

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЧАСТИЦЫ ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ПО ПЛОСКОСТИ

Ю.М. Исаев, доктор технических наук, профессор,
Н.М. Семашкин, кандидат технических наук, доцент,
В.А. Злобин, кандидат технических наук,
ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина»
432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1; тел.: 8 (84231) 55-95-49,
e-mail: emotion.snm@mail.ru

Ключевые слова: движение частицы по плоскости, винтовая поверхность, схем приложенных сил.

Рассмотрено перемещение частицы в аксиальном и перпендикулярном направлении относительно образующей поверхности спирали. Приведены дифференциальные уравнения, описывающие движения частицы материала по образующей винтовой поверхности рабочего органа.

В случае движения частицы по поверхности спирального винта, по кривой линии, связи кинематических параметров установлены только в самой общей математической форме и в силу этого не нашли применения для инженерных расчетов перемещения частиц с рабочим органов в виде винтовой поверхности. Поэтому возникает необходимость в том, чтобы такие связи были установлены в раскрытом виде, пригодном для практического использования спирально-винтового рабочего органа. Рассмотрим случай когда имеется транспортер с рабочим органом в виде винтовой поверхности и с образующими, перпендикулярными к оси рабочего органа. При этом будем считать, что образующая рабочего органа неподвижна, а винтовая поверхность вращается вокруг своей оси

с постоянной угловой скоростью ω . Если в начальный момент времени частица материала находится на поверхности кольца, то через некоторый отрезок времени она окажется затянута силой трения, возникающей между частицей и винтовой поверхностью, перемещаясь по ней, как в аксиальном, так и перпендикулярном к нему направлениях, совершая криволинейный характер движения (рисунок 1).

Приложенными к частице силами будут:

$G = mg$ – сила тяжести, Н; N_2 – нормальная реакция поверхности кольца, Н; N_1 – нормальная реакция элемента винтовой поверхности, Н; $f_2 N_2$ – сила трения частицы о поверхность кольца, Н; $f_1 N_1$ – сила трения частицы о элемент винтовой поверхности, Н.

Направление сил за исключением силы трения частицы о поверхность кольца являются заданными. Причем вследствие того, что образующие винтовой поверхности перпендикулярны к его оси, реакция

N_1 и сила трения $f_1 N_1$ во всех точках движения будут лежать в плоскостях, показанных на рисунке 2.

Для определения направления силы трения

$f_2 N_2$ необходимо знать положение касательной к траектории движения частицы по поверхности кольца рабочего органа, поскольку она направлена по этой касательной в сторону, обратную направлению скорости ее движения. Следовательно, направление данной силы трения будет меняться с изменением направления скорости движения частицы.

Отнесем движущуюся частицу материала к

осям координат X, Z , приняв левую систему отсчета. Тогда дифференциальные уравнения движения частицы в проекциях на оси координат можно напи-

сать так (при условии, что $N_2 > 0$):

Приняв теперь во внимание, что

$r = r_0 = const$, $\dot{r} = \ddot{r} = 0$, и подставив в уравнение значения и получим:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = N_1 \sin \alpha + f_1 N_1 \cos \alpha - f_2 G \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{z}^2 + \dot{x}^2}}; \\ m\ddot{z} = N_1 \cos \alpha - f_1 N_1 \sin \alpha - f_2 G \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{z}^2 + \dot{x}^2}}; \end{cases} \quad (1)$$

где m – масса частицы, кг; \ddot{x} – вторая производная

от перемещения по оси X , м/с²; f_1 – коэффициент трения частицы о элемент винтовой поверхности;

$const$ – угол наклона винтовой линии рабочего органа к плоскости поперечного сечения вин-

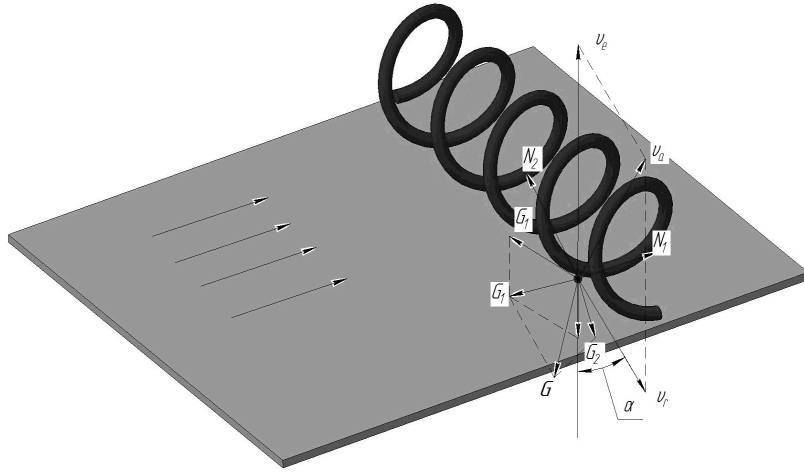


Рисунок 1 – Схема приложенных сил к частице элементом винтовой поверхности на кольце

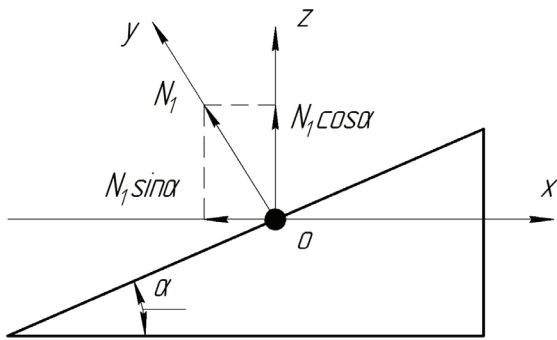


Рисунок 2 – Разложение нормальной реакции винтовой поверхности рабочего органа в плоскости Oxz

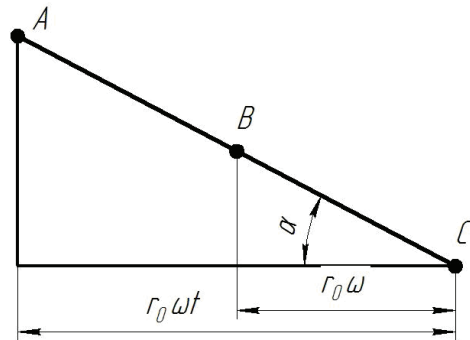


Рисунок 3 – Схема перемещения частицы по развертке винтовой линии

товой поверхности, град; f_2 – коэффициент трения частицы о поверхность кольца; \dot{x} – первая производная от перемещения по оси X , м/с; \dot{z} – первая производная от перемещения по оси Z , м/с; \ddot{z} – вторая производная от перемещения по оси Z , м/с².

Но при затягивании частицы по плоской поверхности, перпендикулярной к оси рабочего органа, она совершает относительное угловое перемещение в той же плоскости на угол $(\omega t - \varphi)$ (рисунок 3).

На рисунке 3 AB равно длине пути скольжения частицы по винтовой поверхности рабочего органа, а

BC – длине пути переноса частицы самим винтом.

Поэтому перемещение, скорость и ускорение частицы в аксиальном направлении можно выразить так:

$$\begin{cases} z = (r_0 \omega t - x) \operatorname{tg} \alpha; \\ \dot{z} = (r_0 \omega - \dot{x}) \operatorname{tg} \alpha; \\ \ddot{z} = -\ddot{x} \operatorname{tg} \alpha; \end{cases} \quad (2)$$

где r_0 – расстояние пройденное частице по винтовой поверхности, м; t – время перемещения частицы, с; X – перемещение, м.

Тогда система (2) запишется при $m = 1$:

$$\begin{cases} \ddot{x} = N_1 (\sin \alpha + f_1 \cos \alpha) - f_2 g \frac{\dot{x}}{\sqrt{(r_0 \omega - \dot{x})^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + \dot{x}^2}}; \\ \ddot{z} = N_1 (\cos \alpha - f_1 \sin \alpha) - f_2 g \frac{\dot{z}}{\sqrt{(r_0 \omega - \dot{x})^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + \dot{x}^2}}; \end{cases} \quad (3)$$

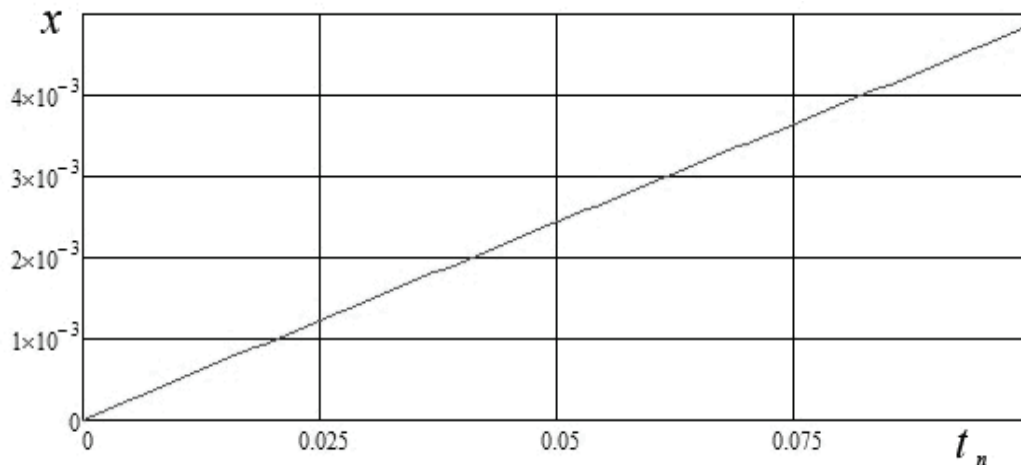


Рисунок 5 – Зависимость изменения перемещения частицы x от времени t_n

где g – ускорение свободного падения, m/c^2 .

Обозначим:

$$C = \sin \alpha + f_1 \cos \alpha, \quad (4)$$

$$D = \cos \alpha - f_1 \sin \alpha, \quad (5)$$

$$A(\dot{x}) = \frac{\dot{x}}{\sqrt{(r_0 \omega - \dot{x})^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + \dot{x}^2}}, \quad (6)$$

$$B(\dot{x}) = \frac{(r_0 \omega - \dot{x})}{\sqrt{(r_0 \omega - \dot{x})^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + \dot{x}^2}}. \quad (7)$$

Тогда

$$\begin{cases} \ddot{x} = CN_1 - f_2 g A(\dot{x}); \\ -\operatorname{tg} \alpha \ddot{x} = DN_1 - f_2 g B(\dot{x}). \end{cases} \quad (8)$$

Если в системе уравнений исключить из них нормальную реакцию N_1 , то получим одно уравнение с одним неизвестным относительно координаты x :

$$\ddot{x} + f_2 g \frac{\dot{x}}{\sqrt{(r_0 \omega - \dot{x})^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + \dot{x}^2}} = \left(-\ddot{x} \cdot \operatorname{tg} \alpha + f_2 g \frac{r_0 \omega - \dot{x}}{\sqrt{(r_0 \omega - \dot{x})^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + \dot{x}^2}} \right) \left(\frac{C}{D} \right), \quad (9)$$

или

$$\ddot{x} = \frac{f_2 g (B(\dot{x}) - A(\dot{x}) D / C)}{(D + \operatorname{tg} \alpha)}. \quad (10)$$

Полученные дифференциальные уравнения, описывают движения частицы материала по образующей винтовой поверхности рабочего органа.

Решение полученных уравнений с помощью аналитических методов не представляется возможным, поэтому решение их проводилось численными методами с помощью ЭВМ. Программы расчетов с использованием пакета MathCad. Подставив полученные функции от времени величины и в первое и во второе уравнение (2), можно найти требуемые для целей расчета и проектирования винтового транспортера выражения, определяющие перемещение и скорость транспортируемой частицы в зависимости от конструктивных параметров рабочего органа. Для решения полученных уравнений выбирались начальные условия движения частиц и входящие в уравнения постоянные. А так как числовые значения постоянных в каждом конкретном случае разные, то и каждая частная задача требует отдельного решения.

На рисунке 5 приведены результаты расчетов для рабочего органа в виде винтовой поверхности с

характеристиками: $f_1 = 0,4$ – коэффициент трения

частицы о поверхность рабочего органа; $f_2 = 0,8$ –

коэффициент трения частицы о корпус кожуха; $\omega =$

6 c^{-1} – круговая частота вращения рабочего органа; r_1

$= 0,004 \text{ м}$ – средний радиус частицы; $r_2 = 0,045$

м – радиус рабочего органа; $S = 0,01 \text{ м}$ – шаг винтовой линии рабочего органа.

Из рисунка 5 видно, что перемещение частицы винтовой поверхностью в осевом её направлении происходило линейно, при этом не наблюдалось никаких замедлений при перемещении по выбранной

оси X .

Условия перемещения частицы винтовым

устройством по плоскости. Материал, заполняющий пространство между кожухом и винтовой поверхностью рабочего органа, находится в весьма сложных условиях, вследствие чего задача об исследовании движения материалов представляет одну из труднейших экспериментальных и теоретических проблем.

Разбивая мысленно поток материала на отдельные элементарные слои, легко заметить, что в промежутке между диаметрами d_1 и d_2 располагается бесчисленное множество наклонных плоскостей с переменным углом α_i .

Так как при постоянном числе оборотов рабочего органа $n = \text{const}$, линейная скорость переносного движения $v_n = \omega \cdot r_i = \frac{\pi n r_i}{30}$ будет изменяться, то угол β , образуемый между векторами

\bar{v} и \bar{v}_n , будет тоже величиной переменной. На характер направления вектора абсолютной скорости

$\bar{v} = \bar{v}_n + \bar{v}_0$, представляющего собой геометрическую сумму векторов переносной и относительной скоростей, оказывают влияние условия взаимодействия рассматриваемого элементарного слоя с соседними слоями перемещаемого потока, осевое и радиальное скольжение слоев материала, вызываемое изменение осевой $v_1 = v \cdot \sin \beta$ и окружной

$v_2 = v \cdot \cos \beta$ скоростей материала. В связи с этим, целесообразно рассмотреть движение материального элемента, выделенного на периферийной или средней винтовых линиях поверхности, а вопрос об определении осевой скорости всего потока транспортируемой массы решить путем введения экспериментальных коэффициентов, для получения которых необходима постановка соответствующих опытов.

Библиографический список:

1. Исаев, Ю.М. Давление спирального винта на частицу материала / Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин, Н.Н. Назарова, В.А. Злобин // Современные наукоемкие технологии. – 2010. – № 9. с. 175...176.
2. Исаев, Ю.М. Критические условия перемещения частиц в спирально-винтовом транспортере / Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин, В.А. Злобин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2011. – № 3. С. 142-143.
3. Исаев, Ю.М. Влияние активного слоя на перемещение зерна в спирально-винтовом транспортере / Ю.М. Исаев, М.В. Воронина, Н.М. Семашкин, В.А. Злобин // Успехи современного естествознания. – 2008. – № 8. С. 65-66.
4. Исаев, Ю.М. Режимные параметры перемещения частицы материала в вертикальном погрузчике // Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин, О.П. Гришин, Е.В. Гришина // Современные наукоемкие технологии. – 2012. – № 9. С. 46.
5. Исаев, Ю.М., Влияние длины загрузочного окна на параметры пружинного транспортера / Исаев, Ю.М. Губейдуллин Х.Х., Аксенова Н.Н. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2006. № 11. с. 10-11.

THE ORETICAL DESCRIPTION OF MOVEMENT OF THE PARTICLE SCREW SURFACE ON THE PLANE

Isaev YU.M., Semashkin N. M., Zlobin VA.

Keywords: *the movement of a particle on the plane, a screw surface, schemes of the applied forces.*

Movement of a particle in the axial and perpendicular direction to rather forming spiral surface is considered. The differential equations describing the movements of a particle of material on the forming screw surface of working body are given.