

Машиностроение и машиноведение

УДК 631.362.3

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-2-4-12

Е.В. Белокур, А.Н. Секисов, Г.В. Серга

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ
В ВИНТОВЫХ СИТАХ**

Проведено аналитическое исследование процесса разделения сыпучих материалов на фракции с целью выбора условной модели его описания. Выполнен выбор математических моделей. Рассмотрены модели сплошной среды и материальной частицы. Разработана математическая модель определения скорости продольного перемещения масс сыпучих материалов от загрузки к выгрузке и длины рабочей камеры винтового сита, новизна

которых подтверждена шестью патентами на изобретения. Представлена схема, и экспериментальная установка, выполненная в металле. Показаны результаты экспериментальных исследований параметров перемещений сыпучих материалов в зависимости от конструктивных и эксплуатационных характеристик винтовых сит.

Ключевые слова: винтовое сито, модель, установка, фракции сыпучих материалов.

E.V. Belokur, Sekisov, G.V. Serga

INVESTIGATION OF BULK MATERIAL MOTION IN SPIRAL SIEVES

The work purpose is to increase the productivity of bulk material separation by means of engineering process development based on fundamentally new engineering equipment in the form of spiral sieves, the novelty of which is confirmed by six patents for invention of the Russian Federation. In the work there was used a complex method of investigations.

Analytical methods allowed offering dependences for the definition of bulk material longitudinal motion speed in spiral sieves. Experimental investigations were carried out in order to confirm analytical dependences. The analytical investigation of bulk material separation into fractions for the purpose of condi-

tional model choice for its description is presented. A mathematical model choice is fulfilled. There is analyzed a model of continuous medium and that of a material particle. A mathematical model is developed to determine a speed of longitudinal motion of bulk material from charging to unloading. There is presented not only a circuit and an experimental plant created in metal version, but the results of experimental investigations of bulk medium motion parameters subject to spiral sieve design peculiarities are shown which presented a coincidence level high enough.

Key words: spiral sieve, model, plant, bulk material fractions.

Введение

Для создания методики проектирования и расчета винтовых сит и оборудования для реализации технологических процессов разделения сыпучих материалов на фракции [1-6], необходимо получить зависимости для определения скорости перемещения сыпучих материалов в винтовых ситах. Ввиду сложности явлений, сопровождающих процесс пространственного движения частиц сыпучих материалов в винтовых ситах, вначале рассмотрим движение частиц сыпучих материалов без учета процесса сепарации, а лишь затем скорректируем эти зависимости с учётом этих процессов.

Так как все винтовые сита по периметру имеют явно выраженные многохо-

довые винтовые ломаные, плавные или зигзагообразные линии, исследование проведем на типовом винтовом сите тетраэдральной формы (рис. 1) [7].



Рис. 1. Винтовое сито тетраэдральной формы, вид спереди

Определение скорости перемещения сыпучих материалов в винтовых ситах

В пространстве задаем единичные векторы $\bar{i}, \bar{j}, \bar{K}$ (рис. 2). Направление вращения вектора углов скорости винтового сита $\bar{\omega} = \omega K$. Установлено из эксперимента, что перемещение частиц сыпучих материалов вдоль оси винтового сита происходит в направлении "K". Поэтому при построении на векторах $\bar{i}, \bar{j}, \bar{K}$ осей XYZ составляющие проекций скорости $V_z < 0$, продольного перемещения $Z < 0$. Направление V_j определено из опытов, φ – угол поворота винтового сита.

Тогда можно записать:

$$\bar{W}_j = W_{xy} \cdot \sin j \tag{1}$$

где

$$W_j = \frac{dV_j}{dt}, \tag{2}$$

В этом случае $\bar{P}_\varphi = -\bar{P} \cdot \cos \varphi$ проецируется на направление j :

$$\bar{P}_j = -\bar{P}_\varphi \cdot \sin j. \tag{3}$$

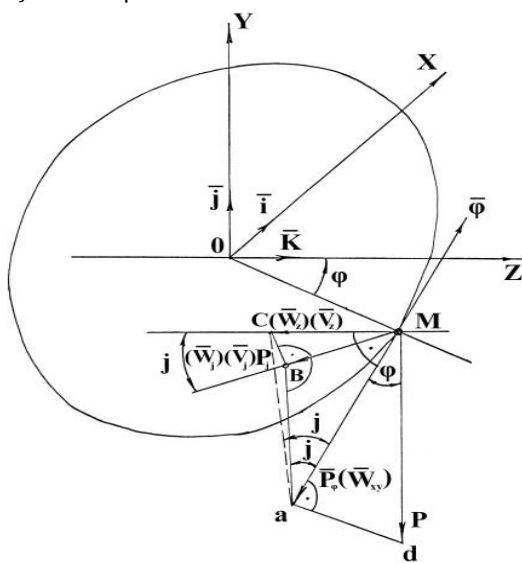


Рис. 2. Геометрия действия сил на частицу и векторы $\bar{i}, \bar{j}, \bar{K}$

В соответствии со 2-м законом Ньютона:

$$\bar{W}_{xy} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^n \bar{F}_i \tag{4}$$

где в \bar{F}_i сила от веса частицы.

Выбор математических моделей

Модель сплошной среды. В этом случае в каждой точке винтового сита нас интересует векторное поле скоростей $\bar{V}(X, Y,$

Так как $ab \perp Mb, aM \perp OZ$, и $< baM$ (рис. 2):

$$\bar{W}_j = W_{xy} \cdot \sin j, \tag{5}$$

можно записать:

$$\bar{W}_Z = \dot{V}_Z \cdot \bar{W}_{xy} \cdot \text{tg } j, \tag{6}$$

где $W_z = \frac{dV_z}{dt}$

Соотношение следует (рис. 2) из условия:

$$cM = aM \cdot \text{tg } j, \tag{7}$$

т.е.

$$\bar{W}_j = W_{xy} \cdot \sin j \pm \bar{W}_Z \cdot \cos j$$

$$V_j = V_Z \cdot \cos j \text{ или } V_Z = \frac{V_j}{\cos j} \tag{8}$$

Поэтому можно записать (рис. 3):

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \tag{9}$$

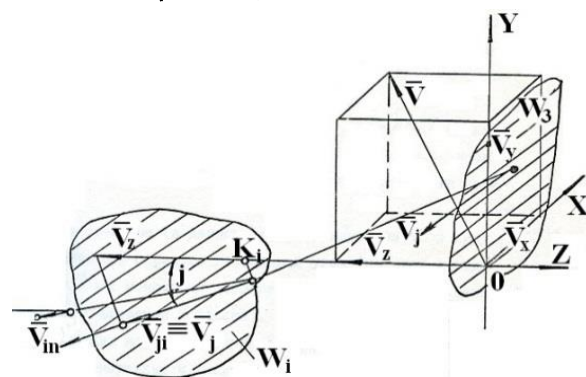


Рис. 3. Направление векторов скоростей и ускорений в винтовом сите

При этом учитываем, что:

- скатывание частиц сыпучих материалов по винтовым линиям вызывается силой тяжести;
- под направлением j следует понимать направление движений частиц сыпучих материалов вдоль векторов \bar{V}_{ji} .

Z, t).

Используя формулы Гаусса-Остроградского получим зависимости [8]:

$$\begin{cases} \rho \cdot \frac{d\mathbf{U}_i}{dt} = \rho \cdot f_i + \frac{\partial P_{ij}}{\partial x_j}; & \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dt} + \text{div} \bar{\mathbf{U}} = 0 \\ \rho \cdot \frac{du}{dt} = \text{div}(x \cdot \bar{\nabla} T) + P_{ij} \cdot \mathbf{U}_{ij}; \end{cases} \quad (10)$$

Это система уравнений движения сплошной среды, однако необходимо дополнить зависимостям соединяющими величины U, x, P_{ij} с термодинамическими параметрами ρ и T .

$$\bar{q} = x \cdot \bar{\nabla} T = x \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial x} \cdot \bar{i} + \frac{\partial T}{\partial y} \cdot \bar{j} + \frac{\partial T}{\partial z} \cdot \bar{k} \right) \quad (11)$$

Поэтому нормальная составляющая вектора потока тепла:

$$\text{div} \mathbf{U} = \frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{\partial U_z}{\partial z}. \quad (12)$$

$\text{div} \bar{\mathbf{v}}$ – дивергенция вектора скорости.

Как видно, интегрирование правых частей уравнений будет явно затруднено. Поэтому, вводя полярную систему координат, рассмотрим модель материальной точки.

Модель материальной точки. Если проектировать контактные силы и силу тяжести в направлениях ρ, φ . запишем систему уравнений для определения V_x, V_y в полярной системе координат (рисунок 4):

$$\begin{cases} x = \rho \cdot \cos \varphi \\ y = \rho \cdot \sin \varphi \end{cases}, \quad (13)$$

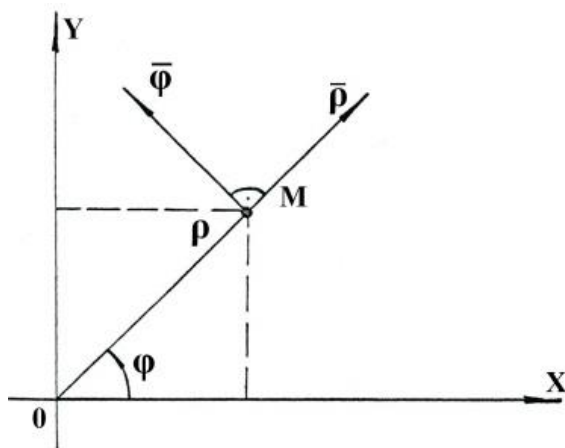


Рис. 4. Характер действия векторов на частицу сыпучих материалов

Запишем известные дифференцированные уравнения движения материальной точки M в виде [9]:

$$\begin{cases} m \cdot (\ddot{\rho} - \rho \cdot \varphi^2) = F_\rho \\ m \cdot (\rho \cdot \ddot{\varphi} - 2\dot{\rho} \cdot \dot{\varphi}) = F_\varphi \end{cases} \quad (14)$$

где

$$\begin{aligned} \dot{\rho} &= \frac{d\rho}{dt}; & \ddot{\rho} &= \frac{d^2\rho}{dt^2}; & \dot{\varphi} &= \frac{d\varphi}{dt}; & \ddot{\varphi} &= \frac{d^2\varphi}{dt^2} \\ \rho^2 \cdot \dot{\varphi} &= \text{const} \end{aligned} \quad (15)$$

Тогда:

$$\begin{aligned} \frac{d(\rho^2 \cdot \dot{\varphi})}{dt} &= 0 \text{ и } \rho \cdot (\rho \cdot \ddot{\varphi} + 2 \cdot \dot{\rho} \cdot \dot{\varphi}) = 0; \\ \rho^2 \cdot \ddot{\varphi} + 2\rho \cdot \dot{\rho} \cdot \dot{\varphi} &= 0; \\ (\rho^2 \cdot \dot{\varphi}) \cdot \frac{1}{t} &= \rho^2 \cdot \ddot{\varphi} + 2\rho \cdot \dot{\rho} \cdot \dot{\varphi} = 0; \\ \int \frac{d(\rho^2 \cdot \dot{\varphi})}{dt} \cdot dt &= C; \\ \rho^2 \cdot \dot{\varphi} &= C. \end{aligned}$$

Коэффициенты трения μ , можно выразить зависимостью:

$$\mu = \mu_0 + \alpha \cdot f(\dot{\rho}, \dot{\varphi}, \rho, \varphi), \quad (16)$$

где α – параметр малости;

f – нелинейная функция.

Контактные силы можно представить:

$$R = K_3 \cdot V_{XY}^n, \quad (17)$$

где n – степень, а K_3 – коэффициент захвата, можно считать постоянной величиной:

$$V_{XY} = \sqrt{V_X^2 + V_Y^2}, \quad (18)$$

$$F_{TP} = \mu \cdot N, \quad (19)$$

где

$$N = F_n + (-P_n) = F_n - P_n, \quad (20)$$

где P_n, P_t – составляющие вектора \bar{P} .

M_0 – начало захвата частицы сыпучих материалов стенками винтового сита,

где $\varphi_0 = -\frac{\pi}{2}$.

Поэтому:

$$P_\varphi = -P \cdot \cos \varphi, \quad (21)$$

и можно записать

$$m \cdot r \cdot \ddot{\varphi} = R - P \cdot \cos \varphi \quad (22)$$

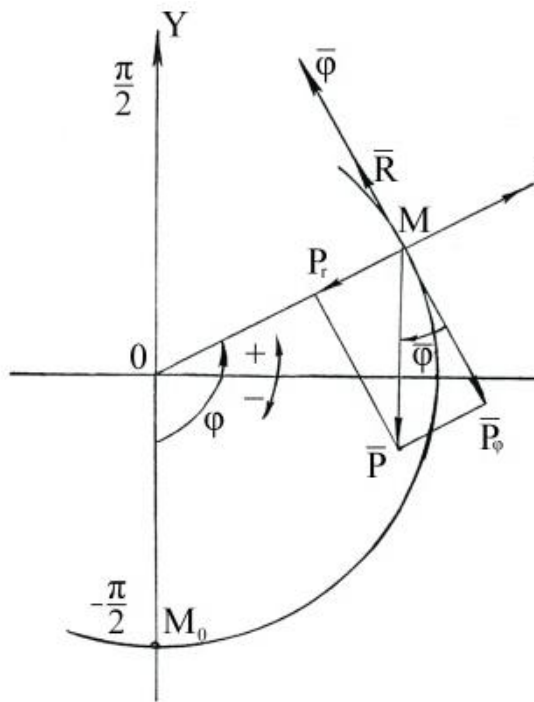


Рис. 5. Схема сил, действующих на частицу сыпучих материалов

А так как $F_\phi = R + P_\phi = R - P \cos \phi$, где $\rho = r = const$ ($\dot{\rho} = 0$), зависимость $m \cdot (\rho \cdot \ddot{\phi} + 2\dot{\rho} \cdot \dot{\phi}) = F_\phi$ преобразуется к виду:

$$m \cdot r \cdot \ddot{\phi} = F_\phi \quad (23)$$

Так как величина R имеет вид:

$$R_j = K_3 \cdot V_j^n, \quad (24)$$

вместо (22) запишем:

$$V_j = r \cdot \dot{\phi} \cdot \sin j \quad (25)$$

$$m \cdot \dot{V}_j = R_j - P \cdot \cos \phi \cdot \sin j \quad (26)$$

При $r = const$ с помощью (19), (20) находим V_j , а затем V_Z с помощью зависимости (8) запишем:

$$N = P \cdot \sin \phi - F_n, \quad (27)$$

где $V = \dot{\phi} \cdot r$ – величина центростремительного ускорения

$$F_n = m \cdot \frac{V^2}{r} = m \cdot \frac{(r \cdot \dot{\phi})^2}{r} = m \cdot r \cdot \dot{\phi}^2 \quad (28)$$

$$N_j \approx N \cdot \cos j \approx N, \quad (29)$$

согласно (16), (19), (27), (29) получим:

$$m \cdot V_j = \cos \phi \cdot \sin j - F_{TPj};$$

$$m \cdot r \cdot \ddot{\phi} = -P \cdot \cos \phi - F_{TP}; \quad (30)$$

Представим нижнее уравнение:

$$m \cdot r \cdot \ddot{\phi} = (\cos \phi + \mu \cdot \sin \phi) \cdot P + \mu \cdot r \cdot m \cdot \dot{\phi}^2 \quad (31)$$

При $\dot{\phi}_0 = \omega$,

$$\phi_0 = -\frac{\pi}{2} \text{ (захвате) } \dot{\phi}_1^2, \dots, \dot{\phi}_n^2$$

получаем квадратуры типа $t = t(\phi)$.

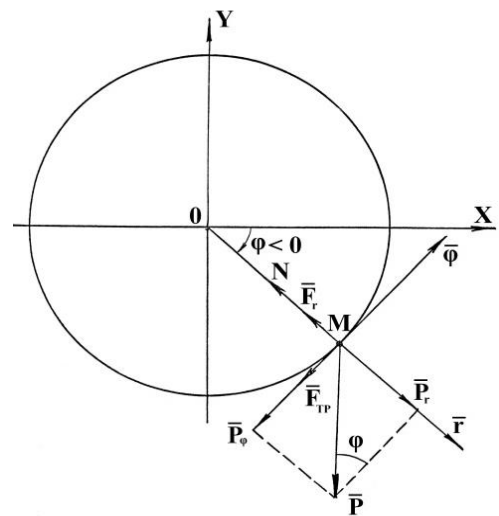


Рис. 6. Схема действия сил на частицу сыпучих материалов в винтовом сите

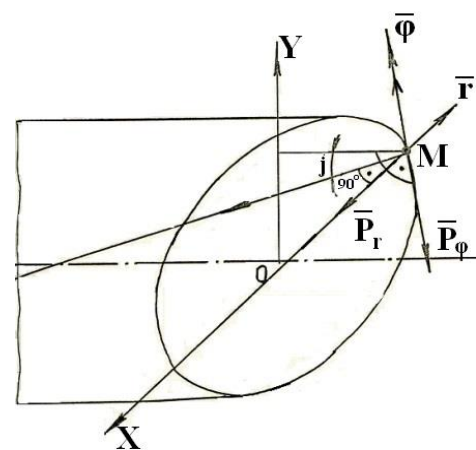


Рис. 7. Схема действия сил на частицу сыпучих материалов в поперечном сечении винтового сита

В системе (30) положим:

$$F_{TP} \approx F_{TPj} \approx 0, \text{ т. е. } \mu = 0. \quad (32)$$

Имеем:

$$\begin{cases} m \cdot \dot{V}_j = -P \cdot \cos \phi \cdot \sin j \\ r \cdot m \cdot \ddot{\phi} = -P \cdot \cos \phi \end{cases} \quad (33)$$

Интегрируем нижние уравнения этой системы.

С учётом $\ddot{\phi} = \frac{d\dot{\phi}}{dt}$ и $\dot{\phi} = \frac{d\phi}{dt}$ интегрируя, имеем:

$$\ddot{\varphi} = -\frac{g}{r} \cdot \cos \varphi;$$

$$\dot{\varphi} \cdot \ddot{\varphi} = -\frac{g}{r} \cdot \cos \varphi \cdot \frac{d\varphi}{dt};$$

$$\dot{\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = -\frac{g}{r} \cdot \cos \varphi \cdot \frac{d\varphi}{dt};$$

$$\int \dot{\varphi} \cdot d\varphi = -\frac{g}{r} \cdot \int \cos \varphi \cdot d\varphi;$$

или

$$\frac{\varphi}{2} = C_1 - \frac{g}{r} \cdot \sin \varphi. \quad (34)$$

Тогда:

$$\dot{\varphi}^2 = \omega^2 - \frac{2g}{r} \cdot (1 + \sin \varphi) \geq 0; \quad (35)$$

$$V_j = r \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin j, \quad (36)$$

так как $V_j = \frac{dV_j}{dt}$, $\dot{\varphi} = \frac{d\dot{\varphi}}{dt}$

$$dV_j = r \cdot \sin j \cdot d\varphi \quad (37)$$

Интегрируя (37) с учетом (18), запишем:

$$\int dV_j = r \cdot \sin j \int d\varphi + C_2 \text{ или}$$

$$V_j = r \cdot \sin j \cdot \dot{\varphi} + C_2, \text{ но,}$$

$$\varphi = \sqrt{\omega^2 - \frac{2g}{r} \cdot (1 + \sin \varphi)}, \text{ т.е.}$$

$$V_j = \sin j \sqrt{\omega^2 \cdot r^2 - 2g \cdot r(1 + \sin \varphi)} + C_2 \quad (38)$$

С учетом (37) и начальных условий преобразуем левую часть (38):

$$V_z = \left(-\omega \cdot r + \sqrt{\omega^2 \cdot r^2 - 2g \cdot r(1 + \sin \varphi)} \cdot \operatorname{tg} j \right) \quad (39)$$

После преобразований и упрощений, зависимость для определения скорости продольного перемещения частиц сыпучих материалов в винтовом сите может быть представлена в виде:

$$V_z = r \cdot \operatorname{tg} j \cdot \left\{ -\omega \sqrt{[1 + \mu_{20} \cdot K_2 \cdot (\pi + 2\varphi)] \times \omega^2 + 2(K_1 - K_0) \cdot (1 + \sin \varphi)} \right\}, \quad (40)$$

где r – средний радиус винтового сита, j – угол наклона винтовой линии винтового сита, K_2 ; K_1 ; K_0 ; μ_{20} – поправочные коэффициенты.

Из условий (36) имеем соотношение между дифференциалами:

$$dt = \frac{r \cdot d\varphi}{\sqrt{\omega^2 \cdot r^2 - 2g \cdot r(1 + \sin \varphi)}} \quad (41)$$

Так как $dZ = V_z \cdot dt$, с учётом (39), (41) и начальных условий:

$$\varphi_0 = -\frac{\pi}{2}, Z_0 = 0$$

После интегрирования длина рабочей камеры винтового сита L_{BC} может быть определена с помощью зависимости:

$$L_{BC} = Z = r \cdot \operatorname{tg} j \cdot \left(\varphi - \omega \cdot t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (42)$$

Таким образом, с помощью зависимостей (40) и (42) можно определить скорость перемещения частиц сыпучих материалов в винтовом сите V_z , а также длину рабочей камеры L_{BC} .

Для экспериментальных исследований спроектирована и изготовлена экспериментальная установка для разделения на фракции частиц сыпучих материалов (рис. 8). Она состоит из: 1 – станина, 2 – привод, 3 – винтовое сито, 4 и 5 – обода, 6 – роликовые опоры, 7 – параллельные валы, 8 – загрузочная воронка, 9 – входная загрузочная втулка, 10 и 11 – сменные сита треугольной формы с различными типоразмерами сепарирующих отверстий, 12 – торцевое выгрузочное отверстие винтового сита, 13, 14, 15 – емкости для приема готовой продукции, 16 – склизы для приема и транспортировки готовой продукции в емкости 13, 14.

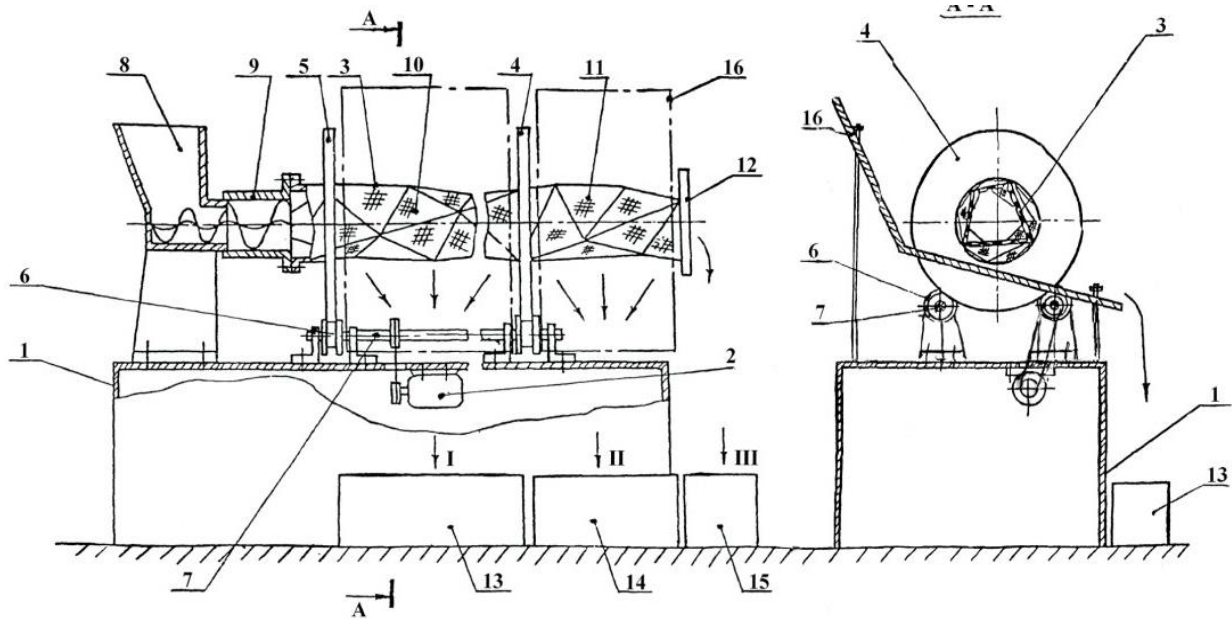


Рис. 8. Экспериментальная установка для разделения на фракции частиц сыпучих материалов

На рис. 9 представлена экспериментальная установка для разделения на фракции частиц сыпучих материалов, выполненная в металле.



Рис. 9. Экспериментальная установка для разделения на фракции сыпучих материалов

Определение скорости продольного перемещения частиц сыпучих материалов с учетом констант экспериментального характера

В процессе исследования выявлено, что существуют признаки, которые характерны для каждого класса винтовых сит [7].

Опыты показали, что зависимость для определения продольной скорости перемещения частиц сыпучих материалов в винтовых ситах V_z может быть представлена в виде полинома:

$$V_z = F_{BC} \cdot (\omega^4 + C_1 \cdot \omega^3 + C_2 \cdot \omega^2 + C_3 \cdot \omega + C_4), \quad (43)$$

где $F_{BC} = f \cdot (k_V; m_1; m_2)$; k_V – коэффициент заполнения рабочего объема части-

цами сыпучих материалов винтового сита

($k_V = \frac{V_m}{V_{BC}} = \frac{1}{2} \div \frac{2}{3}$ – соотношение объемов частиц строительных сыпучих материалов и объема рабочей камеры винтового сита); ω – скорость вращения винтового сита; V_{BC} – объем внутренней полости винтового сита; V_m – объем частиц сыпучих материалов в винтовом сите; m_1 – масса частицы сыпучих материалов; m_2 – масса частицы сыпучих материалов; C_1, C_2, C_3, C_4 – коэффициенты, которые характеризуют только класс винтового сита [7].

В тоже время результаты исследований показали, что уравнения движения, точнее скорости продольного перемещения, хорошо могут быть представлены полиномом 2-й степени:

$$V_Z = F_{BC} \cdot (A_1 \cdot \omega^2 + A_2 \cdot \omega + A_3), \quad (44)$$

где

$$F_{BC} = k_V \cdot k_m, \quad k_m = m_2 / m_1;$$

$A_1; A_2; A_3$ – коэффициенты характеризующие класс винтового сита [7].

Результаты экспериментальных исследований сведены в номограмму (рис. 10)

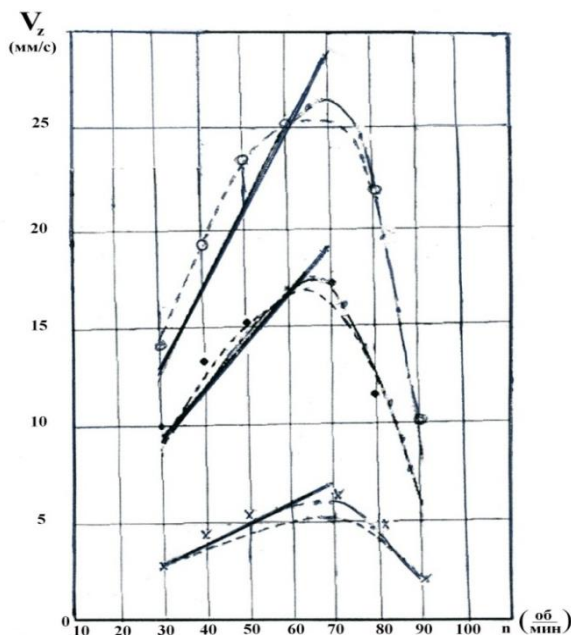


Рис. 10. Результаты экспериментальных исследований

(• - $k_V = 0,4$; x - $k_V = 0,1$; ° - $k_V = 0,5$;
—•— эксперимент; — — по формуле (45)
- - - - по формуле (44))

Обработка результатов исследований позволила получить уравнение для определения продольной скорости перемещения сыпучих материалов в винтовых ситах, удобное для инженерных расчетов при проектировании установок для сепарации в виде:

$$V = 2 \cdot G \cdot \omega \cdot (1 - V) \cdot K_q, \quad (45)$$

где G – постоянная, которая выражена через характеристики винтовых сит следующим образом:

для сит I и V классов $G = 0,145 \operatorname{tg} 30^\circ a_1$;

II класса $G = 0,115 \operatorname{tg} 21^\circ a_2$;

III класса $G = 0,135 \operatorname{tg} 19,5^\circ a_3$; (46)

IV класса $G = 0,135 \operatorname{tg} \lambda_4 a_4$;

0,145; 0,115; 0,135 – переводные коэффициенты в M^{-1} ;

a_1, a_2, a_3, a_4 – стороны элементов, из которых смонтировано винтовое сито;

λ_4 – угол наклона винтовой линии (свернутой из полос);

V – коэффициент для винтовых сит, имеющий вид:

для винтовых сит

I и V классов $v = 1 - \varphi_1$;

II класса $v = 0,24$;

III класса $v = 0,191$; (47)

IV класса $v = 0,190$;

φ_1 – в радианах при условии, что $\varphi_1 = 0,0873$, K_q – безразмерный коэффициент удельной производительности винтовых сит.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований показывают достаточно высокий уровень совпадения (рис. 10).

Заключение

Проведено аналитическое исследование процесса разделения сыпучих материалов на фракции, с целью выбора условной модели его описания. Проведен выбор математических моделей. Рассмотрена модель сплошной среды и модель материальной частицы. Разработана математическая модель определения скорости продольного перемещения масс сыпучих материалов от загрузки к выгрузке. Представлены зависимости для определения скорости про-

дольного перемещения сыпучих материалов в винтовом сите и длины его рабочей камеры. В работе применялся комплексный метод исследований. Аналитические методы позволили предложить зависимости для определения скорости продольного перемещения частиц сыпучих материалов. Экспериментальные исследования проведены с целью подтверждения аналитических зависимостей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент 1808417, А.С. СССР № 309750 и № 271981, МПК В07В 1/22. Устройство для очистки семян / Г. В. Серга, Г. С. Григорьянц, В. Н. Мирошниченко; Армавирский государственный педагогический институт; Армавирский масложиркомбинат. – № 4864388; заявл. 07.09.1990; опубл. 15.04.1993.
2. Патент № 2513066, Российская Федерация, В07В1/22. Грохот прямоточный / В.Д. Таратута, Г. В. Серга; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2012148640/3; заявл. 15.11.2012; опубл. 20.04.2014, Бюл. № 11.
3. Патент № 2121890, Российская Федерация, МПК В07В 1/22. Машина для сепарации сыпучих сред / Л.Н. Луговая, И.И. Табачук, Э.В. Кравченко, Г.В. Серга; «Кубанский государственный аграрный университет». – № 97113113/03; заявл. 16.07.1997; опубл. 20.11.1998, Бюл. № 25.
4. Патент № 2188720, Российская Федерация, МПК В07В 1/22. Барабанный грохот / А.В. Ляу, А. Н. Иванов, Н. Н. Лукин, Г. В. Серга; «Кубанский государственный аграрный университет» – № 2000118994/03; заявл. 17.07.2000; опубл. 10.08.2002, Бюл. № 25.
5. Патент № 2494601, Российская Федерация, МПК А01D41/00. Комбайн зерноуборочный прямоточный/ Г.В. Серга, В.Д. Таратута; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет». - № 2012121216/13; заявл. 23.05.2011; опубл. 10.10.13. Бюл. «28.
6. Патент 2007226 Российская Федерация, МПК В07В. 1/22. Семяочистительная машина / Г. В. Серга, К. В. Филин; - № 4926616/03; заявл. 11.03.1991; опубл. 15.02.1994.
7. Серга, Г. В. Разработка классификации винтовых сит/ Г.В. Серга, А.Н. Секисов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2019. - №11. - С. 27-37.
8. Смирнов, В. И. Курс высшей математики / В.Н. Смирнов. - М.: Наука, Т. 2.4, 1961. - С. 361-367.
9. Яворский, Б. М. Справочник по физике / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф. - М.: Наука, 1985. - С. 21, 38.

K.V. Filin; = No.4926616/03; applied: 11.03.1991; published: 15.02.1994.

7. **Serga, G.V.** *Development of Spiral Sieve Classification*/ G.V. Serga, A.N. Sekisov // Bulletin of Bryansk State Technical University. – 2019. – No.11. – pp. 27-37.

8. **Smirnov, V.I.** *Higher Mathematics Course* / V.N. Smirnov. – М.: Science, Vol.2.4, 1961. – pp. 361-367.

9. **Yavorsky, B.M.** *Physics Reference Book* / B.M. Yavorsky, A.A. Detlaf. – М.: Science, 1985. – pp. 21, 38.

Ссылка для цитирования:

Белокур, Е.В. Исследование движения сыпучих материалов в винтовых ситах / Е.В. Белокур, А.Н. Секисов, Г.В. Серга // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2021. - № 2. - С. 4-12. DOI: 10.30987/1999-8775-2021-2-4-12.

Статья поступила в редакцию 07.09.20.

Рецензент: д.т.н., профессор Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета Мокрицкий Б.Я.,

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 22.01.21.

Сведения об авторах:

Белокур Евгения Васильевна, ст. преподаватель кафедры «Высшая математика», Кубанский государственный технологический университет, e-mail: evgeniakoa@mail.ru.

Секисов Александр Николаевич, к. э. н., доцент кафедры «Технология, организация, экономика, строительство и управление недвижимостью», Ку-

банский государственный технологический университет, e-mail: alnikkss@gmail.com.

Серга Георгий Васильевич, д. т. н., профессор, зав. кафедрой НГиГ, Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина, e-mail: serga-georgy@mail.ru.

Belokur Yevgenia Vasilievna, Senior lecturer of the Dep. "Higher Mathematics", Kuban State Technological University, e-mail: evgeniakoa@mail.ru.

Sekisov Alexander Nikolaevich, Can. Sc. Econ., Assistant Prof. of the Dep. "Technology, Organization, Economics, Construction and Real Estate Manage-

ment", Kuban State Technological University, e-mail: alnikkss@gmail.com.

Serga Georgy Vasilievich, Dr. Sc. Tech., Prof., Head of the Dep. "NG&G", Trubilin State Agricultural University of Kuban, e-mail: serga-georgy@mail.ru.