

Машины и аппараты химических производств

Авсеев А. С., Глебов Г. Г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БЫСТРЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ТЕЧЕНИЙ ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Гравитационные течения широко распространены как в природных явлениях, так и в многочисленных технологических процессах. Многие гидромеханические и тепломассообменные процессы переработки зернистых материалов протекают в режиме быстрых сдвиговых гравитационных течений. Подобные течения характеризуются активным взаимодействием частиц, вследствие которого проявляются эффекты их перемешивания и разделения. Для прогнозирования этих эффектов - квазидиффузии, миграции, сегрегации [1] – необходимо располагать труднодоступной информацией о структурных и кинематических характеристиках гравитационных потоков в виде профилей скорости и порозности.

Настоящая работа посвящена исследованию структурно-кинематических характеристик быстрых гравитационных течений зернистых сред на шероховатом скате.

Исследование проведено с использованием экспериментально-аналитического метода [2], основывающегося на анализе фазы свободного падения частиц, покидающих порог ссыпания шероховатого ската.

Метод реализуется с использованием экспериментальной установки (рис.1), состоящей из наклонного канала прямоугольного сечения 1 и кювета 3, разделенной перегородками 4 на ячейки. Кювета, предназначенная

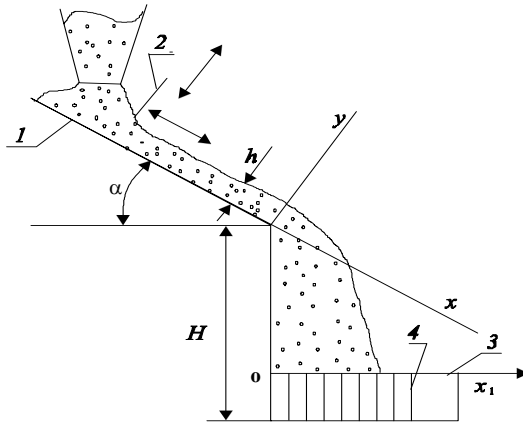


Рис. 1. Схема установки для реализации экспериментально-аналитического метода измерения профилей скорости и порозности в гравитационном потоке зернистого материала

для сбора вылетающих из канала частиц, устанавливается по отвесу на некотором расстоянии от порога ссыпания. Для регулирования толщины и длины скатывающегося слоя зернистого материала в канале закреплена с возможностью смещения ограничительная планка 2. На дне канала расположена шероховатая пластина, имеющая шероховатость, равную половине диаметра исследуемого материала, для обеспечения условия прилипания частиц.

Экспериментальная часть метода [2] заключается в дозировании зернистого материала в режиме установившегося течения по наклонному каналу и сборе материала в кювету с ячейками. После заполнения ячеек кюветы в течение определенного времени их содержимое взвешивают и по результатам взвешивания определяется функция распределения массы материала $G(x_1)$ в направлении оси Ox_1 (рис.2). При этом также определяются высота слоя h на пороге ссыпания, время ссыпания t , расстояние H между порогом ссыпания и кюветой и угол наклона канала α .

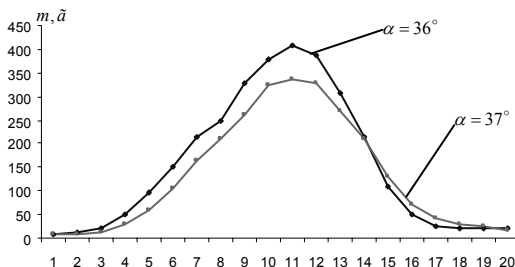


Рис. 2. Кривые распределения массы материала по ячейкам кюветы при различных углах наклона ската

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 распределением частиц по горизонтальной координате $G(x_1)$. Уравнения, связывающие модуль скорости $u(y)$ и порозность слоя $\varepsilon(y)$ в быстром гравитационном потоке зернистого материала на шероховатом скате, формулируются [2] следующим образом:

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

$$u(y, x_1) \rho^*(y) = G(x_1) \quad (2)$$

Используя гипотезу [2] об аналогии между параметрами зернистого материала при быстром сдвиге и соответствующими параметрами плотного газа, получено следующее уравнение состояния зернистой среды:

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

где $p(y) = \int_{h-y}^h \rho^*(y) \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot dy$ - аналог гидростатического давления;

$\bar{\varepsilon} = (\varepsilon - \varepsilon_0) / (1 - \varepsilon(y))$ - дилатансия слоя.

Уравнения (1)-(3) образуют замкнутую систему относительно функций $u(y)$, $\varepsilon(y)$, $y(x_i)$ и $p(y)$. В результате решения этой системы уравнений методом последовательных приближений получают профили скорости $u(y)$ и порозности $\varepsilon(y)$.

Исследование проведено в диапазоне углов ската, при которых имеет место быстрое установившееся гравитационное течение материала, и толщине слоя, равной 5-7 диаметрам частиц.

На рис.3 и 4 представлены результаты исследований структурно-кинематических характеристик быстрого сдвигового течения керамических шариков диаметром $6,6 \cdot 10^{-3}$ м в виде профилей порозности и скорости.

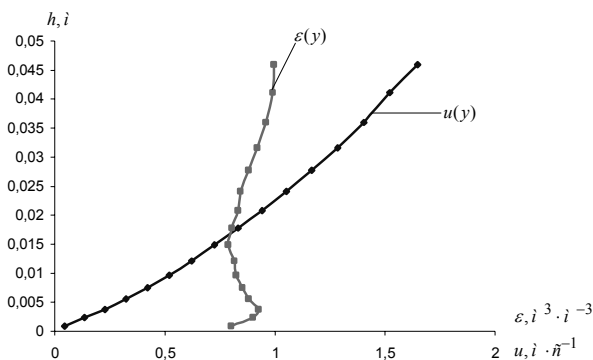


Рис. 3. Профили порозности и скорости для керамических шаров при угле наклона ската $\alpha=36^\circ$ и толщине слоя $h=46$ мм

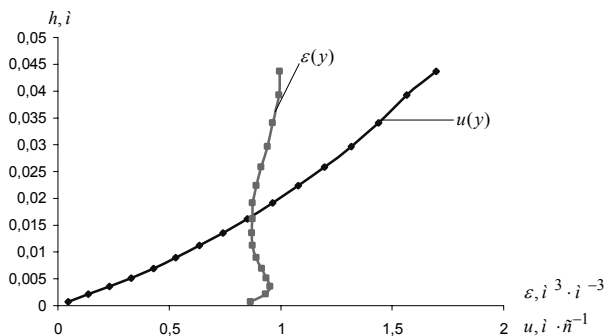


Рис. 4. Профили порозности и скорости для керамических шаров при угле наклона ската $\alpha=37^\circ$ и толщине слоя $h=46$ мм

Анализ приведенных на рис.3 и 4 результатов показывает, что при всех углах наклона шероховатого ската профили порозности имеют S-образную форму с максимальной концентрацией твердой фазы в центральной части слоя. Кроме того, приведенные результаты позволяют сделать предположение о том, что с увеличением угла ската регулярная структура расположения частиц в гравитационном потоке сменяется хаотической, что должно сопровождаться усилением эффектов перемешивания.

1.Dolgunin V.N., Kudy A.N., Ukolov A.A., Powder Technology, 1998, P. 211.

2.Dolgunin V.N., Ukolov A.A., Powder Technology. 83. 1995, P. 95.

*Работа выполнена под руководством
к.т.н., доц. кафедры МАХП
Борщева В. Я.*