4{}^{5/2}\right)-\frac{C_4}{3}\left((C_4-R+r)^{3/2}-C_4{}^{3/2}\right)\right],$$

або

$$V_c=\frac{4}{15}C_3C_4{}^{5/2}\left[1-\left(1+\frac{3}{2}\frac{R-r}{C_4}\right)\left(1-\frac{R-r}{C_4}\right)^{3/2}\right],$$

де

$$C_3C_4{}^{5/2}\ \square\ \frac{V_0{}^5}{g^2(R^2-r^2)}.$$

Враховуючи центральну частину конуса (ланка FE), матеріал якої здійснював вільне падіння, отримаємо усереднену швидкість матеріалу на виході з лійки

$$V=\frac{\pi(R^2-r^2)V_c+\pi r^2\sqrt{V_0{}^2+2g(R-r)\,\mathrm{tg}\alpha}}{\pi R^2},$$

або

$$V=\frac{4}{15}C_5C_4{}^{\frac{5}{2}}\left[1-\left(1+\frac{3}{2}\frac{R-r}{C_4}\right)\left(1-\frac{R-r}{C_4}\right)^{\frac{3}{2}}\right]+V_0\left(\frac{r}{R}\right)^2\sqrt{1+\frac{2g(R-r)}{V_0^2}\,\mathrm{tg}\alpha}\,,\quad(6)$$

де $C_1=\sin\alpha-f\cos\alpha$, $C_5=\dfrac{\sqrt{g}}{R^2}\dfrac{2C_2}{\pi}\sqrt{2C_1(f\sin\alpha+\cos\alpha)}$.

7) Умову не закупорювання матеріалу на виході з бункера можна записати у вигляді:

$$V_0S_0\le VS\,,\qquad(7)$$

де $S_0=\pi R^2$ – площа вхідного отвору лійки;

$S=\pi r^2$ – площа вихідного отвору лійки.

Підставивши швидкість (6) в умову (7), отримаємо:

$$\frac{4}{15}\frac{C_5 C_4^{\frac{5}{2}}}{V_0}\left(\frac{r}{R}\right)^2\left[1-\left(1+\frac{3}{2}\frac{R-r}{C_4}\right)\left(1-\frac{R-r}{C_4}\right)^{\frac{3}{2}}\right]+\left(\frac{r}{R}\right)^4\sqrt{1+\frac{2g(R-r)}{V_0^2}\operatorname{tg}\alpha}\geq 1. \qquad (8)$$

Умова (8) є умовою, виконання якої дає вільний прохід потоку матеріалу через конічну лійку. Ліва частина нерівності залежить від п'яти параметрів R, r, α, V_0, f.

Результати розрахунків рівняння (8) представлені на рисунках 4,5.

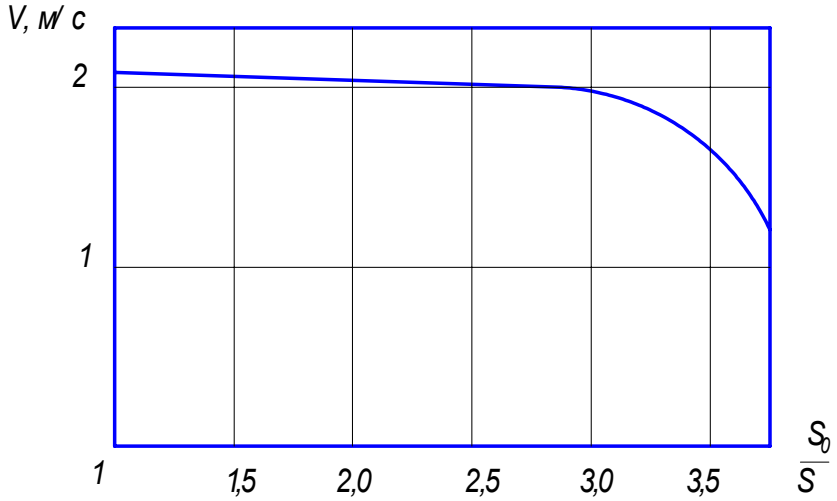


Рисунок 4 – Залежність вихідної швидкості сипкого матеріалу від відношення площ вхідного і вихідного отворів лійки ($V_0 = 2$ м/с; $\alpha = 10^0$; $f = 0.3$; $f_1 = 0.5$)

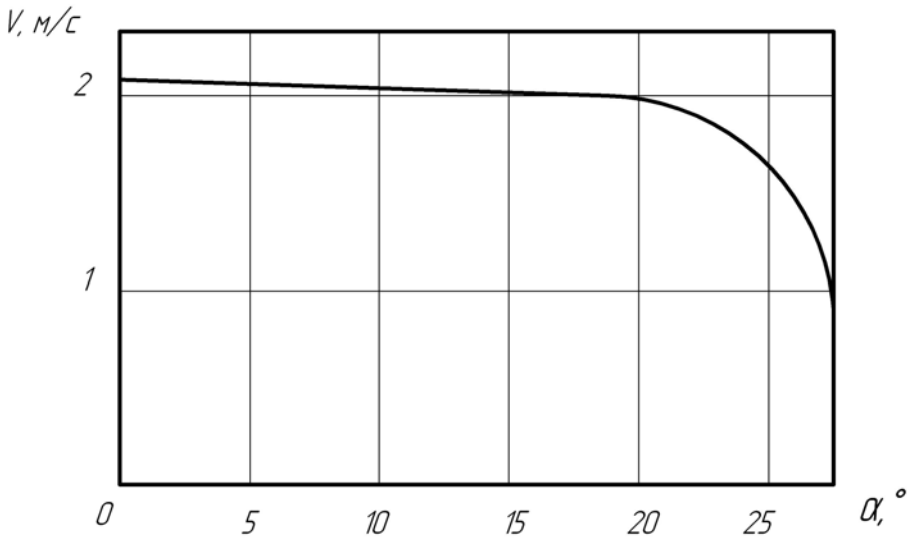


Рисунок 5 – Залежність вихідної швидкості сипкого матеріалу від кута нахилу поверхонь лійки ($V_0 = 2$ м/с; $\frac{S_0}{S} = 2$; $f = 0.3$; $f_1 = 0.5$)

За результатами викладених теоретичних досліджень можна зробити висновок, що для забезпечення умов вільного проходження сипкого матеріалу через подільчо-формуючі постачальні пристрої кут нахилу поверхонь лійки і гравітаційної поверхні повинні бути в межах $5^0...15^0$, а співвідношення вхідної і вихідної площ отворів лійки

не повинно перевищувати ($\frac{S_в}{S_{вих.}} \leq 3$) при висоті розташування вхідного отвору лійки від вихідного отвору бункера не менше 100мм.

Список літератури

1. Орышака О.В., Момот А.Ф., Гончаров В.В. Анализ движения гибридной кукурузы в материалопроводе машины для затаривания сыпучих материалов в клапанные мешки. – Киев, УМК ВО, 1992. – С.12–23.
2. Оришака О.В., Гончаров В.В., Кравцов А.О. Теоретичні дослідження заповнення клапанного мішка сипким матеріалом / Загальнодержавний міжвідомчий наук.-техн. зб. – Вип. 35. – Кіровоград: КНТУ, 2005. – С.390–399.
3. Оришака О.В., Гончаров В.В., Кравцова Г.В., Артюхов А.М. Динаміка руху сипкого матеріалу по криволінійним каналам змінного перерізу // Збірник наукових праць КІСМ. – Вип. 1. – Кіровоград: КІСМ, 1997. – С.27–35.
4. Зенков Р.Л., Гриневич Г.Н., Исаев В.С. Бункерные устройства. – М.: Машиностроение, 1977. – 223 с.

О.Орышака, В. Гончаров, А. Артюхов, В. Орышака

Теоретическое исследование делительно-формирующих питательных устройств машин для загрузки сыпучих материалов

Теоретически обоснованы параметры делительно-формующего питательного устройства машин для загрузки сыпучих материалов в клапанные мешки, а именно питательного устройства с воронками на выходных частях которых установлены выгружающие патрубки с возможностью совершать возвратно-поступательное движение и питательного устройства с формирующими гравитационными поверхностями, которые жестко установлены на корпусе, который смонтирован на материалопроводе с возможностью совершать возвратно-вращательное движение. Установлены оптимальные соотношения входных параметров воронки и угла наклона гравитационной поверхности.

O. Orishaka, V. Goncharov, A.Artyukhov, V. Orishaka

Theoretical research of division-forming nourishing device of machines for the load of friable materials

Parameters of the division-forming nutritious device of machines for loading loose materials in valvular sacks are theoretically proved, namely the nutritious device with funnel on which target parts unloading branch pipes with an opportunity to make back and forth motion and the nutritious device with forming gravitational surfaces which are rigidly established on the case which is mounted on materials handling with an opportunity to make return-rotary movement are established. Optimum parities of entrance parameters funnel and a corner of an inclination of a gravitational surface are established.

Одержано 14.09.09