# МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

**Семикопенко И.А., канд. техн. наук, проф.,**
**Воронов В.П., канд. физ.-мат. наук, проф.,**
**Фадин Ю.М., канд. техн. наук, проф.**
**Смирнов Д.В., аспирант**
**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова**

## РАСЧЕТ ОБЪЕМНОГО РАСХОДА МАТЕРИАЛА ЧЕРЕЗ ЗАГРУЗОЧНЫЙ БУНКЕР ДЕЗИНТЕГРАТОРА

**olimp69@narod.ru**

*Определение объемного расхода сырья в загрузочных узлах различных помольных установок является актуальной задачей. В данной статье представлен расчет объемного расхода материала через загрузочный бункер конической формы. Представлена схема выбора системы координат для расчета объемного расхода материала. Получено аналитическое выражение, определяющее объемный расход материала в зависимости от конструктивных параметров конического бункера.*

***Ключевые слова****: объемный расход, бункер, материал.*

Общеизвестно, что эффективность работы дезинтеграторов во многом зависит от равномерности подачи исходного материала в камеру помола [1].

Нами была разработана конструкция дезинтегратора с узлом высокоскоростного разгона и равномерного распределения исходного материала [2].

Для нахождения соотношения, позволяющего определить величину объемного расхода материала, проходящего через конический загрузочный бункер дезинтегратора, воспользуемся результатом работы [3, 4]:

$$\frac{dq(y)}{dt} - \frac{S'(y)}{S^2(y)} \cdot q^2 = g \cdot S(y), \quad (1)$$

где $g$ – ускорение свободного падения; $q(y)$ – объемный расход крупнозернистого сыпучего материала через сечение бункера на расстоянии «у» от начала координат (рис. 2); $s(y)$ – площадь горизонтального сечения бункера на расстоянии у от начала координат; $s`(y)$ - производная от площади горизонтального сечения бункера по переменной «у».

Согласно расчетной схемы, представленной на рисунке 1, можно получить следующие соотношения:

$$x = R_k - KB; \quad (2)$$

$$KB = y \cdot tg\alpha. \quad (3)$$

Подстановка (3) в (2) приводит к результату:

$$x = R_k - y \cdot \mathrm{tg}\alpha, \quad (4)$$

где $R_k$ - радиус верхнего основания конического бункера дезинтегратора.

Площадь горизонтального сечения бункера для материала, находящегося на расстоянии «у» от выбранного начала координат равна:

$$S = \pi x^2. \quad (5)$$

С учетом (4) находим:

$$S(y) = \pi (R_k - y \cdot \mathrm{tg}\alpha)^2, \quad (6)$$

тогда

$$S'(y) = -2\pi\, \mathrm{tg}\alpha\, (R_k - y\, \mathrm{tg}\, \alpha). \quad (7)$$

Подстановка (6) и (7) в (1) приводит к следующему дифференциальному уравнению:

$$\frac{dq(y)}{dt} + \frac{2tg\alpha}{\pi(R_k - y \cdot tg\alpha)^3} \cdot q^2 = \pi g (R_k - y \cdot tg\alpha)^2. \quad (8)$$

Если ввести следующие обозначения:

$$\gamma_1 = \frac{2 \cdot tg\alpha}{\pi(R_k - y \cdot tg\alpha)^3}, \quad (9)$$

$$\gamma_2 = \pi g (R_k - y \cdot tg\alpha)^2, \quad (10)$$

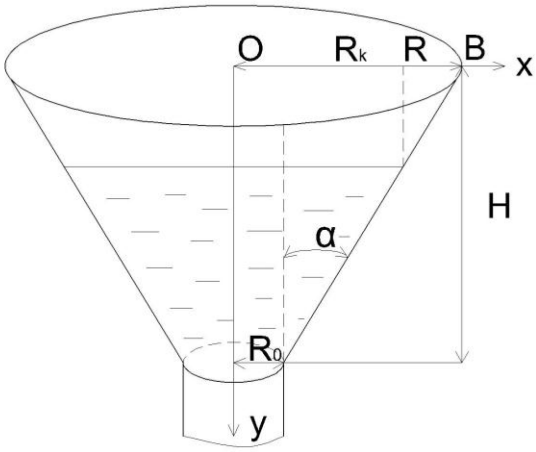


Рис. 1. Расчетная схема выбора системы координат для расчета объемного расхода материала, истекающего из загрузочного конического бункера дезинтегратора

С учетом введенных обозначений (9) и (10) уравнение (8) принимает вид:

$$\frac{dq(y)}{dt} + \gamma_1 \cdot q^2 = \gamma_2. \quad (11)$$

Разделение переменных интегрирования в (11) приводит к следующему выражению:

$$\frac{dq(y)}{\gamma_2-\gamma_1\cdot q^2}=dt. \quad (12)$$

Интегрирование (12) позволяет получить следующий результат:

$$t=\frac{1}{\gamma_1}\int\frac{dq(y)}{(\sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}})^2-q^2}. \quad (13)$$

Вычисление интеграла в правой части (13) приводит к следующему результату:

$$\int\frac{dq(y)}{(\sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}})^2-q^2}=\frac{1}{2\cdot\sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}}}\cdot ln\left|\frac{\sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}}+q}{\sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}}-q}\right|+const.(14)$$

Подстановка (14) в (13) приводит к следующему результату:

$$t=\frac{1}{2\sqrt{\gamma_1\cdot\gamma_2}}\cdot ln\left|\frac{\sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}}+q}{\sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}}-q}\right|+const. \quad (15)$$

Для определения постоянной интегрирования в (15) необходимо воспользоваться очевидным начальным условием:

$q = 0$ при $t = 0$.(16)

Применив (16) к (15) находим, что

*const* = 0.(17)

На основании (17) выражение (15) принимает вид:

$$t=\frac{1}{2\cdot\sqrt{\gamma_1\cdot\gamma_2}}\cdot ln\left|\frac{\sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}}+q}{\sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}}-q}\right|. \quad (18)$$

Используя определение логарифмической функции, получаем следующее соотношение:

$$e^{2\cdot\sqrt{\gamma_1\cdot\gamma_2}\cdot t}=\frac{\sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}}+q}{\sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}}-q}. \quad (19)$$

Разрешая уравнение (19) относительно величины «$q$» получаем:

$$q=\sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}}\cdot\frac{e^{2\cdot\sqrt{\gamma_1\cdot\gamma_2}\cdot t}-1}{1+e^{2\cdot\sqrt{\gamma_1\cdot\gamma_2}\cdot t}}=\sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}}\cdot\frac{e^{\sqrt{\gamma_1\cdot\gamma_2}\cdot t}-e^{-\sqrt{\gamma_1\cdot\gamma_2}\cdot t}}{e^{\sqrt{\gamma_1\cdot\gamma_2}\cdot t}+e^{-\sqrt{\gamma_1\cdot\gamma_2}\cdot t}}.(20)$$

Используя определение гиперболических функций (20) можно придать вид:

$$q=\sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}}\cdot th(\sqrt{\gamma_1\cdot\gamma_2}\cdot t). \quad (21)$$

Согласно расчетной схемы, представленной на рисунке 1, находим:

$$tg\alpha=\frac{R_k-R_0}{H}. \quad (22)$$

С учетом (22) (9) и (10) соответственно принимают вид:

$$\gamma_1=\frac{2(R_k-R_0)}{\pi H(R_k-y\cdot\frac{R_k-R_0}{H})^3}, \quad (23)$$

$$\gamma_2=\pi g(R_k-y\cdot\frac{R_k-R_0}{H})^2. \quad (24)$$

Для определения объемного расхода материала, проходящего через выходное отверстие конического бункера дезинтегратора, необходимо в соотношения (23), (24) и (21) подставить значение переменной $y = H$:

$$\gamma_1=\frac{2(R_k-R_0)}{\pi HR_0^3}, \quad (25)$$

$$\gamma_2=\pi g\cdot R_0^2, \quad (26)$$

$$q_0=q(y=H)=$$
$$\pi R_0^2\cdot\sqrt{\frac{gHR_0}{2(R_k-R_0)}}\cdot th\left(\sqrt{\frac{2(R_k-R_0)g}{HR_0}}\cdot t\right). \quad (27)$$

Изменение функциональной зависимости гиперболического тангенса в формуле (27) представлено на рисунке 2. Анализ приведенной зависимости позволяет сделать вывод о том, что для заданных конструктивных параметров, приведенных на рисунке 1, функциональная зависимость в течении малого времени (порядка 0,2 с) выходит на свое предельное значение, равное единице.

Поэтому без ограничения общности можно положить, что

$$th\left(\sqrt{\frac{2(R_k-R_0)g}{HR_0}}\cdot t\right)\simeq 1. \quad (28)$$

С учетом (28) выражение (27) окончательно принимает следующий вид:

$$q_0\simeq\pi R_0^2\sqrt{\frac{gHR_0}{2(R_k-R_0)}} \quad (29)$$

Представление о количественном изменении объемного расхода материала, поступающего в дезинтегратор через выходное отверстие конического бункера с течением времени при изменении конструктивного параметра $R_k$ дает график, представленный на рисунке 3. На основании полученной графической зависимости можно сделать вывод, что с увеличением большего радиуса конического бункера при неизменной его высоте и радиусе выпускного отверстия объем материала, проходящий через выходное отверстие, уменьшается по закону, который характеризуется функциональной зависимостью на рисунке 3.

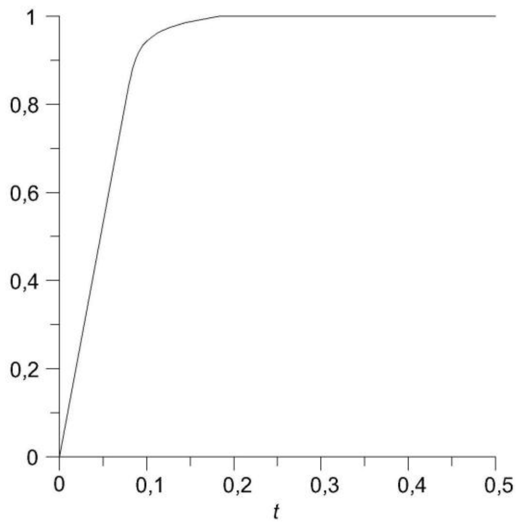


Рис. 2. График поведения функциональной зависимости гиперболического тангенса от времени. Приведенная зависимость отвечает следующим параметрам: $R_0$ = 0,06 м; $H$ = 0,4 м; $R_k$ = 0,4 м

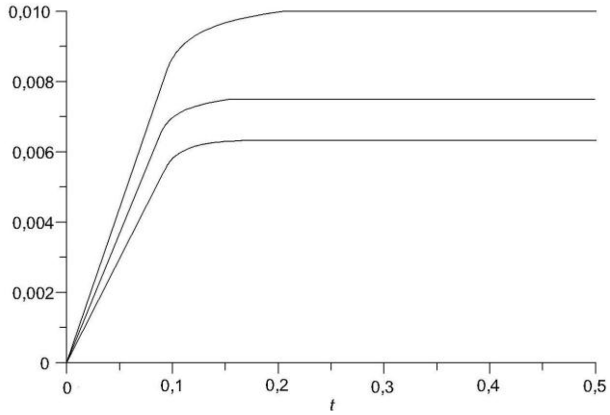


Рис. 3. График поведения функциональной зависимости (27) от времени для значений $R_0$ = 0,06 м; $H$ = 0,4 м. Верхняя кривая отвечает значению параметра $R_k$ = 0,2 м; средняя - $R_k$ = 0,3 м; нижняя - $R_k$ = 0,4 м.

Таким образом, полученная аналитическая зависимость (29) определяет объемное количество материала, которое поступает на измельчение в дезинтегратор в единицу времени в зависимости от конструктивных параметров конического загрузочного бункера.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хинт И.А. Основы производства силикальцитных изделий. М.Л. Стройиздат, 1962. 636 с.

2. Пат. 2291745 Российская Федерация, МПК[7] В 02 С 13/22, Дезинтегратор / Богданов В.С., Семикопенко И.А. и др.; заявитель и патентообладатель Белгород, науч.-исслед. ин-т связи. № 2006107482/03; Опубликован 20.01.2007, заявл. 10.03. 06 ; опубл. 20. 01. 07, Бюл. № 2 (II ч.). 7 с.

3. Гячев Л.В. Основы теории бункеров. Новосибирск, изд-во Новосибирского университета, 1992, 310 с.

4. Ильинский В.М. Измерение массовых расходов. М.: Энергия. 1973. 142 с.