



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Инженерная защита окружающей среды»

**Методические указания**  
к практическим занятиям  
по дисциплине  
«Метрология, стандартизация, сертификация»

**«Обработка результатов  
измерения угла естественного  
откоса сыпучего материала»**

Авторы  
Беспалов В.И.,  
Мещеряков С.В.,  
Лысова Е.П.

Ростов-на-Дону, 2016

## Аннотация

Обработка результатов измерения угла естественного откоса сыпучего материала: методические указания для проведения практических занятий по дисциплине «Метрология, стандартизация, сертификация» для обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность», профиль «Охрана природной среды и ресурсосбережение».

Методические указания также могут быть использованы для проведения практических занятий по дисциплине «Метрология, стандартизация, сертификация» для обучающихся по направлению подготовки 28.07.00 «Техносферная безопасность», профиль «Инженерная защита окружающей среды», «Безопасность технологических процессов и производств», «Пожарная безопасность».

## Авторы

д-р техн. наук, проф. В.И. Беспалов,  
канд. техн. наук, доц. С.В. Мещеряков  
канд. техн. наук, ст. преп. Е.П. Лысова



## Оглавление

Цель работы.....	4
Общие сведения.....	4
Экспериментальная установка для определения динамического угла естественного откоса пыли .....	6
Порядок проведения работы .....	7
Подготовка экспериментальной установки к работе.....	8
Проведение прямых измерений по определению угла динамического естественного откоса пыли .....	8
Математическая обработка полученных результатов измерений..	9
Выводы по работе .....	12
Контрольные вопросы .....	12
Литература.....	13

## Цель работы

Изучение и усвоение студентами математической обработки результатов прямых измерений, выполненной при определении динамического угла естественного откоса сыпучего (пылевого) материала.

## Общие сведения

Экспериментальные исследования, выполняемые в науке и технике, включают в себя как измерительную часть, так и обработку полученных данных с их детальным анализом. Практические знания из области проведения и организации эксперимента, умения и навыки в работе с измерительными приборами, владение аппаратом статистического анализа результатов требуются и в деятельности инженера-практика, и в деятельности инженера-исследователя.

Под *измерением* понимают процесс количественного сравнения некоторого свойства объекта с мерой этого свойства или со стандартом (эталоном). Измерения делятся на прямые и косвенные. При *прямом измерении* результат получается непосредственно из измерения самой величины (например, измерение длины проградуйрованной линейкой, времени – секундомером и т.д.). Однако прямые измерения не всегда возможны или достаточно точны. В этих случаях прибегают к *косвенным измерениям*, при которых искомое значение величины находится по известной зависимости между ней и непосредственно измеряемыми величинами. Таким образом, с точки зрения эксперимента, любое косвенное измерение сводится к совокупности прямых измерений (например, нахождение плотности тела по измеренным его массе и геометрическим размерам, скорости – по величине пути, пройденного телом за известное время и т.д.).

Погрешности являются неотъемлемой чертой любого измерения. Поэтому в эксперименте недостаточно получить результат измерения, необходимо еще корректно оценить его погрешность. В противном случае из проведенного эксперимента нельзя сделать окончательных выводов.

Точность измерений отражает близость результатов к истинному значению измеряемой величины. Разность между результатом измерения некоторой величины и его истинным значением называется *абсолютной погрешностью* (ошибкой) измерения. Однако качество измерения обычно характеризуется *относительной погрешностью* (ошибкой), которая

представляет собой отношение (часто выраженное в процентах) абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины. Следует понимать, что при обработке результатов измерений погрешности не вычисляются, а только оцениваются.

Практическая работа посвящена математической обработке результатов измерения динамического угла естественного откоса сыпучего (пылевого) материала – косвенного показателя, характеризующего сыпучесть пылевого материала.

Промышленная пыль относится к категории порошкообразных материалов, характерной особенностью которых является подвижность частиц относительно друг друга и способность их к перемещению под действием внешней силы. Это свойство подвижности частиц пыли называют **сыпучестью**. Сыпучесть зависит от:

1. размера частиц материала;
2. влажности;
3. степени увлажнения.

Сыпучесть характеризуется косвенными показателями, среди которых наиболее распространенным является угол естественного откоса сыпучего (пылевого) материала.

*Углом естественного откоса* называется угол между горизонтальной поверхностью и образующей конуса, насыпанного на нее порошкообразного материала (пыли). Различают собственно угол естественного откоса ( $A_d$ ) и угол обрушения ( $A_{ст}$ ). Первая величина относится к случаю формирования откоса при падении частиц порошка на плоскость. Образование поверхности откоса отвечает при этом состоянию динамического равновесия, поэтому  $A_d$  называют также *динамическим углом естественного откоса*. Углом обрушения называют угол, образующийся при обрушении слоя в результате удаления подпорной стенки. Поэтому величину  $A_{ст}$  называют также *статическим углом естественного откоса*. Угол обрушения всегда больше динамического угла естественного откоса, т.е.  $A_{ст} > A_d$ .

Динамический угол естественного откоса на практике используют при конструировании и поверочных расчетах тех элементов аппаратов аэродинамической пылеочистки (бункеры и пылесборники циклонов, пылевых камер, инерционных пылеуловителей и т.п.), в которых происходит постепенное формирование слоя пылевого материала за счет непрерывного падения частиц пыли, выводимых из потока в процессе его очистки. Целью такого рода расчетов является определение угла конусности первичных накопительных элементов – бункеров и

пылесборников соответствующих аппаратов, а также воронок и желобов различного назначения.

Статический угол естественного откоса на практике используют при конструировании и поверочных расчетах тех вспомогательных элементов аэродинамической пылеочистки (циклоны, пылевые камеры, инерционные пылеуловители и т.п.), в которых происходит резкое формирование слоя пылевого материала за счет обрушения объема материала при его выгрузке из первичных накопительных элементов в результате удаления опорной поверхности. Целью такого рода расчетов является определение габаритов и вместимости вспомогательных накопительных элементов аэродинамической пылеочистки, свободной зоны для открывания поворотных устройств выгрузки пылевого материала, а также вместимости транспортных средств и хранилищ сыпучих материалов различного назначения.

### **Экспериментальная установка для определения динамического угла естественного откоса пыли**

В лабораторной практике применяется несколько способов определения динамического угла естественного откоса. Рассмотрим метод определения угла  $A_d$  с помощью прибора Меринга – Баранова. Метод заключается в определении угла между основанием и образующей конуса, полученного насыпкой порошкообразного материала (пыли) на горизонтальную плоскость.

Экспериментальная установка (рис.) для определения угла динамического естественного откоса пыли включает две вертикальные стенки  $1$  и горизонтальное дно  $2$ , образующие прямой пространственный угол, а также систему подачи пылевого материала, включающего выходной канал  $3$  в воронке  $4$  и бункер  $5$  с шибером  $6$ . В ребре, образованном вертикальными стенками  $1$ , расположен выходной цилиндрический канал  $3$ , ось которого совпадает с пересечением внутренних плоскостей стенок  $1$ .

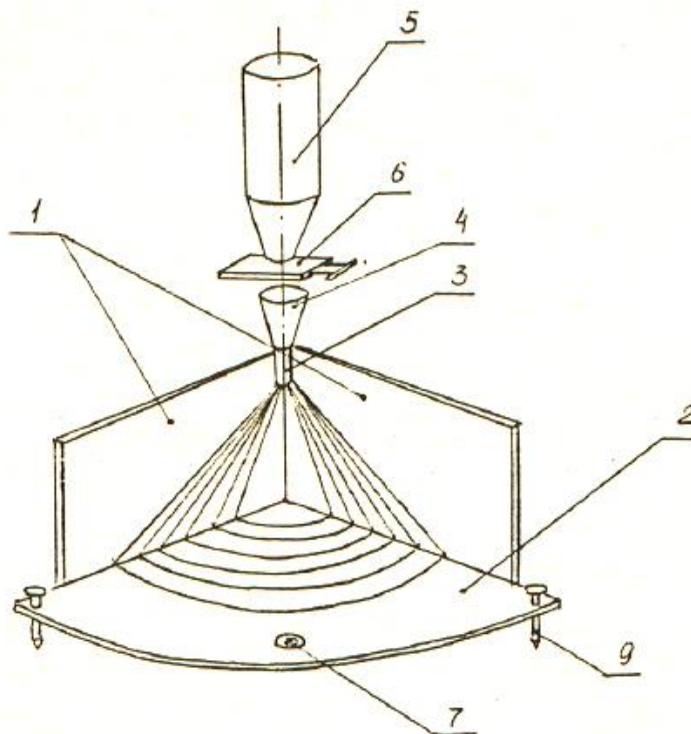


Рисунок. Экспериментальная установка для определения угла динамического естественного откоса пыли

На боковые стенки *1* нанесены угломерные шкалы в диапазоне от 38 до 90 градусов, а на дно *2* – соответствующие этим углам радиусы в диапазоне от 10 до 100 мм. В основание экспериментальной установки вмонтирован уровень *7* и штатив *8* для укрепления бункера *5*. Основание экспериментальной установки снабжено регулировочными винтами *9*.

### Порядок проведения работы

Работа состоит из трех основных этапов:

- 1 – подготовка экспериментальной установки и исследуемого пылевого материала;
- 2 – проведение прямых измерений;
- 3 – математическая обработка полученных результатов измерений.

## Подготовка экспериментальной установки к работе

Подготовка экспериментальной установки к работе проводят в следующей последовательности.

Вращением регулировочных винтов 9 размещают установку так, чтобы дно 2 располагалось горизонтально. При этом контроль горизонтального положения осуществляют по уровню 7.

Воронку 4 устанавливают так, чтобы ось ее выходного канала 3 совпала с вертикальной гранью между боковыми стенками 1.

Проверяют соосность бункера 5 и канала 3 воронки 4. Регулировку производят с помощью штатива 8.

Выбирают вид пылевого материала в соответствии с вариантом по табл. 1. Подготавливают пробу пылевого материала, просеивая и отбирая только те фракции пыли, которые требуются для дальнейших расчетов. После этого отвешивают 30-40 г пылевого материала, предназначенного для проведения опыта.

Таблица 1 – Задание вида пылевого материала и его фракционного состава

Вариант по заданию	1	2	3	4	5
Вид пылевого материала	уголь	перлит	керамзит	зола	горелая формовочная смесь

## Проведение прямых измерений по определению угла динамического естественного откоса пыли

Проведение прямых измерений по определению угла динамического естественного откоса пыли проводят в следующей последовательности.

Закрывают шибер 6 и пробу пыли, подготовленную к анализу, засыпают в бункер 5.

Приоткрывают шибер 6 так, чтобы пыль тонкой струйкой высыпалась в воронку 4, а из нее – через выходной канал 3 вдоль вертикального ребра между стенками 1 на дно 2 до тех пор, пока вершина конуса пылевого материала не совпадет с вершиной конуса угломерной шкалы.

Определяют величину динамического угла естественного откоса:

если образующая конуса пылевого материала совпадает с одной из угломерных шкал, то величина угла  $A_d$  определяется непосредственно по угломерной шкале прямым измерением;

если образующая конуса пылевого материала не совпадает ни с одной из угломерных шкал, то величина угла  $A_d$  определяется расчетным путем по формуле:

$$A_d = \arctg \frac{H}{R}, \text{ град}, \quad (1)$$

где  $H$  – высота конуса пылевого материала, принимаемая постоянной для всех определений, равной 80 мм;  $R$  – радиус основания конуса пылевого материала, измеряемый по шкале радиусов на дне 2, мм.

Так как высота конуса  $H$  является для данной экспериментальной установки величиной постоянной, то зависимость (1) можно привести к виду:

$$A_d = \arctg \frac{80}{R}, \text{ град}. \quad (2)$$

Проводят серию замеров из десяти опытов.

Результаты измерений заносят в табл. 2.

### Математическая обработка полученных результатов измерений

Экспериментальные данные должны быть подвергнуты математической обработке, что позволит судить об их достоверности. При этом обязательно рассчитывают среднее арифметическое, среднеквадратичное отклонение для заданного количества измерений, абсолютную и относительную погрешности и определяют доверительный интервал. Результаты математической обработки измерений заносят в табл. 2

Таблица 2 – Результаты замеров естественного динамического угла откоса пылевого материала и их математической обработки

№ опыта	$A_d$ , град	$\bar{x}$ , град	$\sigma$ , град	$V$ , %	$E_{абс.}$ , град	$E_{отн.}$ , %	$\bar{x} \pm E_{абс.}$
1							
2							
3							
4							

5						
6						
7						
8						
9						
10						

Математическую обработку результатов экспериментальных исследований проводят в следующей последовательности:

Вычисляют среднеарифметическое значение экспериментальных данных, полученных при анализе параллельных измерений –  $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}, \quad (3)$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – результаты 1-го, 2-го, ...,  $n$ -го измерения;  $n$  – количество параллельных измерений.

Находят среднеквадратичное отклонение для заданного количества измерений.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\bar{x} - x_1)^2 + (\bar{x} - x_2)^2 + \dots + (\bar{x} - x_n)^2}{n - 1}} \quad (4)$$

Среднеквадратическое отклонение (или стандартное отклонение, или сигма  $\sigma$ ) измеряется в единицах измерения самой величины. Стандартное отклонение, характеризует меру рассеяния данных.

Среднеквадратическое отклонение дает абсолютную оценку меры разбросанности значений и чтобы понять, насколько она велика относительно самих значений, требуется относительный показатель. Такой показатель называется коэффициент вариации:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (5)$$

В статистике принято, что, если значение коэффициента вариации менее 33%, то совокупность считается однородной, если больше 33%, то – неоднородной.

Полученную величину среднеквадратичного отклонения используют для расчета абсолютной и относительной погрешности –  $E_{абс.}$  и  $E_{отн.}$  соответственно – с заданной степенью надежности.

$$E_{абс.} = \frac{\sigma \cdot t_{ан}}{\sqrt{n}}, \quad (6)$$

где  $t_{ан}$  – коэффициент распределения Стьюдента, который определяется по табл. 3. и зависит от числа параллельных измерений  $n$  и степени их надежности  $\alpha$ .

Таблица 3 – Значение Коэффициента Стьюдента  $t_{ан}$

Кол-во измерений $n$	Значения степени надежности $\alpha$				
	0,6	0,8	0,95	0,99	0,999
2	1,376	3,078	12,706	63,657	636,61
3	1,061	1,886	4,303	9,925	31,598
4	0,978	1,638	3,182	5,841	12,941
5	0,941	1,533	2,776	4,604	8,610
6	0,920	1,476	2,571	4,032	6,859
7	0,906	1,440	2,447	3,707	5,959
8	0,896	1,415	2,365	3,499	5,405
9	0,889	1,397	2,306	3,355	5,041
10	0,883	1,383	2,262	3,250	4,781
11	0,879	1,372	2,228	3,169	4,587
12	0,876	1,363	2,201	3,106	4,437
13	0,873	1,356	2,179	3,055	4,318
14	0,870	1,350	2,160	3,012	4,221
15	0,868	1,345	2,145	2,977	4,140

$$E_{отн.} = \frac{E_{абс.}}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (7)$$

Результат математической обработки результатов экспериментальных исследований записывают в виде:

$$\bar{x} \pm E_{абс.} \quad (8)$$

Для оценки степени надежности значения измеряемой величины, полученного расчетным путем, определить **доверительный интервал**. Это промежуток, в границах которого находится ее **математическое ожидание** (среднеарифметическое значение измеряемой величины). Чтобы определить доверительный **интервал**, нужно найти границы, в пределах которых колеблется значение математического ожидания. Для их расчета необходимо, чтобы рассматриваемая случайная величина была распределена по нормальному закону вокруг некоторого среднего ожидаемого значения.

Доверительный **интервал** следует записать в виде

двойного неравенства:

$$\bar{x} - \frac{\sigma \cdot t_{\alpha n}}{\sqrt{n}} < X_i < \bar{x} + \frac{\sigma \cdot t_{\alpha n}}{\sqrt{n}}, \quad (9)$$

### Выводы по работе

На основании полученных результатов экспериментальных замеров сделать выводы о среднем значении динамического угла естественного откоса для выбранного вида пылевого материала.

Используя полученное значение динамического угла естественного откоса, определить максимальный угол конусности бункера-пылесборника –  $B_k$ , исходя их условия недопущения задержания пылевого материала на стенках бункера-пылесборника:

$$\frac{B_k}{2} < A_{\partial} \quad \text{или} \quad B_k < 2 \cdot A_{\partial} \quad (10)$$

### Контрольные вопросы

1. Что такое сыпучесть пылевого материала?
2. От чего зависит сыпучесть пылевого материала?
3. Что такое угол естественного откоса пылевого материала?
4. Что такое динамический угол естественного откоса пылевого материала?
5. Что такое статический угол естественного откоса пылевого материала?
6. Из чего состоит экспериментальная установка для определения угла динамического естественного откоса?
7. Что понимают под измерением?
8. Какое измерение называют прямым?
9. Какое измерение называют косвенным?
10. Что такое абсолютной погрешностью измерения?
11. Как определить абсолютную погрешность измерения?
12. Что такое относительная погрешность измерения?
13. Как определить относительную погрешность измерения?
14. Какие величины обязательно рассчитывают при математической обработке результатов прямых измерений?
15. Как рассчитать среднеарифметическое значение экспериментальных данных?
16. Как рассчитать среднеквадратичное отклонение для

заданного количества измерений?

17. Как рассчитать коэффициент вариации?
18. В каком случае совокупность считается однородной (неоднородной)?
19. Что такое доверительный интервал?
20. Как определить границы доверительного интервала?

### Литература

1. Скорик Т.А. Метрологическое обеспечение, стандартизация, сертификация и экспертиза. Учебное пособие. – Ростов н/Д.: Ростовский государственный строительный университет, 2013. – 141 с.
2. Эрастов В.Е. Метрология, стандартизация, сертификация: Учебное пособие для студентов вузов. – М.: ФОРУМ, 2008. – 204 с.
3. Тартаковский Д.Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерения: Учебник для студентов вузов. – М.: Высшая школа, 2001. – 205 с.
4. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений.- 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1991. – 304 с.
5. Коузов П.А., Скрыбина Л.Я. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей. – Л.: Химия, 1983. – 143 с.
6. Физико-химические свойства пыли промышленности нерудных строительных материалов: Справочник. – Новороссийск, 1984. – 215 с.