

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТЕЧЕНИЯ ЗЕРНИСТОЙ СРЕДЫ ПРИ БЫСТРОМ СДВИГЕ

Быстрые гравитационные потоки зернистых материалов являются широко распространенным типом быстрых сдвиговых потоков, имеющих место во множестве природных явлений и технологических процессах. Однако до настоящего времени адекватное описание параметров быстрых гравитационных потоков затруднено по причине множества экспериментальных и аналитических проблем.

Исследование быстрых сдвиговых потоков относится к области механики сыпучих сред. Быстрые сдвиговые течения часто называют инерционными течениями, поскольку их закономерности определяются, в основном, инерцией и взаимными соударениями частиц.

Комплексную информацию о динамике течения зернистых сред позволяет получить экспериментально-аналитический метод.

Данный метод основывается на анализе фазы свободного падения частиц, покидающих порог ссыпания шероховатого ската, и характеризуется простотой эксперимента и достаточно высокой точностью определения исходных данных для аналитического расчета параметров структуры гравитационного потока зернистого материала.

Экспериментальная часть метода (рис. 1) заключается в ссыпании зернистого материала в режиме установившегося гравитационного течения по наклонному каналу и сборе материала в кювете с ячейками.

Содержимое ячеек взвешивается и по результатам взвешивания определяется функция распределения массы материала $G(x_1)$ в направлении оси ox_1 (рис. 1). Кроме того, в соответствии с этим методом определяются следующие экспериментальные данные: высота слоя h на пороге ссыпания, время ссыпания t , расстояние H между порогом ссыпания и кюветой и угол наклона канала α (рис. 1).

Аналитическая часть метода заключается в определении профилей скорости $u(y)$ и порозности $\varepsilon(y)$ в слое частиц с учетом взаимосвязи между локальными значениями порозности слоя $\varepsilon(y)$, скорости сдвига du/dy , модуля скорости $u(y)$ и распределения частиц по горизонтальной координате $G(x_1)$. Уравнения, связывающие модуль скорости $u(y)$ и

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ТГТУ П.А. Иванова.

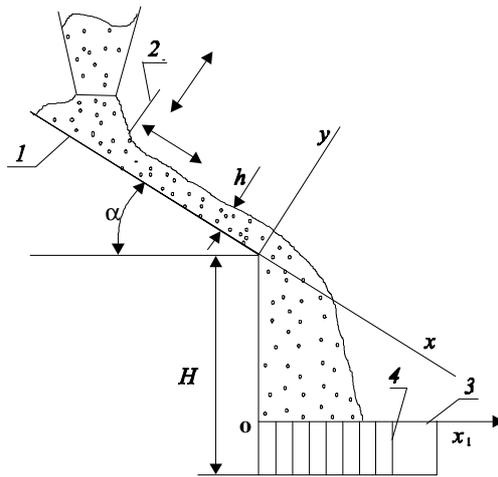


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

порозность слоя $\varepsilon(y)$ в быстром гравитационном потоке зернистого материала на шероховатом скате, формулируются следующим образом:

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

$$u(y, x_1) \rho (1 - \varepsilon(y)) = G(x_1). \quad (2)$$

Используя гипотезу об аналогии между параметрами зернистого материала при быстром сдвиге и соответствующими параметрами плотного газа, получено следующее уравнение состояния зернистой среды:

$$p(y) \bar{\varepsilon}(y) = \chi \left(\frac{du}{dy} \right)^2. \quad (3)$$

Для оценки адекватности уравнения состояния зернистой среды (3) проведем сравнение профилей скорости и порозности, полученных экспериментально-аналитическим методом, для потока керамических шаров ($d = 6,6 \cdot 10^{-3}$ м).

Результаты экспериментально-аналитического исследования приведены на рис. 2.

Из рисунка следует, что реализация изложенного метода исследования позволяет прогнозировать достаточно сложные неординарные профили концентрации твердой фазы в быстрых гравитационных потоках, имеющие малые толщины слоя (5 – 10 диаметров частиц).

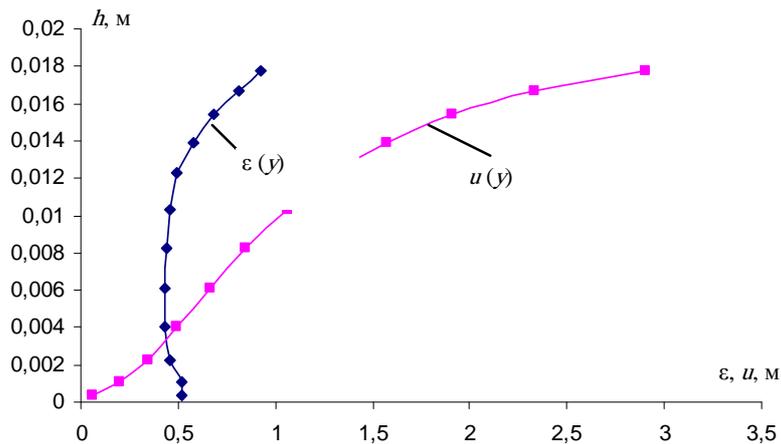


Рис. 2. Профили скорости $u(y)$ и порозности $\varepsilon(y)$ в гравитационном потоке керамических шаров

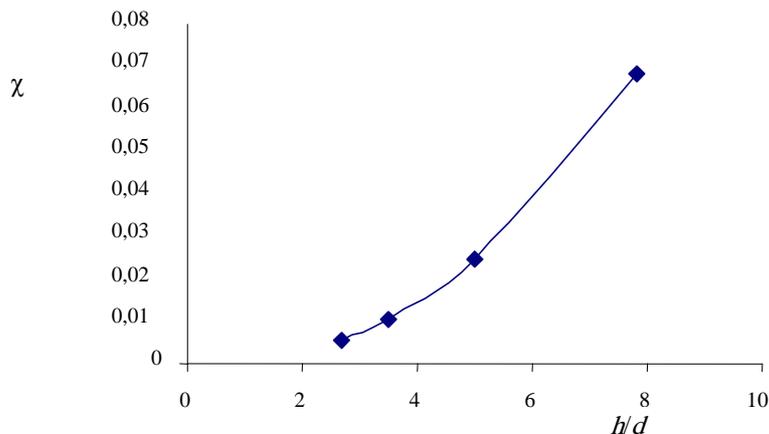


Рис. 3. График зависимости коэффициента χ от высоты слоя h/d

В работе также проведено исследование уравнения состояния зернистой среды путем анализа зависимости коэффициента χ от технологических характеристик гравитационного потока (угол наклона α , высота слоя h) и физико-механических свойств дисперсных материалов (плотность, размер частиц d , их шероховатость и упругость).

Экспериментальные исследования проведены на установке, изображенной на рис. 1, с использованием керамических шаров ($d = 6,6 \cdot 10^{-3}$ м).

Исследование заключалось в определении величины коэффициента χ уравнения (3) при использовании его для описания динамики течения зернистых материалов по шероховатому скату.

Результаты исследования коэффициента χ как функции относительной высоты слоя h/d на шероховатом скате в режиме установившегося развитого гравитационного течения приведены на рис. 3.

Приведенные результаты свидетельствуют, что наблюдается существенная зависимость коэффициента χ от высоты слоя материала на шероховатом скате. Очевидно, что для объяснения полученных зависимостей необходима дополнительная информация.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hutter, K. Rapid Plane Flow of Granular Materials down a Chute, in J.T. Jenkins and M. Satake (eds.) / K. Hutter, T. Sheiwiller // *Mechanics of granular Materials.*, Elsevier Science Publishers. – Amsterdam, 1983. – P. 283.
2. Долгунин, В.Н. Модель механизма сегрегации при быстром гравитационном течении частиц / В.Н. Долгунин, А.А. Уколов, П.В. Классен // *Теоретические основы химической технологии.* – 1992. – Т. 26, № 5. – С. 707.
3. Dolgunin, V.N. Development of a simulation model of rapid gravity flows of particulate solids on a rough chute, in H. Kalman, A. Levy and M. Hubert (eds.) / V.N. Dolgunin, V.J. Borschov, P.A. Ivanov // *The 3rd Israel Conference for conveying and handling of particulate solids.* – The Dead Sea, Israel. – 2000. – V. 2. – P. 11.33.