

- Величина гальмівного моменту колодкових гальм, яка надається в довідковій літературі завищена і величина завищення при куті охоплення колодкою шківів рівному  $\beta=70^\circ$  складає приблизно 6%;

- Для компенсації неточності у величині гальмівного моменту, яка наводиться в характеристиці гальма необхідно збільшувати зусилля стиснення пружини і при  $\beta=70^\circ$  довжину пружини необхідно збільшити на 6%.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Вайнсон А.А. Подъемно-транспортные машины. – М.: Машиностроение, 1989. -536 с.
2. Грузоподъемные машины/Александров М.П., Колобов Л.Н., Лобов Н.А. и др.. – М.:Машиностроение, 1986. - 400 с.
3. Тормозные устройства : Справочник / Александров М.П., Лысяков а.Т., Федосеев В.Н. и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 312 с.

УДК 621.878.25

**Т.М. КАДИЛЬНИКОВА, докт.техн. наук, В.А. КРИВОРУЧКО, инж.**

*Національна металургічна академія України*

### **ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПОТОКОВ МЕЛКОФРАКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Возросшие требования к интенсификации производства и повышению качества продуктов переработки строительного, металлургического и химического сырья требуют глубоких исследований и разработок радикальных рекомендаций по грохочению материалов различной крупности и влажности. Применяемые на многих предприятиях дезинтеграция твердых материалов и сушка сыпучих материалов являются очень дорогостоящими операциями, которые существенно сказываются на конечной стоимости продукции и на снижении ее конкурентоспособности. Грохочение является одной из основных операций в металлургической, химической, строительной промышленности. Несмотря на многолет-

ний опыт использования и широкую область применения грохочения, имеется целый ряд проблем в теоретическом понимании и совершенствовании этого процесса.

Основные тенденции совершенствования грохотов направлены на достижение следующих целей:

- повышение эффективности грохочения;
- повышение надежности и долговечности эксплуатации;
- расширение области применения и технологических возможностей.

Проводимые исследования ведутся, в основном, в двух направлениях: поиск новых технических решений в виде специальных конструкций грохотов; изучение закономерностей, их аналитической идентификации, взаимосвязи крупности и влажности и требуемых

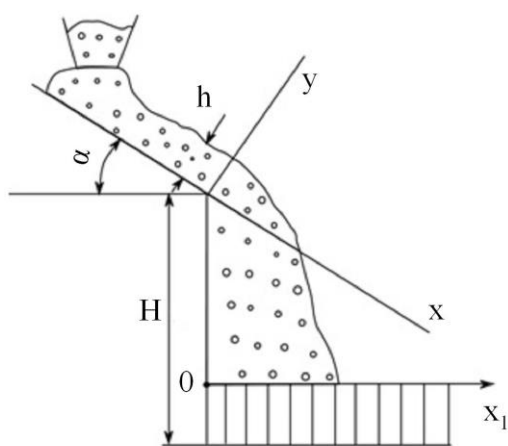


Рис.1. Схема установки для измерения профилей скорости и порозности насыпного материала в гравитационном потоке.

технологических и конструктивных параметров грохота. На основании идентифицированных моделей машин и процессов проводятся компьютерные эксперименты для различных вариаций параметров в системе с целью поиска рациональных или оптимальных режимов работы при требуемых технологических показателях в пределах исследуемой крупности и влажности материала.

Целью исследований является проверка на адекватность математических моделей движения насыпных грузов под действием сил гравитации и оптимальных, с точки зрения конструктивности, размеров просеивающих узлов грохотов.

Исследования экспериментальной установки [1] проводились с помощью экспериментально-аналитического метода [2], позволяющего получить комплексную информацию о закономерностях гравитационного течения насыпного груза. Исследования базируются на анализе фазы свободного падения частиц, покидающих порог ссыпания гравитационного ската, и проводятся в режимах, близких установившемуся гравитационному течению, при функционировании только первого просеивающего узла, когда остальные узлы закрыты непроницаемой перегородкой. Эксперимент заключается в следующем. Первоначально скатывающийся материал принимается в буферную область 10 (рис.1), представляющую собой кювету, разделенную перегородками на ячейки. Кювета предназначена для сбора вылетающих частиц и устанавливается по отвесу на некотором расстоянии от порога ссы-

пания. Частицы, движущиеся в нижней части слоя и имеющие на пороге ссыпания наименьшую скорость, попадают в ближайшие ячейки, а частицы верхней части слоя, имеющие большую скорость – в дальние. После заполнения ячеек кюветы в течение определенного времени падающими частицами их содержимое взвешивают и определяют функцию распределения материала  $G(x_1)$  в горизонтальном направлении. Кроме того, в соответствии с экспериментально-аналитическим методом, определяются следующие данные: высота слоя  $h$  на пороге ссыпания, время заполнения кюветы  $t$ , расстояние  $H$  между порогом ссыпания и кюветой, и угол наклона решетки к горизонтальной оси  $\alpha$  (рис.1). Аналитическая часть метода заключается в определении профилей скоростей  $u(y)$  и порозности  $\varepsilon(y)$  в слое частиц с учетом взаимосвязи между локальными значениями порозности слоя  $\varepsilon(y)$ , скоростью сдвига  $\frac{du}{dy}$ , модулем скорости  $u(y)$  и распределением частиц по горизонтальной координате  $G(x_1)$ .

При пренебрежительно малом сопротивлении воздуха, согласно [2], получаем соотношение для определения модуля скорости движения  $u(y)$ :

$$|\bar{u}| = \frac{x_1 - y \sin \alpha}{\cos \alpha \cdot \sqrt{(H + y \cos \alpha - (x_1 y \sin \alpha) \cdot \operatorname{tg} \alpha) \cdot 2 / g}}. \quad (1)$$

Введем обозначение:

$$b(x_1) = 2x_1 \sin \alpha + (\cos \alpha + \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha) \cdot \frac{2}{g} \left( \frac{G(x_1)}{\rho^*} \right)^2 \cos^2 \alpha,$$

где  $\rho^* = \rho^*(y)$ -функция, определяемая толщиной слоя насыпного материала, которая, согласно [3], имеет следующий вид:

$$\rho^*(y) = \frac{G(x_1)}{u(y, x_1)}.$$

Тогда из (1) получаем выражение для функциональной зависимости  $y$  от  $x_1$  в виде:

$$y(x_1) = \frac{b(x_1) + \sqrt{b^2(x_1) - 4 \sin^2 \alpha (x_1^2 + (x_1 \operatorname{tg} \alpha - H) \frac{2}{g} \left( \frac{G(x_1)}{\rho^*} \right)^2 \cos^2 \alpha}}{2 \sin^2 \alpha}. \quad (2)$$

Для определения функции распределения плотности сдвигового потока по толщине скатывающегося потока, согласно [4], используется гипотеза об аналогии между дилатансией потока  $\bar{\varepsilon}$ , гидростатическим давлением  $P$ , температурой гранулированной среды  $t_2$  и соответствующими параметрами состояния плотного газа в форме закона состояния идеального газа Клайперона-Менделеева:

$$P_{\bar{\varepsilon}} = \psi \cdot t_2, \quad (3)$$

где  $\psi$  - коэффициент, зависящий от физико-механических свойств частиц.

Температура гранулированной среды определяется по формуле [4]:

$$t_2 = \frac{\pi}{12} d^3 \rho \cdot (V')^2, \quad (4)$$

где  $V'$  - флуктуирующая составляющая скорости частицы потока, которая, согласно [5], вычисляется по формуле:

$$V' = \lambda \left( \frac{du}{dy} \right)^2, \quad (5)$$

где  $\lambda$  - коэффициент, определяемый физико-механическими свойствами частиц и межчастичной среды.

Аналог гидростатического давления, согласно [5], выражается в следующей интегральной формуле:

$$P(y) = \int_{h-y}^h \rho \cdot g(1 - \varepsilon(y)) \cos \alpha \cdot dy. \quad (6)$$

В качестве аналога удельного объема плотного газа принимается удельное приращение свободного объема движущегося слоя, происходящее вследствие его дилатансии:

$$\bar{\varepsilon}(y) = \frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{1 - \varepsilon} a, \quad (7)$$

где  $\varepsilon_0$  - порозность неподвижного слоя частиц.

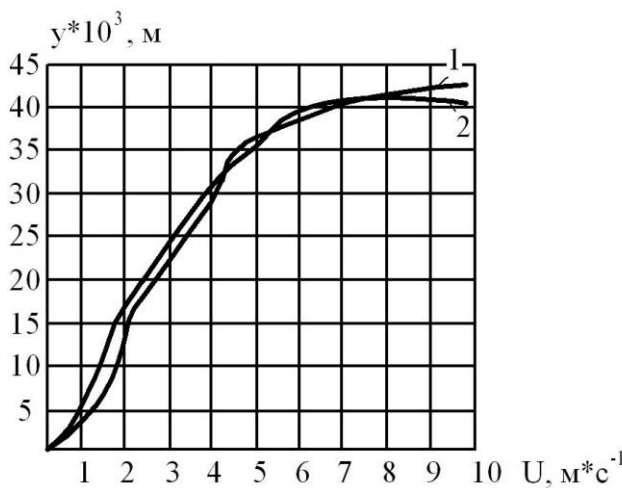


Рис. 2. Профили скорости  $u(y)$  гравитационного потока стеклянных бусинок (1- экспериментально-аналитический метод, 2- рентгеноскопия).

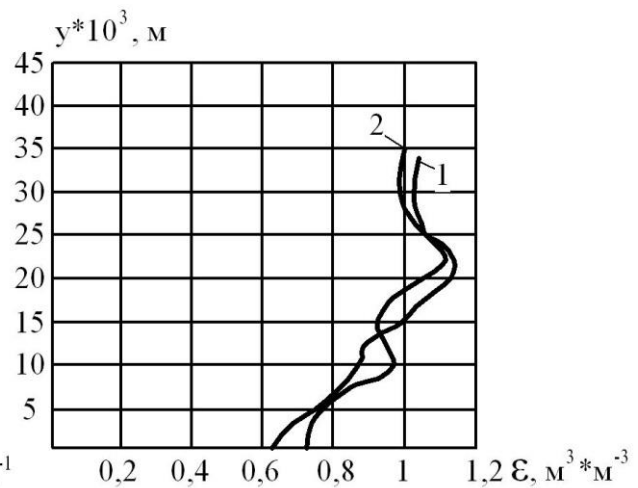


Рис. 3. Профили порозности  $\varepsilon(y)$  гравитационного потока стеклянных бусинок (1- экспериментально-аналитический метод, 2- рентгеноскопия).

Уравнения (1)-(7) образуют замкнутую систему уравнений относительно функций  $u(y)$ ,  $y(x_1)$ ,  $\varepsilon(y)$ ,  $P(y)$ . Используя граничные условия (прилипание на нижней границе

потока), т.е.  $u(0) = 0$ ;  $y(0) = 0$ , решение системы (1)-(7) можно получить методом последовательных приближений. Для этого на первом шаге принимаем  $\rho^*(y) = const$  и находим по формулам (1), (2) функцию  $u_1(x_1)$ , а по уравнению (6) -  $P_1(y)$ . Затем с помощью полученных приближений находим первые приближения функций  $y_1(x_1)$  и  $\varepsilon_1(y)$  и из уравнения (3) находим коэффициент  $\psi$ . На основе полученных функций  $y_1(x_1)$  и  $\varepsilon_1(y)$  находим вторые приближения и т.д. до тех пор, пока максимальное отклонение двух последовательных приближений не станет меньше данной величины. Таким образом, в результате решения системы (1)-(7) методом последовательных приближений находятся профили скорости  $u(y)$  и порозности  $\varepsilon(y)$ . На рис.2 и 3 приведены результаты экспериментально-аналитического исследования в виде профилей скорости и порозности гравитационного течения стеклянных шариков диаметром  $6,6 \cdot 10^{-3}$  м по шероховатой поверхности с углом наклона к горизонтальной оси  $\alpha = 45^\circ$ .

Аналогичные исследования проводились в [4] рентгенографическим методом с помощью компьютерной обработки рентгенограмм [6]. На рисунках 2 и 3 приведены соответствующие профили скорости  $u(y)$  и порозности, полученные с помощью двух различных методов экспериментально-аналитическим методом (кривые 1) и рентгеноскопией (кривые 2). Совместный анализ кривых 1 и 2 (рис. 2, 3) позволяет сделать вывод об их удовлетворительной адекватности, а также результаты, полученные, методом рентгеноскопии могут расцениваться как прямое подтверждение возможности дальнейших исследований экспериментально-аналитическим методом характеристик насыпного груза на синтезированной в [4] установке.

Анализ профилей порозности (рис.3) позволяет выделить одну из основных особенностей гравитационного течения зернистых материалов, ранее обнаруженную в [7] визуальным путем: наличие зоны с наиболее высокой концентрацией частиц в центральной части слоя, а также на стадии их свободного падения на пороге ссыпания. Все это может расцениваться как прямое подтверждение постулированной ранее взаимосвязи структурных и кинематических характеристик зернистой среды при быстром гравитационном течении.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Криворучко О.М., Криворучко В.О. Патент України: UA 57400 “Пристрій для грохочення матеріалів”.-Опубл.16.06.2003.- Бюл.№6, 2003.- 3 с.

2. Уколов А.А. Моделирование сегрегации при сдвиговом течении гранул и разработка конструкции сепаратора минеральных удобрений. Дис. канд. техн. наук. Тамбов, 1989.- 170с.

3. Долгунин В.Н., Борщев В.Я. Быстрые гравитационные течения зернистых материалов: техника измерения закономерности, технологическое применение. М.: «Издательство Машиностроение-1», 2005.- 112с.

4. Чемпен С., Каулинг Т. Математическая теория неоднородности газов. М.: Мир, 1980.- 415с.

5. Dolgunin V.N., Ukolov A.A., Segregation Modeling of particle rapid gravity flow// Powder Technology. 1995. Vol. 83. p.95.

6. Борщев В.Я., Долгунин В.Н., Иванов О.О. Компьютерная обработка рентгенограмм при исследовании динамики быстрых гравитационных течений зернистых сред. Математические методы в технике и технологиях. Сб. тр. XV. Международ. Научн. конф., Тамбов, 2002.- Т.7.-С.34-37.

7. Долгунин В.Н., Уколов А.А., Классен П.В. Модель механизма сегрегации при быстром гравитационном течении частиц// Теор. основы хим. технологии, 1992. Т.26, №5.- С.100-109.

**УДК 621.867**

**А.В. ГАВРЮКОВ канд. техн. наук, А.В. ТРЕТЬЯК инж.**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры*

## **РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ, РАБОТАЮЩИХ ПРИ ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ДЛИНЕ**

**Постановка проблемы.** В существующих конструкциях и технологических схемах (многоковшовые экскаваторы, грейдер-элеваторы, передвижные дробильные установки и т. д.) ленточный конвейер рассматривается как установка с неизменяемой длиной во время транспортирования. Разработка новых технологических схем на основе рабочих процессов учитывающих использование ленточных конвейеров способных изменять длину транспортирования во время работы, в том числе и трубчатых, позволит повысить производительность, снизить энергоемкость производства.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Разработкам новых технологиче-