УДК 66.028

Д.В. Филимонов, С.В. Першина[*]

РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ШНЕКОВЫХ И СПИРАЛЬНЫХ ПИТАТЕЛЕЙ

Объемную эффективность шнековых питателей оценивают коэффициентом η_V, численное значение которого определяют по следующей формуле:

$$\eta_V = V / \pi P \ (R_{out}^2 - R_{in}^2), \tag{1}$$

где V – реальный объем материала, высыпающийся из дозатора за один оборот шнека, R_{out}, R_{in} соответственно наружный и внутренний радиусы шнека, P – шаг витка.

На рис. 1 показана диаграмма перемещений элемента материала. Движение можно рассматривать как сложное, состоящее из переносного и относительного. Переносное движение совершается элементом совместно с точкой поверхности витка, в которой расположен рассматриваемый элемент материала. Относительное движение совершается в результате проскальзывания материала по поверхности витка. Это движение направлено под углом α к поперечному сечению шнека. На рис. 1 параметры относительного движения отмечены индексом r, а переносного – p.

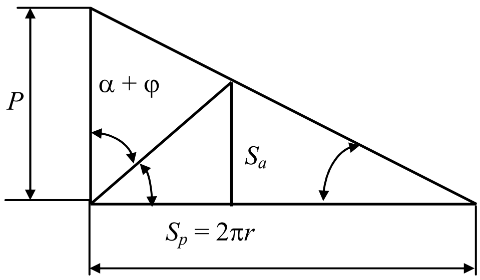

Рис. 1 Диаграмма перемещений элемента материала шнеком

Абсолютное движение элемента материала направлено под углом α + φ к оси шнека. Перемещение элемента в переносном движении S_p за один оборот шнека равно:

$$S_p = 2\pi r = P/\mathrm{tg}\alpha. \tag{2}$$

Тогда осевое перемещение S_a можно определить следующим образом:

$$S_a = S_p\, \mathrm{tg}\beta \,/\, (1 + \mathrm{tg}\beta\, \mathrm{ctg}\alpha) = P\mathrm{tg}\beta \,/\, (\mathrm{tg}\beta + \mathrm{tg}\alpha). \tag{3}$$

Коэффициент объемной эффективности можно выразить через осевое перемещение и шаг витка:

$$\eta_V = S_a / P. \tag{4}$$

Подставив (3) в (4) получим:

$$\eta_V = \mathrm{tg}\beta / (\mathrm{tg}\beta + \mathrm{tg}\alpha). \tag{5}$$

Учитывая, что

$$\mathrm{tg}\alpha = P/2\pi r,$$

а

$$\mathrm{tg}\beta = \mathrm{tg}(\pi/2 - (\alpha + \varphi)) = (2\pi r - \mu_f P) \,/\, (2\pi r \mu_f + P),$$

где μ_f – коэффициент трения материала по поверхности витка, получим:

$$\frac{\mathrm{tg}\beta}{\mathrm{tg}\beta + \mathrm{tg}\alpha} = 1 - \frac{1 + 2\pi\mu_f \dfrac{r}{P}}{1 + 4\pi^2\left(\dfrac{r}{P}\right)^2}. \tag{6}$$

С учетом полученной зависимости и изменений улов от радиуса, значение коэффициента объемной эффективности можно определить следующим образом:

[*] Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. В.Ф. Першина.

$$\eta_v = \frac{2}{R_{out}^2 - R_{in}^2} \int\limits_{Rin/P}^{R_{out}/P} \left[1 - \frac{1 + 2\pi\mu_f \dfrac{r}{P}}{1 + 4\pi^2 \left(\dfrac{r}{P}\right)^2} \right] r\,dr\,. \quad (7)$$

Введем следующие обозначения: $x = r/P$, тогда $dr = Pdx$.

В данных обозначениях зависимость (7) принимает вид:

$$\eta_v = \frac{2P^2}{R_{out}^2 - R_{in}^2} \int\limits_{Rin/P}^{Rout/P} \left[1 - \frac{1 + 2\pi\mu_f x}{1 + 4\pi^2 x^2} \right] x\,dx =$$

$$= \frac{2P^2}{R_{out}^2 - R_{in}^2} \left[\int\limits_{R_{in}/P}^{Rout/P} x\,dx - \int\limits_{R_{in}/P}^{R_{out}/P} \frac{x}{1 + 4\pi^2 x^2} dx - \int\limits_{Rin/P}^{R_{out}/P} \frac{1 + 2\pi\mu_f x^2}{1 + 4\pi^2 x^2} dx \right], \quad (8)$$

В результате интегрирования получена следующая зависимость:

$$\eta_v = 1 - \frac{P^2}{4\pi^2 \left(R_{out}^2 - R_{in}^2\right)} \ln \frac{4\pi^2 R_{out}^2 + P^2}{4\pi^2 R_{in}^2 + P^2} - \frac{\mu_f P}{\pi(R_{out} + R_{in})} +$$

$$+ \frac{\mu_f P^2}{2\pi^2 \left(R_{out}^2 - R_{in}^2\right)} \left[\mathrm{ctg}\left(\frac{2\pi R_{out}}{P}\right) - \mathrm{ctg}\left(\frac{2\pi R_{in}}{P}\right) \right]. \quad (9)$$

Для упрощения процедуры определения объемной эффективности, обычно, из рассмотрения силового равновесия элемента материала на поверхности витка, находят эквивалентное значение угла β_e. Эквивалентное значение угла α_e находят из условия: $\alpha_e + \beta_e + \varphi = \pi/2$ и затем, используя зависимость (5), определяют η_V. Следует отметить, что несмотря на хорошее соответствие полученных расчетов результатам, полученным по зависимости (9), при определении β_e делаются необоснованные допущения. Более того, угол β_e не является параметром шнекового питателя, это искусственно введенный вспомогательный угол.

Учитывая, что $\mathrm{tg}\alpha = P/2\pi r$, и принимая $dF = 2\pi r dr$, после интегрирования и преобразований мы получили зависимость для определения среднеинтегрального значения, зависящего от геометрических параметров шнека:

$$\mathrm{tg}\alpha_e = P/2\pi\,(R_{out} + R_{in}).$$

Углы α_e и α_β можно определить, используя следующие соотношения: $\alpha_e = \mathrm{arctg}\,(P/2\pi(R_{out} + R_{in}))$, $\beta_e = \pi/2 - \alpha_e - \varphi$.

При создании физической модели движения материала в спиральном питателе сделаны следующие допущения:

1 В периферийной зоне сыпучий материал движется так же, как в шнековом питателе с размерами шнека R_{in}, R_{out}, P.

2 В центральной зоне с наружным радиусом R_{in} эпюры осевых перемещений и скоростей ограничены параболой с вершиной на оси вращения спирали.

3 На границе зон скорости осевого движения равны.

4 Угол между касательной к параболе и образующей цилиндра с радиусом R_{in} на границе зон, равен углу трения движения дозируемого материала.

Исходя из сделанных допущений, коэффициент объемной эффективности спирального шнека будет складываться из двух составляющих. Для зоны I этот коэффициент можно рассчитать по зависимости (5) или (9). Для расчета коэффициента η_V зоны II определим эпюру осевых перемещений материала. На рис. 2 показана схема расчета этих перемещений в относительных значениях S_a / P. В зоне I данная эпюра построена следующим образом. Для ряда значений r в диапазоне от R_{in} до R_{out} рассчитывали коэффициент объемной эффективности по зависимости (5) и далее, учитывая, что $S_a / P = \eta_V$, стоили эпюру относительных осевых перемещений материала в зоне I. Уравнение параболы, которая ограничивает эпюру осевых перемещений материала в центральной зоне, запишем в следующем виде:

$$y = b + ax^2\,. \quad (10)$$

Как отмечалось выше, первая производная на границе зон, т.е. при $X = R_{in}$ пропорциональна коэффициенту трения движения сыпучего материала (тангенсу угла трения), т.е.:

$$y' = 2aR_{in} = \mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) = \frac{1}{\mathrm{tg}\varphi}\,, \quad (11)$$

тогда

$$a = \frac{1}{2R_{in}\mathrm{tg}\varphi}\,, \qquad b + \frac{R_{in}^2}{2R_{in}\mathrm{tg}\varphi} = \frac{R_{in}}{2\mathrm{tg}\varphi}$$

Подставив данные выражения в уравнение (10) получим:

$$y = \frac{R_{in}}{2\mathrm{tg}\varphi} + \frac{r^2}{2R_{in}\mathrm{tg}\varphi}\,. \quad (12)$$

Среднеинтегральное значение коэффициента объемной эффективности для центральной зоны будет равно:

$$\eta_v^I = \int_0^{R_{in}} \left[\eta_v(R_{in}) - \frac{R_{in}}{P\,\mathrm{tg}\varphi} + \frac{r^2}{2PR_{in}\mathrm{tg}\varphi} \right] \frac{2\pi r dr}{\int_0^{R_{in}} 2\pi r dr} = \eta_v(R_{in}) - \frac{7R_{in}}{8P\,\mathrm{tg}\varphi}. \quad (13)$$

Полученные зависимости позволяют рассчитать основные параметры шнековых и спиральных питателей, которые используются нами для реализации технологии двухстадийного весового дозирования сыпучих материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Барышникова С.В., Филимонов Д.В. Модернизация шнекового питателя для непрерывного дозирования сыпучих материалов // Труды ТГТУ. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. Вып. 13. С. 17 – 20.

Кафедра «Прикладная механика и сопротивление материалов»