

Шершукова А. И.

**АНАЛИЗ СПОСОБОВ И УСТРОЙСТВ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. Першина В. Ф.

*ТГТУ, Кафедра «Прикладная механика
и сопротивление материалов»*

Зернистые (сыпучие, гранулированные, порошкообразные) материалы, вроде песка или сахара, окружают человека и в повседневной жизни, и в природе (геологические и тектонические процессы). Они широко применяются в различных технологических процессах. Относительно недавно появился новый термин – порошковые технологии. Зернистые материалы имеют некоторые свойства как твердых тел, так и жидкостей и газов, а в некоторых условиях ведут себя совершенно особым образом.

Физико-механические свойства или характеристики зернистых материалов обычно разделяют на первичные и вторичные. К первичным относятся свойства, присущие отдельной частице (размер, форма и т.д.) и материалу, из которого она состоит (твердость, упругость, влажность, гигроскопичность, плотность, насыпная плотность, температуры плавления и воспламенения и т.д.). Вторичные характеристики присущи совокупности большого числа частиц, контактирующих друг с другом, т.е. они характеризуют зернистый материал в целом: гранулометрический состав, углы естественного откоса, обрушения, трения, шпателя, скольжения, трения о поверхность, предел текучести, начальное сопротивление сдвигу и т.д.

Несмотря на то, что и размеры, и форма частиц, и насыпная плотность зернистого материала влияют на точность дозирования, перемещение в транспортирующих машинах, смешивание и хранение, наиболее существенное влияние оказывают такие характеристики, как коэффициенты трения. Это можно объяснить тем, что именно от коэффициентов трения наиболее существенно зависит характер движения отдельных частиц и всего материала в целом.

Между частицами зернистого материала существуют различной природы силы взаимодействия [1], объединяемые одним термином – аутогезия. Аутогезионные силы придают зернистому материалу способность оказывать сопротивление сдвигающим, сжимающим и разрывным усилиям. Любая деформация сыпучего материала сопровождается сдвигом, т.е. проскальзыванием частиц одного слоя относительно частиц другого слоя. В отличие от жидкостей зернистые материалы способны выдерживать

определенные усилия сдвига. Другими словами, деформация в зернистых материалах не наступает до тех пор, пока не преодолено некоторое напряжение сдвига τ_α , которое называют предельным сопротивлением сдвигу. Связь между τ_α и нормальным давлением на плоскость скольжения слоев σ_α выражается обобщенным законом Кулона:

$$\tau_\alpha = \tau_0 + f\sigma_\alpha,$$

где f – коэффициент внутреннего трения; τ_0 – начальное сопротивление сдвигу (удельное значение сил аутогезии между частицами зернистого материала).

Для идеально сыпучих зернистых материалов $\tau_0 = 0$, а для связных зернистых материалов, которых большинство, $\tau_0 \neq 0$.

Значения τ_0 определяют путем зависимостей $\tau_\alpha = f(\sigma_\alpha)$, построенных по результатам испытаний порций зернистого материала на специальных сдвиговых приборах.

Существуют различные подходы к экспериментальному определению коэффициентов трения.

Одним из наиболее простых является способ определения коэффициента внутреннего трения с использованием угла естественного откоса и обрушения. На рис.1 показана схема устройства, на котором можно одновременно определять эти углы. Устройство состоит из прозрачного короба 1, установленного с помощью стоек 2 на основании 3. В дне короба имеется прямоугольное отверстие с задвижкой 4. Под отверстием установлен усеченный конус 5. Под конусом, на основании 3, расположена приемная емкость 6. На стенке короба имеется угловая шкала 7, а на одной из стоек – линейная шкала 8.

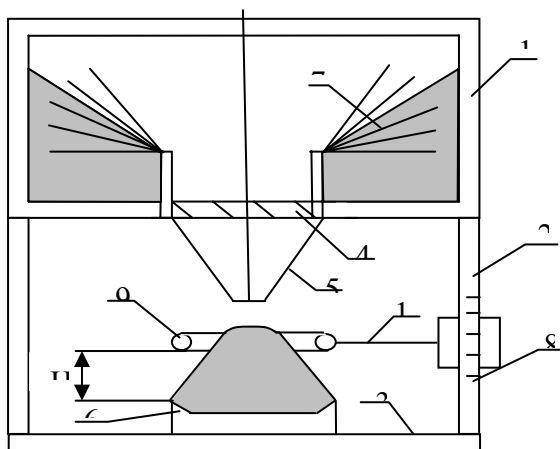


Рис. 1. Схема устройства для определения углов естественного откоса и обрушения

Последовательность определения углов естественного откоса и обрушения следующая. В короб 1 засыпается исследуемый материал. Задвижка 4 убирается и часть материала высыпается из короба в приемную емкость 6, а излишки на основание 3. Открытая поверхность материала, оставшегося в коробе, образует с горизонтальной плоскостью угол обрушения, численное значение которого определяется по шкале 7. Материал, высыпавшийся из короба, образует на приемной емкости конус. Угол между образующей конуса и горизонтальной плоскостью численно равен углу естественного откоса. С помощью кольца 9, жестко закрепленного на подвижной штанге 10, по шкале 8 определяют высоту усеченного конуса H . Угол естественного откоса рассчитывают по формуле:

$$f_{ecm} = \operatorname{tg} \varphi = 2H / (D-d).$$

Для определения коэффициентов внутреннего и внешнего трения зернистого материала Европейский стандарт (Standard Shear Testing Technique for Particulate Solids) [2] рекомендует прибор Дженике, схема которого показана на рис.2.

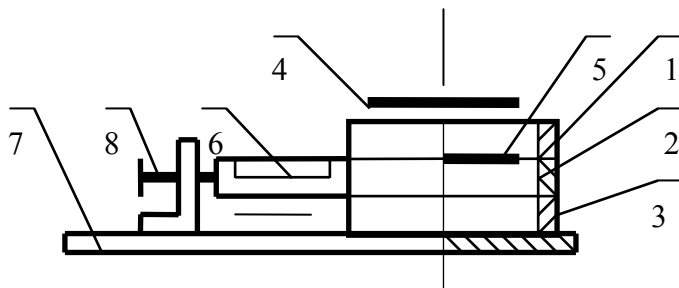


Рис. 2 Установка для определения сдвиговых реакций

Рекомендуется следующая методика измерений. Зернистый материал засыпается в секции 1-3 и выравнивается по краю верхней секции. Далее на материал через прижимную плиту 4 передается усилие для его уплотнения, равное последующей нагрузке. После чего верхняя секция 1 снимается вместе с материалом до верхнего уровня секции 2. На материал укладывается опорная плита 5, на которую устанавливается гиря с определенным весом. В результате действия вертикальной нагрузки P , в зернистом материале возникают определенные нормальные напряжения. посредством винтового привода 8 на секцию 2 передают сдвигающее усилие, величина которого фиксируется динамометром 6. В результате действия горизонтальной нагрузки G , в зернистом материале возникают определенные касательные напряжения. Величину усилия G увеличивают до тех пор, пока секция 2 не сдвинется относительно секции 1. Коэффициент внутрен-

него трения рассчитывается исходя из соотношений горизонтальной и вертикальной нагрузок.

При определении коэффициента внешнего трения, т.е. трения, которое возникает при сдвиге зернистого материала относительно твердой поверхности, вместо неподвижной секции 3 устанавливают пластину из определенного материала.

Определенный интерес представляют приборы, в которых касательные напряжения рассчитывают исходя из экспериментально определенного крутящего момента.

Анализ результатов экспериментального определения коэффициентов внешнего и внутреннего трения различных зернистых материалов, на одних и тех же приборах, в различных университетах мира показал, что большое влияние на полученные результаты оказывают субъективные факторы. Проведенные исследования показали, что основной причиной погрешностей является процедура предварительного уплотнения зернистого материала в секциях 2 и 3.

Список литературы

1. Кормильцин Г.С., Борщев В.Я. Механическое оборудование химических производств: Конспект лекций. – Тамбовск. ин-т хим. машиностр., Тамбов, 1992. 114с.
2. Standard shear testing technique for particulate solids using the Jenike shear cell. THE INSTITUT OF CHEMICAL ENGINEER EUROPEAN FEDERATION OF CHEMICAL ENGINEERING – Published by the Institution of Chemical Engineers, George E. Davis Building, 165-171 Railway Terrace, Rugby, Warwickshire, CV21 3HQ, England, 1989-46p.