

УДК 531

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ В СПИРАЛЬНО-ВИНТОВЫХ УСТРОЙСТВАХ

*Ю.М. Исаев, доктор технических наук, профессор
Н.М. Семашкин, кандидат технических наук, доцент
В.А. Злобин, кандидат технических наук, доцент
В.П. Прусаков, студент
Тел. 8 (8422) 55-95-53, emotion.snm@mail.ru
ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА*

Ключевые слова: спиральный винт, частица сыпучего материала, угловая и линейная скорость, коэффициент трения о поверхность спирали и кожуха.

Исследования работы направлены на обоснование теоретических характеристик спирально-винтовых устройств для перемещения сыпучих материалов. Приводятся теоретические исследования посвященные взаимодействию частицы материала со спиральным винтом, а так же приводятся зависимости угловой скорости движения частицы от углового перемещения и времени.

Введение. В сельскохозяйственном производстве большое значение имеет сокращение потерь и повышение качества сыпучих материалов при его обработке, хранении и перемещении. Большая доля сельскохозяйственных работ включают в себя процессы мойки зерна, его обеззараживания и ворошения. В общем случае устройства для перемещения и обработки сыпучих материалов содержат спирально-винтовой рабочий орган.

Материалы и методы исследования. Рассмотрим взаимодействие частицы со спиральным винтом и корпусом устройства (рисунок 1). Нормальная реакция N , действующая на частицу со стороны витка спирали, составляет угол ϑ (град), с перпендикуляром к винтовой наклонной линии, а перпендикуляр, в свою очередь, угол α , с осью z (рисунки 1, 2) [1, 2]. Сила трения направлена в сторону, обратную движению, и распола-

гается на линии вектора v_0 (м/с), т.е. $F_1 = f_1 \cdot N_1$, где f_1 – коэффициент трения частицы о спиральный винт.

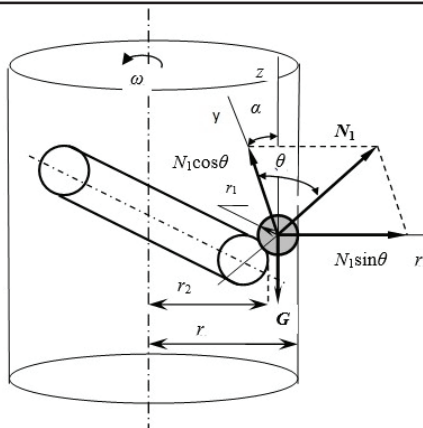


Рисунок 1 - Схема разложения нормальной реакции спирального витка пружины на составляющие

Как видно из рисунков 1 и 2, угол ϑ между нормальной реакцией поверхности витка спирали и осью Oy характеризует геометрические характеристики спирального витка, корпуса устройства и размер частиц сыпучего материала, который определяется:

$$\theta = \arcsin\left(\frac{(r - r_2 + d/2 - r_1)}{(r_1 + d/2)}\right), \quad (1)$$

где r – внутренний радиус цилиндрического корпуса, м; r_1 – радиус частицы, м; r_2 – радиус спирального витка, м; d – диаметр проволоки, м.

Нормальная реакция N_2 , действующая на частицу со стороны внутренней поверхности корпуса и лежит на его радиусе, а сила трения $F_2 = f_2 \cdot N_2$ имеет направление, обратное вектору абсолютной скорости, и составляет с осью φ угол β , где f_2 – коэффициент трения частицы о внутреннюю поверхность корпуса.

Развернем винтовую линию на плоскость, касательную к поверхности корпуса (рисунок 2).

Движение частицы материала, опирающейся на винтовую поверхность витка спирали и прижатой к стенке корпуса, для общего случая расположения оси спирально-винтового устройства описывается дифференциальными уравнениями:

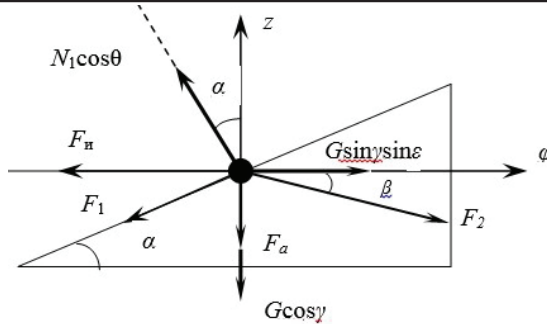


Рисунок 2 – Развертка винтовой линии на плоскость, касательную к поверхности кожуха

$$\begin{cases} N_1 \cos \alpha \cos \theta - f_1 N_1 \sin \alpha - m a \frac{d^2 \varphi}{dt^2} - G \cos \gamma - f_2 N_2 \sin \beta = 0; \\ G \cos \gamma \sin \varepsilon + f_2 N_2 \cos \beta - f_1 N_1 \cos \alpha - N_1 \sin \alpha \cos \theta - m r \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = 0; \\ G \sin \gamma \cos \varepsilon + m r \omega_0^2 + m r \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 - N_2 + N_1 \sin \theta - 2 m r \omega_0 \frac{d\varphi}{dt} = 0, \quad (2) \end{cases}$$

где α - угол подъема винтовой линии: $\alpha = \arctg s / (2pr)$, рад; s - шаг винта, м; r - наружный радиус, м; $m = G/g$ - масса частицы, кг; G - вес частицы, Н; γ - угол наклона оси спирали к вертикали, град; N_2 - нормальная

реакция кожуха, Н; b - угол между векторами переносной \vec{v}_n и абсо-

лютной \vec{v}_a скоростей, рад; (угловой параметр); $a = r t g \alpha$ - параметр

транспортера, м; $\sin \beta = (a/v) d\varphi/dt$; $\cos \beta = (r/v)(\omega_0 - d\varphi/dt)$ - тригонометрические функции параметра; j - угол, на который отклоняется частица при вращении спирали с постоянной угловой скоростью ω_0 ,

c^{-1} ; $j = f(t)$; t - время, с; $d\varphi/dt = \omega'$ - угловая скорость относительного движения частицы, c^{-1} ; e - угол, определяющий положение точки относительно вертикальной плоскости, рад; $e = \gamma + (-j)$, где $\gamma = \omega_0 t$ - угол по-

ворота спирали за t ; $F_{\mu} = m r d^2 \varphi / dt^2$ - касательная сила инерции, Н; F_n

$= mr$ - центробежная сила инерции в переносном движении, Н; $F_o =$

$mr(d\varphi/dt)^2$ - центробежная сила инерции в относительном движе-

нии, Н; $F_k = 2m\omega_0 r d\varphi/dt$ - сила Кориолиса, Н; $F_a = ma d^2\varphi/dt^2$ - акси-

альная сила инерции, Н.
Дифференциальные уравнения (2) описывают движения частицы материала по внутренней поверхности корпуса спирально-винтового устройства.

Результаты исследований и их обсуждение. При углах наклона оси транспортера к горизонту δ меньше 25° и скоростях вращения,

определяемых значениями критерия $\lambda = \omega^2 r/g = 7...14$, преобладают затухающие колебания частицы около образующей корпуса, которые характеризуются фазовой траекторией (рисунок 3 и 4).

При углах наклона оси транспортера к горизонту δ меньше 25° и скоростях вращения, определяемых значениями критерия $\lambda = \omega^2 r/g = 7...14$, преобладают затухающие колебания частицы около образующей корпуса, которые характеризуются фазовой траекторией (рисунок 3).

С увеличением угла δ и угла ϑ меняется режим перемещения частицы и фазовая траектория принимает вид, как показано на рисунке 5.

Решение дифференциальных уравнений (2) для установившегося режима работы спирально-винтового устройства записывается в виде соотношения:

$$\frac{f_2 \left[\omega_0^2 r^2 \sin^2 \alpha \cos^2 \beta + rg \sin \gamma \cos \varepsilon \sin^2 (\alpha + \beta) \right]}{rg \sin^2 (\alpha + \beta) \left[\cos \gamma (f_1 \cos \alpha - f_2 \cos \beta \sin \theta + \sin \alpha \cos \theta) + \right.} \mapsto$$

$$\left. \frac{\left[\cos (\alpha + \beta) \cos \theta - f_1 \sin (\alpha + \beta) \right]}{+ \sin \gamma \sin \varepsilon (f_1 \sin \alpha + f_2 \sin \beta \sin \theta - \cos \alpha \cos \theta)} \right] = 1, \quad (3)$$

где угол β является функцией $\beta = \beta(\gamma, \omega, r, \alpha, f_2, f_1 \varepsilon)$.

В свою очередь осевая скорость частицы $v_1 = v \cdot \sin \beta$ является функцией угла β [2, 3]. Зависимости осевой скорости перемещаемого

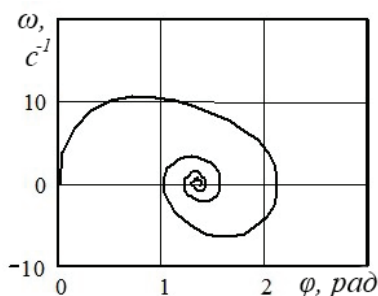


Рисунок 3 – Зависимость изменения угловой скорости ω от углового перемещения ϕ

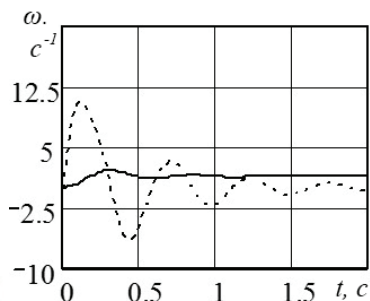


Рисунок 4 – Зависимость изменения угловой скорости ω от времени t

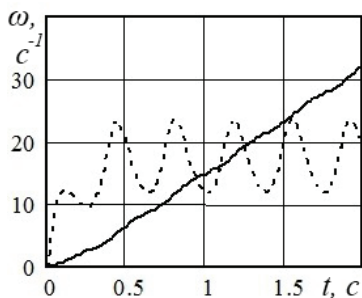
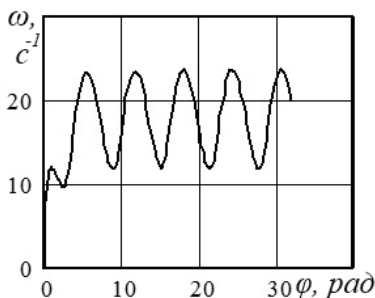


Рисунок 5 – Изменения угловой скорости ω и углового перемещений частицы ϕ в зависимости от времени t при $\delta = 25^\circ$ и $\vartheta = 47^\circ$

материала в спирально-винтовом устройстве от конструктивных параметров представлены на рисунке 6.

На рисунке 6 показаны зависимости осевой скорости материала от угла подъема винтовой линии $\alpha = 5i$ (град) показанной на графике под номером 1; от коэффициента трения частицы о поверхность спирали $f_1 = 0,1i$, номер 2; от коэффициента трения частицы о внутреннюю поверхность корпуса $f_2 = 0,1i$ номер 3; от угла наклона оси пружины к вертикали $\gamma = 10i$ (град) номер 4.

Заключение. Рассмотренные теоретические исследования предназначены для получения необходимых конструктивно-режимных параметров

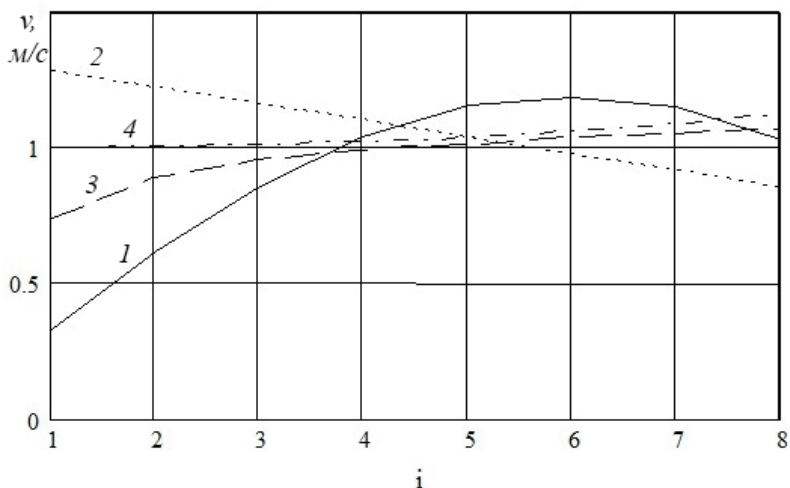


Рисунок 6 – Изменение осевой скорости v (м/с) в зависимости от различных параметров при $\theta = 32^\circ$.

устройства для перемещения сыпучего материала при его конструировании. При проведении экспериментальных исследований устройства показали превосходные результаты по перемещению сыпучих материалов, такие как сохранение качества и целостности частиц материала. При этом удельные энергозатраты на перемещение сыпучих материалов не превысили 1,022 (кВт·ч)/кг.

Библиографический список

1. Исаев Ю.М., Семашкин Н.М., Гришин О.П., Гришина Е.В. Режимные параметры перемещения частицы материала в вертикальном погрузчике / Современные наукоемкие технологии.– 2012. – № 9. – С. 46.
2. Исаев Ю.М., Семашкин Н.М., Назарова Н.Н., Злобин В.А. Скорость движения сыпучего материала с точки зрения коаксиальных цилиндров / Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. –2011.– № 3. – С. 141-142.
3. Исаев Ю.М., Семашкин Н.М., Евстигнеева О.Г., Кошкина А.О. Оптимальные условия вертикального перемещения частицы / Международный журнал экспериментального образования.– 2013.– № 3. – С. 76-77.
4. Исаев Ю.М., Губейдуллин Х.Х., Семашкин Н.М., Шигапов И.И. Начальные скорости движения частицы материала при перемещении

- спиральным винтом / Аграрная наука. – 2014. – № 10. – С. 28-30.
5. Исаев Ю.М., Семашкин Н.М. Основы гидродинамического расчета зернового движителя / Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – № 3 (13). – С. 117-121.
 6. Воронина М.В., Исаев Ю.М., Семашкин Н.М. Параметры спирально-винтового транспортера для сыпучих материалов / Фундаментальные исследования. – 2007. – № 12-2. С. 262-263.
 7. Исаев Ю.М., Воронина М.В., Семашкин Н.М., Злобин В.А. Влияние активного слоя на перемещение зерна в спирально-винтовом транспортере / Успехи современного естествознания. – 2008. – № 8. С. 65-66.
 8. Исаев Ю.М., Семашкин Н.М. Моделирование траектории движения частицы материала в устройстве со спирально-винтовым рабочим органом / Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 1 (25). – С. 156-160.
 9. Воронина М.В., Исаев Ю.М., Семашкин Н.М., Шуреков А.В. Влияние заборной части пружинного транспортера на движение зернового материала / Фундаментальные исследования. – 2008. – № 3. С. 65.
 10. Исаев Ю.М., Семашкин Н.М., Минибаева Е.В. Струйное распыливание жидкости в протравливателе / Успехи современного естествознания. – 2012. – № 2. С. 111-112.
 11. Исаев Ю.М., Губейдуллин Х.Х., Семашкин Н.М., Гришин О.П. К вопросу о вертикальном перемещении сыпучего материала Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 4. С. 122-126

THE THEORETICAL DESCRIPTION OF PROCESSES IN SPIRAL-SCREWED DEVICES

Isaev Y.M., Semashkin N. M., Zlobin V.A., Prusakov V. P.

Key words: the spiral screw, a bulk particle, angular and linear speed, friction coefficient about a surface of a spiral and a casing.

Work researches, are directed on justification of theoretical characteristics of spiral-screwed devices for movement of bulks. The theoretical researches devoted to interaction of a particle of material with the spiral screw are given, and dependences of angular speed of the movement of a particle on angular movement and time are also given.