Физико-математические науки

СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ КОАКСИАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРОВ

Исаев Ю.М., Семашкин Н.М., Назарова Н.Н., Злобин В.А.

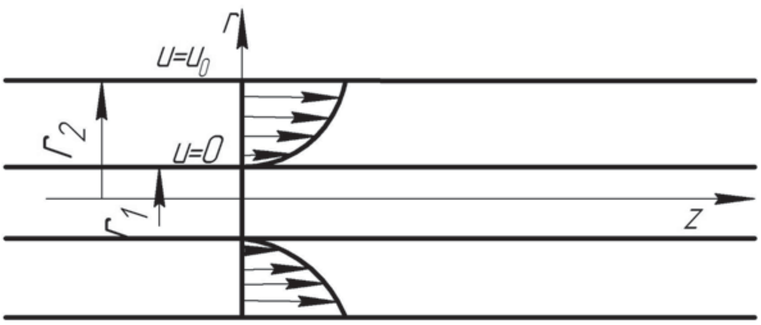
Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия, Ульяновск, e-mail: isurmi@yandex.ru

В большинстве устройства для перемещения сыпучих материалов содержат устройства загрузки, транспортирующую часть – спиральный винт, кожух и разгрузочное устройство. Рассмотрим схему движения материала (рисунок) между двумя коаксиальными цилиндрами радиусом r_1 и r_2 соответственно в канале длиной L. Ось z направим вдоль оси цилиндров, а ось r перпендикулярно оси вдоль радиуса. Скорость u_0, связанная с кинематическими параметрами спирально-винтового рабочего органа, считается известной.

Сыпучий материал можно представить в виде вязкой несжимаемой жидкости со средней объемной плотностью ρ и вязкостью ν, аналогом внутреннего трения. Опишем уравнениями Навье-Стокса, которые для вязкой несжимаемой жидкости с постоянной скоростью $\boldsymbol{v}$ = const и плотностью ρ = const в векторной форме принимают вид:

$$\vec{F} - \frac{1}{\rho} gradP + \nu \nabla^2 \vec{v} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t},$$

где F – вектор массовых сил; ρ – плотность, кг/м^3; P – среднее нормальное давление в точке, Па; ν – кинематический коэффициент вязкости м^2/с; $\boldsymbol{v}$ – скорость движения потока м/с; ∇^2 – дифференциальный оператор; t – время, с.



Распределение скоростей при движении сыпучего материала между двумя коаксиальными цилиндрами

В проекциях на оси цилиндрической системы координат уравнение имеет вид:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial v_r}{\partial t} = F_r - \dfrac{1}{\rho}\dfrac{\partial P}{\partial r} + \nu \cdot \nabla^2 v_r; \\ \dfrac{\partial v_\varphi}{\partial t} = F_\varphi - \dfrac{1}{\rho}\dfrac{\partial P}{\partial \varphi} + \nu \cdot \nabla^2 v_\varphi; \\ \dfrac{\partial v_z}{\partial t} = F_z - \dfrac{1}{\rho}\dfrac{\partial P}{\partial z} + \nu \cdot \nabla^2 v_z. \end{cases}$$

После многочисленных математических преобразований получим скорость движения потока используя, функции Бесселя:

$$u(r,t)=\frac{u_0}{\ln\alpha}\left(\ln\left(r/r_1\right)-2\sum_{k=1}^{\infty}\frac{\left(\alpha\mu_k\ln\left(\alpha\right)I_1(\alpha\mu_k)-I_0(\alpha\mu_k)\right)}{\mu_k^{22}I_1(\mu_k)}e^{-\nu\left(\frac{\mu_k}{r_1}\right)^2 t}I_0\left(\frac{\mu_k}{r_1}r\right)\right),$$

где u – скорость движения потока; r – текущий радиус; t – время движения потока; α – ускорение переносного движения; I – функция Бесселя.

КРИТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЧАСТИЦ В СПИРАЛЬНО-ВИНТОВОМ ТРАНСПОРТЕРЕ

Исаев Ю.М., Семашкин Н.М., Злобин В.А.

Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия, Ульяновск, e-mail: isurmi@yandex.ru

Работа вертикальных спирально-винтовых транспортеров отличается некоторыми особенностями, например, наличием критического числа оборотов шнека, ниже которого последний не перемещает материал.

Рассмотрим силы, действующие на элемент материала. На частицу, прилегающую к поверхности кожуха, без учета горизонтальной составляющей нормальной реакции со стороны спирали под действием инерционной силы U возникает сила трения

$$T=\mu_{к}U=\mu_{к}mr\left(\omega-\frac{2\pi v_0}{S}\right)^2, \qquad (1)$$

где $\mu_{к}$ – коэффициент трения элемента о поверхность кожуха; S – шаг спирали; $\boldsymbol{v}_0$ осевая скорость перемещения частицы; ω – угловая скорость вращения спирали.

Вес частицы 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 цилиндра, получим следующие уравнения равновесия:

$$\sum Y=R\cos\alpha\cdot\cos\theta-mg-\mu R\sin\alpha-T\sin\beta=0; \qquad (2)$$

$$\sum X=T\cos\beta-R\sin\alpha\cos\theta-\mu R\cos\alpha=0, \qquad (3)$$

где угол θ между нормальной реакцией поверхности спирали и осью Y характеризует геометрические характеристики спирали, цилиндрического кожуха и размер частиц сыпучего материала в транспортере и определяется по формуле:

$$\theta=\arcsin\left(\frac{r-r_2+d}{2-r_1}\bigg/\frac{r_1+d}{2}\right), \qquad (4)$$

где r – внутренний радиус цилиндрического кожуха; r_1 – радиус частицы; r_2 – радиус спирали; d – диаметр проволоки.

Решая уравнения (2), (3) исключением нормального давлении R и силы трения T, получим уравнение:

$$\mu_k r\left(\omega-\frac{2\pi v_0}{S}\right)^2\left(\frac{1}{\operatorname{tg}\left(\alpha+\varphi_1\right)}-\operatorname{tg}\beta\right)=g\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\beta}, \qquad (5)$$

где $\varphi_1=\operatorname{arctg}\left(\frac{\mu}{\cos\theta}\right)$.