

МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

Евстратов В. А., д-р техн. наук, проф.,
Гасанов Б. Г., д-р техн. наук, проф.,
Евстратова Н. Н., канд. техн. наук, доц.,
Рудь А. В., канд. техн. наук

Шахтинский институт Южно – Российского государственного
технического университета (Новочеркасского политехнического института)

ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА ОБРАЗУЮЩЕЙ ШНЕКОВОЙ ЛОПАСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВИНТОВОГО КОНВЕЙЕРА НА КОЭФФИЦИЕНТ ВЫДАЧИ МАТЕРИАЛА

vae602@yandex.ru

Теоретически обоснована возможность повышения коэффициента выдачи материала вертикального винтового конвейера за счет изменения геометрии шнековой лопасти таким образом, чтобы образующие поверхности лопасти были направлены не по нормали к оси шнека, а имели наклон вниз от оси шнека к периферии. Получена зависимость для определения влияния величины угла наклона образующей шнековой лопасти на направление движения материала.

Ключевые слова: винтовой конвейер, коэффициент выдачи материала, образующая шнековой лопасти, частица материала, угол наклона, коэффициент трения.

Винтовые конвейеры, широко применяются на предприятиях с массовым и крупносерийным производством для межцехового и внутрицехового транспортирования пылевидных, взрывоопасных, порошкообразных и мелкокусковых материалов.

К преимуществам винтовых конвейеров относятся простота устройства и несложность технического обслуживания, небольшие габаритные размеры, герметичность, что особенно важно при перемещении пылящих, остропахнущих грузов, возможность загрузки и разгрузки в любом месте по длине, невысокая стоимость.

Недостатками винтовых конвейеров являются связанный со способом перемещения вы-

сокий удельный расход энергии, значительное истирание и измельчение груза, повышенный износ шнека. Основным недостатком является сообщение шнековым валом транспортируемому материалу не только поступательного движения, но и вращательного, что приводит к проворачиванию материала вместе со шнеком, и, следовательно, к снижению производительности конвейера [1].

Частица материала, опирающаяся на винтовую поверхность шнека и прижатая к стенке цилиндра, для общего случая наклонного расположения оси винтового конвейера имеет движение, описываемое дифференциальными уравнениями [1]

$$\left. \begin{aligned} N_{uu} \cos \alpha - f_{uu} N_{uu} \sin \alpha - ma \left(\frac{d^2 \varphi}{dt^2} \right) - G \cos \theta - f_{\eta} N_{\eta} \cos \beta = 0; \quad G \sin \theta \sin \varepsilon + f_{\eta} N_{\eta} \sin \beta - f_{uu} N_{uu} \\ \cos \alpha - N_{uu} \sin \alpha - mR \left(\frac{d^2 \varphi}{dt^2} \right) = 0; \\ G \sin \theta \cos \varepsilon + mR \omega_0^2 + mR \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 - N_{\eta} - 2mR \omega_0 \frac{d\varphi}{dt} = 0, \end{aligned} \right\} (1)$$

где N_{uu} - нормальная реакция лопасти шнека, H ; f_{uu} - коэффициент трения материала о лопасть шнека; $\alpha = \arctg \frac{S}{2\pi R}$ - угол подъема винтовой линии шнека, rad ; S - шаг шнека, m ; R - радиус лопасти шнека, m ; $m = \frac{G}{g}$ - масса элемента мате-

риала, kg ; G - вес элемента материала, H ; θ - угол наклона оси вала к вертикали, rad ; N_{η} - нормальная реакция цилиндра, H ; f_{η} - коэффициент трения материала о стенку цилиндра; β - угол между вектором абсолютной скорости \bar{v} и осью шнека, rad ; $\varphi = f(t)$ - угол, на который отклоняется частица при вращении шнека с по-

стоянной угловой скоростью ω_0 , 1/с; t - время, с; $\frac{d\varphi}{dt} = \omega'$ - угловая скорость относительного движения частицы, 1/с; $\varepsilon = \psi + (-\varphi)$ - угол, определяющий положение точки относительно вертикальной плоскости, рад; $\psi = \omega_0 t$ - угол поворота шнека за t с, рад; $mR \frac{d^2\varphi}{dt^2}$ - касательная сила инерции, Н; $m\omega_0^2 R$ - центробежная сила инерции в переносном движении, Н; $mR \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2$ - центробежная сила инерции в относительном движении, Н; $2m\omega_0 R \frac{d\varphi}{dt}$ - сила Кориолиса, Н; $ma \frac{d^2\varphi}{dt^2}$ - аксиальная сила инерции, Н.

$$\left. \begin{aligned} N_{uu} \cos \alpha - f_{uu} N_{uu} \sin \alpha - f_y N_y \cos \beta - mg \cos \theta &= 0; \\ mg \sin \theta \sin \varepsilon + f_y N_y \sin \beta - f_{uu} N_{uu} \cos \alpha - N_{uu} \sin \alpha &= 0; \\ mg \sin \theta \cos \varepsilon + mR \omega_0^2 + mR \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 - N_y - 2mR \omega_0 \frac{d\varphi}{dt} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Для вертикального винтового конвейера в стационарном режиме:

$$\left. \begin{aligned} N_{uu} \cos \alpha - f_{uu} N_{uu} \sin \alpha - f_y N_y \cos \beta - mg &= 0; \\ f_y N_y \sin \beta - f_{uu} N_{uu} \cos \alpha - N_{uu} \sin \alpha &= 0; \\ mR \omega_0^2 + mR \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 - N_y - 2mR \omega_0 \frac{d\varphi}{dt} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Вектор абсолютной скорости элементарной частицы материала равен векторной сумме $\vec{v} = \vec{v}_z + \vec{v}_y = v_z \vec{i} + v_y \vec{j}$ (рис.1), где \vec{i} и \vec{j} - единичные векторы; $v_z = v \cos \beta$ - модуль осевой составляющей абсолютной скорости частицы или скорости скольжения по стенке цилиндра; $v_y = v \sin \beta$ - модуль касательной составляющей абсолютной скорости, характеризующей окружную скорость частицы материала в абсолютном вращательном движении.

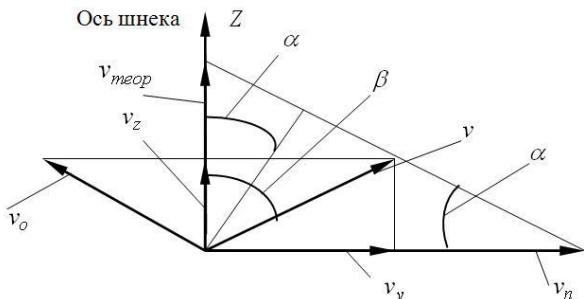


Рис. 1. План скоростей

Из плана скоростей (рис.1) имеем

$$\frac{R\omega_0^2 f_y}{g} \left[\frac{\sin \alpha \sin \beta}{\cos(\beta - \alpha)} \right]^2 - \frac{f_{uu} + tg \alpha}{\sin \beta (1 - f_{uu} tg \alpha) - \cos \beta (f_{uu} + tg \alpha)} = 0. \quad (10)$$

Реакции цилиндра и шнека

Система (1) при $\theta = 0$ соответствует вертикальному конвейеру; при $\theta = \frac{\pi}{2}$ - горизонтальному конвейеру.

Численное решение данной системы уравнений показывает, что переходной процесс не является определяющим, поскольку его продолжительность составляет доли секунды. Поэтому будем считать процесс транспортирования стационарным, т.е.

$$\frac{d\varphi}{dt} = const, \quad \frac{d^2\varphi}{dt^2} = 0.$$

В этом случае движение груза в стационарном режиме из (1) после преобразований может быть записано в виде:

$$v = \frac{\omega_0 R \sin \alpha}{\cos(\beta - \alpha)}; \quad (4)$$

$$v_z = v \cos \beta = \frac{\omega_0 R \sin \alpha \cos \beta}{\cos(\beta - \alpha)}; \quad (5)$$

$$v_y = v \sin \beta = \frac{\omega_0 R \sin \alpha \sin \beta}{\cos(\beta - \alpha)}; \quad (6)$$

$$\omega = \frac{v_y}{R} = \frac{\omega_0 \sin \alpha \sin \beta}{\cos(\beta - \alpha)}, \quad (7)$$

где ω - угловая скорость абсолютного вращательного движения материала.

Система (3) описывает движение элементарной частицы материала, прижатой к стенке корпуса и к лопасти шнека в вертикальном винтовом конвейере. Подставив в третье уравнение

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{v \cos \beta}{\alpha} = \frac{\omega_0 \cos \alpha \cos \beta}{\cos(\beta - \alpha)}, \quad (8)$$

имеем

$$\left. \begin{aligned} N_{uu} \cos \alpha - f_{uu} N_{uu} \sin \alpha - f_y N_y \cos \beta - mg &= 0; \\ f_y N_y \sin \beta - f_{uu} N_{uu} \cos \alpha - N_{uu} \sin \alpha &= 0; \\ -N_y + mR \omega_0^2 \left[\frac{\sin \alpha \sin \beta}{\cos(\beta - \alpha)} \right]^2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Система (9) характеризует движение частицы материала в вертикальном шнеке, образующие поверхности лопасти которого направлены по нормали к оси шнека.

Решив систему (9) получим уравнение для определения угла β

$$N_u = \frac{mg(f_{uu} + tg\alpha)}{f_u \sin \beta(1 - f_{uu}tg\alpha) - f_u \cos \beta(f_{uu} + tg\alpha)}. \quad (11)$$

$$N_{uu} = \frac{mg \sin \beta}{\cos \alpha[\sin \beta(1 - f_{uu}tg\alpha) - \cos \beta(f_{uu} + tg\alpha)]}. \quad (12)$$

Анализ количественных результатов процесса транспортирования, полученных при решении уравнения (10) с применением вычислительной техники, показывает, что на эффективность транспортирования существенное влияние оказывают коэффициенты трения материала о шнек и внутреннюю поверхность корпуса конвейера. Чем больше коэффициент трения материала о внутреннюю поверхность корпуса конвейера и чем меньше коэффициент трения материала о шнек, тем больше поступательная составляющая

$$\left. \begin{aligned} N_{uu} \cos \gamma - f_{uu} N_{uu} \sin \alpha - f_u N_u \cos \beta - mg &= 0; \\ f_u N_u \sin \beta - f_{uu} N_{uu} \cos \alpha - N_{uu} tg \alpha \cos \gamma &= 0; \\ N_{uu} tg \theta \cos \gamma - N_u + mR\omega_0^2 \left[\frac{\sin \alpha \sin \beta}{\cos(\beta - \alpha)} \right]^2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

где θ - угол между образующей лопасти шнека и нормалью к оси шнека (рис.2); α - угол подъема винтовой линии шнека; γ - угол между плоскостью лопасти шнека и осью шнека

$$\gamma = \arctg(\sqrt{tg^2 \alpha + tg^2 \theta}).$$

Уравнение для определения угла β , полученное из системы (13) имеет вид

$$\frac{R\omega_0^2 f_u}{g} \left[\frac{\sin \alpha \sin \beta}{\cos(\beta - \alpha)} \right]^2 - \frac{f_{uu} \cos \alpha + \cos \gamma tg \alpha - f_u \sin \beta tg \theta \cos \gamma}{\cos \gamma \sin \beta - f_{uu} \cos(\beta - \alpha) - \cos \beta \cos \gamma tg \alpha} = 0. \quad (14)$$

Реакции цилиндра и шнека

$$N_u = \frac{mg(f_{uu} \cos \alpha + \cos \gamma tg \alpha)}{f_u(\cos \gamma \sin \beta - f_{uu} \cos(\beta - \alpha) - \cos \beta \cos \gamma tg \alpha)}. \quad (15)$$

$$N_{uu} = \frac{mg \sin \beta}{\cos \gamma \sin \beta - f_{uu} \cos(\beta - \alpha) - \cos \beta \cos \gamma tg \alpha}. \quad (16)$$

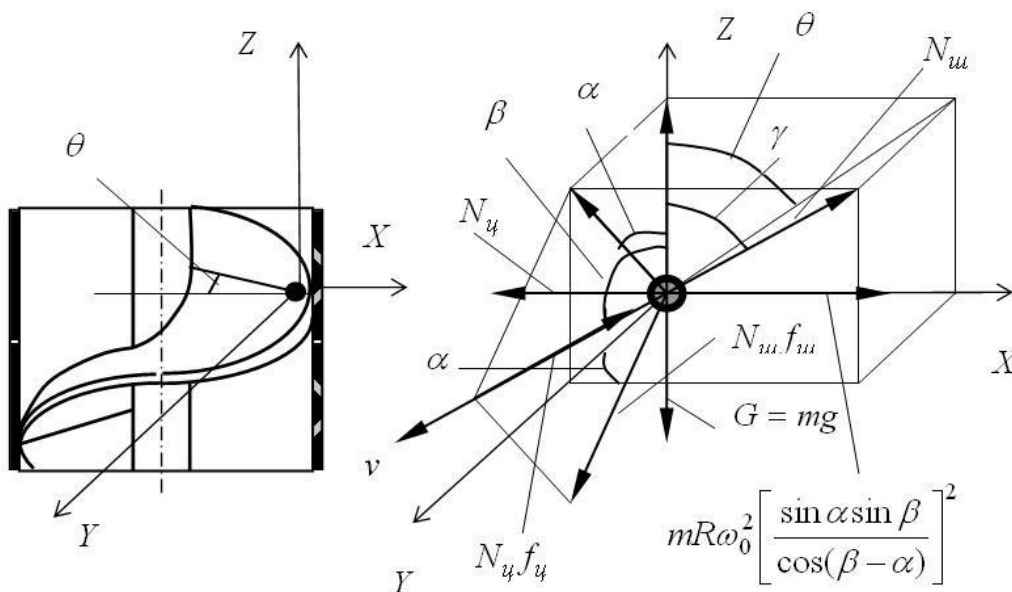


Рис. 2. Схема действия сил на частицу материала

Решение уравнения (13) с применением вычислительной техники позволяет определить

влияние угла наклона образующей шнековой лопасти на направление движения частицы ма-

териала, а, следовательно, и на производительность конвейера.

На рисунке 3 представлена зависимость коэффициента подачи шнека от угла наклона лопасти шнека при следующих значениях величин, входящих в зависимость (14): радиус лопасти шнека $R=0,2\text{ м}$; угол подъема винтовой линии шнека $\alpha=20^\circ$; частота вращения шнекового вала $n=200\text{ об/мин}$.

Коэффициент подачи шнека k_β равен отношению фактической производительности винтового конвейера к его теоретической произ-

водительности, которая будет иметь место, если абсолютная скорость движения материала будет направлена вдоль оси шнека, и характеризует эффективность функционирования винтового конвейера [2]:

$$k_\beta = \frac{Q}{Q_{\text{теор.}}} = \frac{v_x}{v_{\text{теор.}}} = \frac{\cos \alpha \cos \beta}{\cos(\beta - \alpha)} = \frac{1}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}. \quad (17)$$

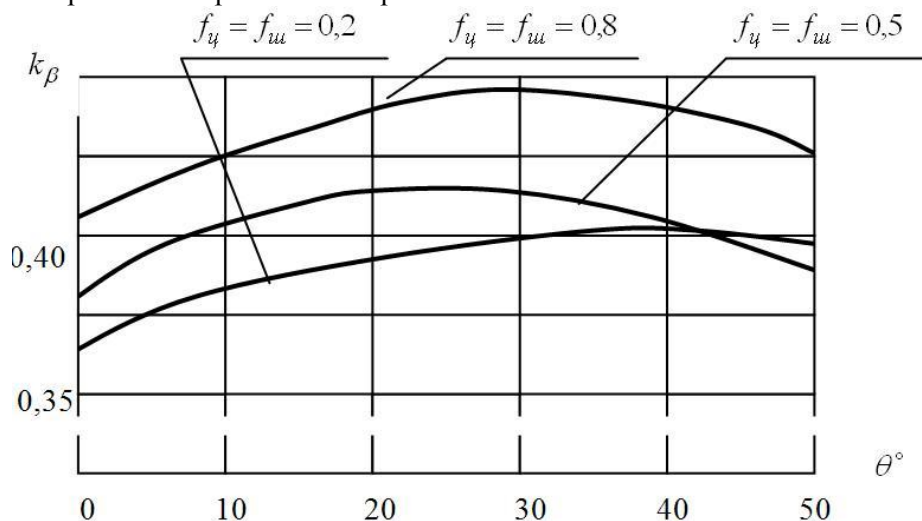


Рис. 3. Зависимость коэффициента подачи шнека от угла наклона образующих шнековой лопасти

Количественные результаты показывают, что производительность винтового конвейера с лопастью, имеющей наклон от оси шнека к периферии, выше, чем у конвейера с лопастью, образующие которой направлены по нормали к оси шнекового вала, на 8 – 15 % при транспортировании различных материалов за счет увеличения поступательной составляющей движения груза в направлении транспортирования. Анализ полученных результатов показывает, что рациональное значение угла наклона образующих шнековой лопасти зависит от свойств транспортируемого материала и составляет $15 \div 30^\circ$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Григорьев, А.М. Винтовые конвейеры. / А.М. Григорьев. – М.: Машиностроение, 1972.- 248с.
2. Спиваковский, А.О. Транспортирующие машины. / А.О. Спиваковский, В.К. Дьячков – М.: Машиностроение, 1983.- 487с.