

КРИТИЧЕСКАЯ ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ СПИРАЛЬНОГО ВИНТА ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ЧАСТИЦЫ МАТЕРИАЛА

Исаев Юрий Михайлович, доктор технических наук, профессор
Артемьев Владимир Григорьевич, доктор технических наук, профессор
Семашкин Николай Михайлович, кандидат технических наук
Назарова Наталья Николаевна, инженер,
Злобин Вадим Александрович, инженер
 ФГБОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия»
 432063, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1
 Тел.: 8 (84231) 55-95-49, e-mail: isurmi@yandex.ru

Ключевые слова: минимальная частота вращения спирального винта, абсолютная скорость перемещения элемента материала, угловая скорость.

Рассмотрены теоретические исследования, направленные на обоснование режимных параметров спирально-винтового устройства, таких как минимальная частота вращения рабочего органа, необходимая для начала подъема элемента материала, и его абсолютная скорость перемещения. Получены зависимости скорости транспортирования материала от частоты вращения спирального винта и его диаметра.

Спирально-винтовые погрузчики значительно проще шнековых, скребковых и ковшовых. Работа спирально-винтовых устройств отличается несколькими особенностями, например, наличием критической частоты вращения спирали, характеризующей условие начала движения материала.

Однако точное теоретическое решение данной задачи связано с большими трудностями ввиду сложного движения перемещаемой сыпучей массы и напряженного ее состояния в пространстве.

Применим теорию спирально-винтового устройства [1] для рассмотрения вращения вертикально расположенной проволоочной спирали, поверхность которой образована перемещением некоторого радиуса (образующей) r_2 , нормального к оси спирального винта. При этом будем считать, что один конец этого радиуса остается на оси спирального винта, а другой следует по винтовой линии (рисунок 1).

Поверхность спирали, построенная таким образом, носит название прямого гелокоида. Перемещение радиуса r_2 за один полный оборот дает шаг спирали S . При этом

$$\operatorname{tg} \alpha = S / \pi D, \quad (1)$$

где α – угол подъема направляющей винтовой линии, град; D – наружный диа-

метр спирального винта, равный $2r_2$, м; S – шаг спирального винта, м.

Рассмотрим силы, действующие на частицу материала.

На частице, прижатой к поверхности кожуха, под действием инерционной силы U возникает сила трения

$$T_2 = \mu_2 U = \mu_2 m r (\omega - 2\pi v_0 / S)^2, \quad (2)$$

где μ_2 – коэффициент трения элемента

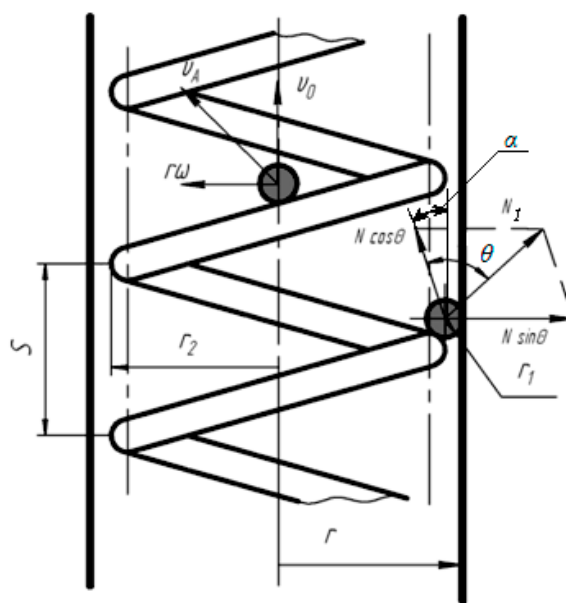


Рис. 1 – Схема разложения нормальной реакции проволоочного витка спирали на составляющие

о поверхность кожуха; m – масса частицы, кг; r – внутренний радиус цилиндрического кожуха, м; ω – угловая скорость вращения спирали, с^{-1} ; v_0 – осевая скорость перемещения частицы, м/с.

Сила T_2 направлена в сторону, противоположную скорости v_A (рисунок 2).

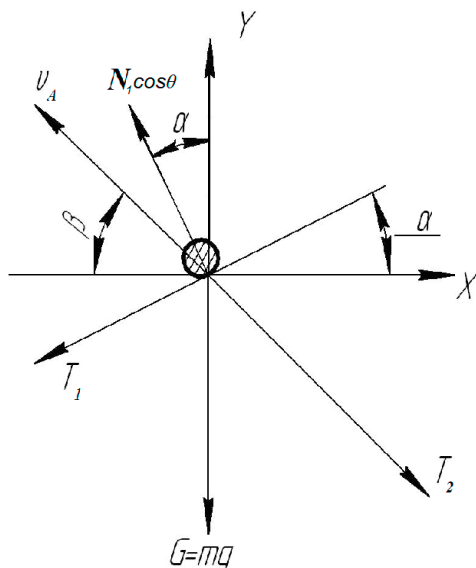


Рис. 2 – Силы, действующие на частицу материала, находящуюся на винтовой поверхности спирали

Со стороны поверхности спирали на частицу будет действовать нормальная сила N_1 , которая вызовет силу трения:

$$T_1 = \mu_1 N_1, \quad (3)$$

где μ_1 – коэффициент трения частицы о поверхность спирали.

Вес частицы $G = mg$ совпадает по направлению с осью спирали. При установившемся движении частицы тангенциальные ускорения и соответствующие им инерционные силы отсутствуют. Спроектировав все силы, действующие на частицу, на ось Y , параллельную оси спирали, и ось X , лежащую в плоскости, касательной к поверхности кожуха, получим следующие уравнения равновесия [2]:

$$\sum Y = N_1 \cos \alpha \cdot \cos \theta - mg - \mu_1 N_1 \sin \alpha - T_2 \sin \beta = 0 \quad (4)$$

$$\sum X = T_2 \cos \beta - N_1 \sin \alpha \cos \theta - \mu_1 N_1 \cos \alpha = 0 \quad (5)$$

где ϑ – угол между нормальной реакцией поверхности спирали и осью, перпен-

дикулярной винтовой линии, град.; β – угол между направлением движения абсолютной скорости и осью X , град.

Как видно из рисунка 1, угол ϑ характеризует геометрические характеристики спирали, цилиндрического кожуха и размер частицы материала в погрузчике. Его определяют по формуле:

$$\theta = \arcsin((r - r_2 + d/2 - r_1)/(r_1 + d/2)), \quad (6)$$

где r_1 – радиус частицы, м; r_2 – радиус спирали, м; d – диаметр проволоки, м.

Уравнения равновесия:

$$N_1 \frac{\cos(\alpha + \varphi) \cos \theta}{\cos \varphi} - mg - T_2 \sin \beta = 0 \quad (7)$$

$$T_2 \cos \beta - N_1 \frac{\sin(\alpha + \varphi) \cos \theta}{\cos \varphi} = 0 \quad (8)$$

где $\varphi = \arctg(\mu_1 / \cos \theta)$, град.

После решения этих уравнений получим:

$$T_2 \left[\frac{1}{\tg(\alpha + \varphi)} - \tg \beta \right] = \frac{mg}{\cos \beta}. \quad (9)$$

Пользуясь зависимостью

$$1 / \cos \beta = \sqrt{1 + \tg^2 \beta} = \sqrt{1 + v_0^2 / (\omega r - v_0 / \tg \alpha)^2}, \quad (10)$$

где ω – угловая скорость вращения спирали, с^{-1} , и исключая T_2 , преобразуем уравнение (9):

$$\mu_2 r \omega^2 (1 + \tg \beta / \tg \alpha)^2 [1 / \tg(\alpha + \varphi) - \tg \beta] = g \sqrt{1 + \tg^2 \beta} \quad (11)$$

Используя уравнение (11), выделяли скорость осевого перемещения частицы материала, наименьшую угловую скорость вращения спирали $\omega_{\min}$ и соответствующее ей частоту вращения $n_{\min}$, при котором осевое перемещение частицы материала становится невозможным. Приравняв скорость нулю, получим:

$$\frac{\mu_2 \omega_{\min}^2 r}{\tg(\alpha + \varphi)} = g. \quad (12)$$

Наименьшая частота вращения спирали при перемещении материала

$$n_{\min} = \omega_{\min} / (2\pi) = (1 / 2\pi) \sqrt{(g \cdot \tg(\alpha + \varphi)) / (r \mu_2)} \quad (13)$$

При $S = 2r = 0,1$ м; $\mu_2 = \mu = 0,4$; $\theta = 20^\circ$,

наименьшее значение $n_{\min} = 281 \text{ мин}^{-1}$.

Полученное выражение показывает, что наименьшая частота вращения будет тем больше, чем меньше диаметр спирали и коэффициент трения материала о кожух и чем больше угол подъема винтовой линии и коэффициент трения материала о винтовую поверхность спирали.

Так как величина $\text{tg} \beta$ в уравнении (11) меньше единицы, можно заменить это уравнение приближенным. Подставив соответствующие величины, получим:

$$\frac{\omega^2}{\omega_{\min}^2} = \left(1 + \frac{\text{tg} \beta}{\text{tg} \alpha} \right)^2, \quad (14)$$

откуда

$$\text{tg} \beta = \left(\frac{\omega}{\omega_{\min}} - 1 \right) \text{tg} \alpha. \quad (15)$$

При этом скорость осевого перемещения частицы

$$\begin{aligned} v_0 &= r\omega \frac{\text{tg} \beta}{1 + \text{tg} \beta / \text{tg} \alpha} = r\omega \frac{(\omega / \omega_{\min} - 1) \text{tg} \alpha}{\omega / \omega_{\min}} = \\ &= r\omega \left(1 - \frac{\omega_{\min}}{\omega} \right) \text{tg} \alpha \end{aligned}$$

или

$$v_0 = \pi D n (1 - n_{\min} / n) \text{tg} \alpha. \quad (16)$$

где n – рабочая частота вращения спирали, мин^{-1} .

Подставив в уравнение (16) значение $\text{tg} \alpha$ из уравнения (1), получим:

$$v_0 = S n (1 - n_{\min} / n). \quad (17)$$

Таким образом, скорость осевого перемещения элемента материала будет тем больше, чем больше частота вращения и шаг спирали и чем меньше значение наименьшей частоты вращения.

С учетом уравнения (16) абсолютная скорость движения частицы материала примет вид:

$$\begin{aligned} v_A &= \sqrt{v_0^2 + \left(r\omega - \frac{v_0}{\text{tg} \alpha} \right)^2} = r\omega \sqrt{\left(1 - \frac{\omega_{\min}}{\omega} \right)^2 \text{tg}^2 \alpha + \left(\frac{\omega_{\min}}{\omega} \right)^2} \\ &= \pi D n \sqrt{\left(1 - \frac{n_{\min}}{n} \right)^2 \text{tg}^2 \alpha + \left(\frac{n_{\min}}{n} \right)^2}. \end{aligned} \quad (18)$$

Используем выведенные формулы для

определения перемещения всей массы материала, располагающегося на поверхности спирали. При вертикальном перемещении условно считали, что материал заполняет все пространство между внутренней границей перемещения и кожухом (коэффициент наполнения транспортера меньше 1), как показано на рисунке 3. Решение этой задачи облегчается тем, что в формулах (13), (16) отсутствует величина массы перемещаемого материала.

В данном случае диаметр D_1 определяется следующим отношением [3]:

$$D_1 = \frac{D_K + D_0}{2}, \quad (19)$$

где D_K – диаметр кожуха, м; D_0 – внутренний диаметр границы перемещаемого материала, м.

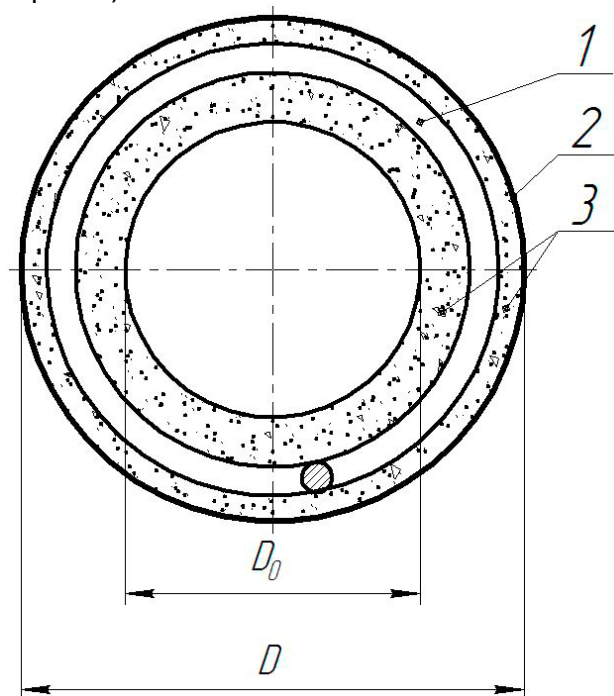


Рис. 3 – К вопросу определения D_1 при вертикальном перемещении материала:

1 – спиральный винт; 2 – кожух; 3 – сыпучий материал

Соответственно угол подъема винтовой линии α заменим средним углом подъема α_1 , определенным по формуле:

$$\text{tg} \alpha_1 = \frac{S}{\pi D_1}. \quad (20)$$

В этом случае для определения наи-

меньшей частоты вращения спирального винта при вертикальном перемещении материала уравнение (13) примет вид:

$$n_{\min} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1 + \varphi)}{r_1 \mu_2}}. \quad (21)$$

Минимальная частота вращения, определенная по формуле (21), при одних и тех же размерах спирально-винтового устройства будет значительно больше частоты вращения, определенной по выражению (13). Так, например, для спирально-винтового погрузчика при $S = D = 0,1$ м и $D_0 = 0,06$ м минимальная частота вращения $n_{\min} = 343$ мин⁻¹.

Результаты исследований процесса вертикального перемещения материала в кожухе с использованием формулы (18) приведены на рисунке 4.

При увеличении частоты вращения спирального винта и изменении его диаметра от 0,05 м до 1 м линейная скорость частицы материала увеличивается.

Полученная критическая частота вращения спирального винта при вертикальном перемещении материала означает, что вертикальные устройства для перемещения материала со спирально-винтовым рабочим органом являются скоростными. Частота вращения такого рабочего органа зависит как от наружного диаметра спирали, так и от внутреннего диаметра границы перемещаемого материала.

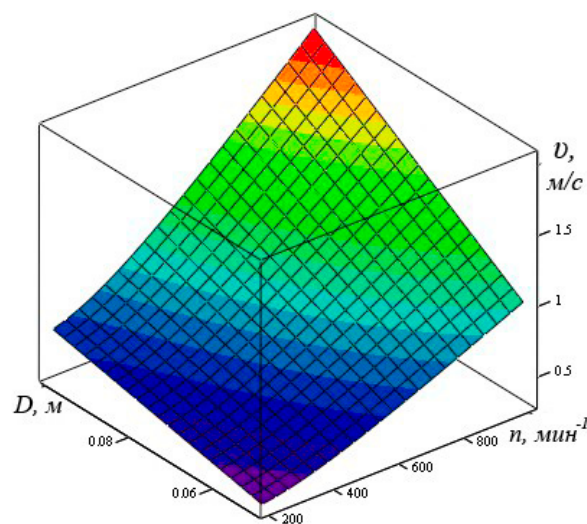


Рис. 4 – Зависимость линейной скорости транспортируемого материала от частоты вращения спирального винта и его диаметра

Библиографический список

1. Груздев И.Э., Мирзоев Р.Г., Яиков В.И. Теории шнековых устройств. – Л. Изд-во. Ленингр. ун-та, 1978. – 144 с.
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. Гутьяр Е. Я. Элементарная теория вертикального винтового транспортёра / Тр МИМЭСХ им. В. М. Молотова. – М.: Машгиз, 1956. – Т. 2. с. 8-12.

УДК 631.363.7

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛОПАСТНЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ СУХИХ СМЕСЕЙ

Коновалов Владимир Викторович, доктор технических наук, профессор

Чупшев Алексей Владимирович, кандидат технических наук

Терюшков Вячеслав Петрович, кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия», 440014 г.

Пенза, ул. Ботаническая 30, тел. т. 8(412) 628-272

89272868593,

e-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Шабурова Галина Васильевна, кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия», 440605, г. Пен-