МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ, МОЛОДЕЖИ И СПОРТА УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
“ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ”

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторной работы
“Определение статистических характеристик частиц по микрофотографиям”
по курсу “Электронная микроскопия и электронография”
для студентов физико-технического, механико-технологического и инженерно-физического факультетов

Утверждено
редакционно-издательским
советом университета,
протокол № 1 от 23. 06. 2011 года

Харьков
НТУ “ХПИ”
2011

Методические указания к выполнению лабораторной работы "Определение статистических характеристик частиц по микрофотографиям" по курсу "Электронная микроскопия и электронография" для студентов физико-технического, механико-технологического и инженерно-физического факультетов / Сост. – А.Г. Багмут, И.А. Багмут, Г.П. Николайчук и др. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2011.– 36 с.

Составители: А.Г. Багмут
И.А. Багмут
Г.П. Николайчук
В.А. Жучков

Рецензент Е.Н. Зубарев

Кафедра теоретической и экспериментальной физики

I. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Провести статистический анализ электронномикроскопического изображения дисперсной системы.

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Дисперсные системы – это гетерогенные системы из 2 или более фаз с сильно развитой поверхностью между ними. Одна из фаз образует непрерывную дисперсионную среду, по объему или по поверхности которой распределена дисперсная фаза, например в виде мелких твердых частиц, капель или пузырьков. Дисперсные среды с частицами крупнее 1 мкм обычно называют грубодисперсными, с частицами меньших размеров – высокодисперсными. Просвечивающая электронная микроскопия является эффективным дифракционным методом исследования подобных систем. Типичными объектами исследования в этом случае являются островковые металлические пленки на поддерживающей тонкопленочной подложке, выделения кристаллической фазы в тонкопленочной аморфной матрице и др. Основные характеристики дисперсной фазы определяют посредством статистической обработки электронномикроскопических фотографий. Ниже приведены понятия математической статистики, которые могут быть применены при обработке микрофотографий и результатов экспериментов.

Некоторые понятия математической статистики и их определение

1. Выборочная совокупность (выборка) – совокупность случайно отобранных объектов.

2. Генеральная совокупность – совокупность объектов, из которых производится выборка.

3. Объем совокупности (выборочной или генеральной) – число объектов этой совокупности. Например, если из 500 островков Au на электронномикроскопической фотографии для анализа отобрано 90, то объем генеральной совокупности $N = 500$, а объем выборки $n = 90$.

4. Статистическое распределение выборки. Есть выборка объемом n. При этом величина, характеризующая отобранные объекты, x_1 наблюдалась n_1 раз, x_2 - n_2 раз, x_k - n_k раз. Объем выборки $n = \Sigma\, n_i$. Тогда:

варианты – это наблюдаемые значения x_i;

вариационный ряд – последовательность вариант, записанная в возрастающем порядке;

частота - n_i − это число наблюдений значения x_i.

Относительная частота W_i определяется как отношение частоты n_i к объему выборки n:

$$W_i = \frac{n_i}{n}. \qquad (1)$$

Статистическое распределение выборки – перечень вариант и соответствующих им частот или относительных частот.

Пример. В таблице 1 задан вариационный ряд x_i (первая строка) и распределение частот n_i (вторая строка) выборки, объем которой равен n = 366. В третьей строке представлены относительные частоты, вычисленные согласно (1). Контрольный момент: сумма относительных частот равна единице (ΣW_i = 0,016 + 0,036 + 0,104 + 0,202+ 0,290 +0,232 +0,082 +0,027 + 0,011 = 1).

Таблица 1 − статистическое распределение выборки

x_i	15	20	25	30	35	40	45	50	55
n_i	6	13	38	74	106	85	30	10	4
W_i	0,016	0,036	0,104	0,202	0,290	0,232	0,082	0,027	0,011

5. Полигон частот. Это ломаная, отрезки которой соединяют точки (x_1, n_1), (x_2, n_2), …, (x_k, n_k).

6. Полигон относительных частот. Это ломаная, отрезки которой соединяют точки (x_1, W_1), (x_2, W_2), …, (x_k, W_k).

7. Гистограмма частот – это ступенчатая фигура, состоящая из прямоугольников. Для построения гистограммы интервал, в котором заключены все наблюдаемые значения x_i, разбивают на несколько частичных интервалов длиною h. Основание каждого прямоугольника

равно h, а высота равна плотности частоты $\frac{n_i}{h}$. Площадь всей

гистограммы частот равна объему выборки n. Например, согласно табл. 1 интервал, в котором заключены все наблюдаемые значения x_i, равен 55 – 15 = 40. Если его разбить на 5 частичных интервалов, то длина каждого частичного интервала будет равна h = 8. Следовательно, основание каждого прямоугольника будет равно 8, а высота равна плотности

частоты $\frac{n_i}{8}$. Численные данные, иллюстрирующие построение гистограммы частот по данным табл.1, приведены в табл. 2. На рис. 1 изображена гистограмма частот распределения объема n = 366, приведенного в табл. 2.

Таблица 2 − частоты распределения с объемом выборки $n = 366$ (по данным табл. 1)

Частичные интервалы ($h = 8$)	Середина частичного интервала x_i^*	Сумма частот вариант частичного интервала n_i	Плотность частоты $f_i = \dfrac{n_i}{h}$	Выравнивающие частоты n'_i	Плотность выравнивающей частоты $f_i' = \dfrac{n'_i}{h}$
[15 – 23)	19	6 + 13 = 19	2,375	16,45	2,056
[23 – 31)	27	38 + 74 = 112	14	91,85	11,481
[31 – 39)	35	106	13,25	158,21	19,776
[39 – 47)	43	85 + 30 = 115	14,375	84,07	10,509
[47 – 55]	51	10 + 4 = 14	1,750	13,76	1,720

Примечание. Контрольный момент состоит в том, что $\sum\left(\dfrac{n_i}{h}\right) = \dfrac{n}{h}$.

Понятия, приведенные в пятом и шестом столбцах, рассматриваются в пункте 21.

8. Гистограмма относительных частот – это ступенчатая фигура, состоящая из прямоугольников, основаниями которых служат частичные интервалы длиною h, а высоты равны плотности относительной частоты $\dfrac{W_i}{h}$. Площадь всей гистограммы относительных частот равна единице.

9. Выборочное среднее $\bar{x}_v$ − это среднее арифметическое значение x_i выборочной совокупности:

$$\bar{x}_v = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n}. \tag{2а}$$

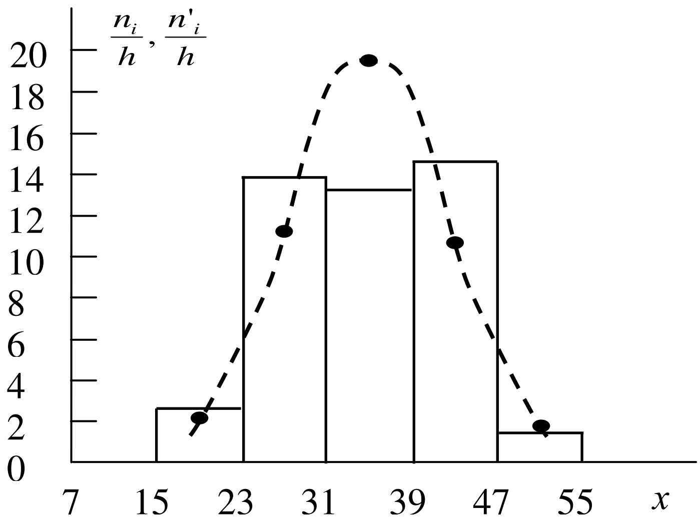

Рис. 1. Гистограмма плотности частот ($\frac{n_i}{h}$) и нормальная кривая плотности выравнивающих частот ($\frac{n'_i}{h}$) по данным табл. 2

Если значение x_i реализуется с частотой n_i, то $\overline{x}_v$ есть средняя взвешенная значений x_i с весами, равными соответствующим частотам:

$$\overline{x}_v = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i x_i}{n}. \tag{2б}$$

Для статистического распределения, приведенного в табл. 1, $\overline{x}_v$ = 34,699.

10а. Выборочная дисперсия D_v − это среднее арифметическое квадратов отклонения наблюдаемых значений x_i от их среднего значения $\overline{x}_v$:

$$D_v = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \overline{x}_v\right)^2}{n}. \tag{3а}$$

Если значение x_i реализуется с частотой n_i, то D_v есть средняя взвешенная квадратов отклонений с весами, равными соответствующим частотам:

$$D_v = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i \left(x_i - \overline{x}_v\right)^2}{n}. \tag{3б}$$

Для статистического распределения, приведенного в табл. 1, $D_v = 54{,}418$. Дисперсия D_v характеризует рассеяние наблюдаемых значений x_i выборки вокруг своего среднего значения $\overline{x}_v$.

10б. Исправленная дисперсия s^2:

$$s^2 = \frac{n}{n-1} D_v = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \overline{x}_v\right)^2}{n-1}. \tag{3в}$$

s^2 является оценкой генеральной дисперсии.

Если значение x_i реализуется с частотой n_i, то s^2 задается соотношением:

$$s^2 = \frac{n}{n-1} D_v = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i \left(x_i - \overline{x}_v\right)^2}{n-1}. \tag{3г}$$

Для статистического распределения, приведенного в табл. 1, $s^2 = 54{,}567$. На практике исправленной дисперсией пользуются, если объем выборки $n < 30$.

11а. Выборочное среднее квадратическое отклонение σ_v (стандарт) – это квадратный корень из выборочной дисперсии:

$$\sigma_v = \sqrt{D_v} \tag{4а}$$

Для статистического распределения, приведенного в табл. 1, $\sigma_v = 7{,}377$.

11б. Исправленное среднее квадратическое отклонение s:

$$s = \sqrt{s^2}. \tag{4б}$$

s является оценкой среднего квадратического отклонения генеральной совокупности. Для статистического распределения, приведенного в табл.1, $s = 7{,}387$. На практике исправленным средним квадратическим отклонением пользуются, если объем выборки $n < 30$.

12. Мода M_0 – это варианта x_i, которая имеет наибольшую частоту. Для ряда x_i, представленного в табл. 1, $M_0 = 35$.

13. Медиана m_e – это варианта, которая делит вариационный ряд на две части, равные по числу вариант. Если число вариант нечетно, т.е. $n = 2k + 1$, то $m_e = x_{k+1}$. При четном $n = 2k$ медиана $m_e = \frac{x_k + x_{k+1}}{2}$.

Для ряда x_i, представленного в табл. 1, медиана $m_e = 35$.

14. Размах варьирования R – это разность между наибольшей и наименьшей вариантами:

$$R = x_{\max} - x_{\min}. \tag{5}$$

Размах является простейшей характеристикой рассеяния вариационного ряда. Для ряда x_i, представленного в табл. 1, размах варьирования $R = 40$.

15. Среднее абсолютное отклонение Θ – это среднее арифметическое абсолютных отклонений:

$$\Theta = \frac{\sum n_i \left| x_i - \bar{x}_v \right|}{\sum n_i}. \tag{6}$$

Среднее абсолютное отклонение служит для характеристики рассеяния вариационного ряда.

16. Коэффициент вариации V – это выраженное в процентах отношение выборочного среднего квадратического отклонения σ_v к выборочной средней $\bar{x}_v$:

$$V = \frac{\sigma_v}{\bar{x}_v} \cdot 100\% . \tag{7}$$

Коэффициент вариации служит для сравнения величин рассеяния двух вариационных рядов. Тот ряд, для которого V больше, имеет большее рассеяние. Для ряда x_i, представленного в табл. 1, коэффициент вариации $V = 21{,}260$.

17. Обычный эмпирический момент порядка k – это среднее значение $k - x$ степеней разности $x_i - c$:

$$M'_k = \frac{\sum n_i (x_i - c)^k}{n}, \tag{8}$$

где c = произвольное постоянное число (ложный нуль).

18. Начальный эмпирический момент порядка k – это обычный момент порядка k при $c = 0$:

$$M_k = \frac{\sum n_i x_i^{\,k}}{n}. \tag{9}$$

При $k = 1$ выражение (9) совпадает с выражением (2б), т.е начальный эмпирический момент первого порядка равен выборочной средней: $M_1 = \bar{x}_v$.

19. Центральный эмпирический момент порядка k – это обычный

момент порядка k при $c = \overline{x}_v$:

$$m_k = \frac{\sum n_i\left(x_i - \overline{x}_v\right)^k}{n}. \tag{10}$$

При $k = 2$ выражение (10) совпадает с выражением (3б), т.е центральный эмпирический момент второго порядка равен выборочной дисперсии: $m_2 = D_v$.

20. Эмпирические частоты − это фактически наблюдаемые частоты n_i.

21. Выравнивающие (теоретические) частоты n'_i – это частоты, найденные согласно соотношению

$$n'_i = nP_i, \tag{11}$$

где n есть число испытаний. P_i есть вероятность наблюдаемого значения x_i в случае предполагаемого дискретного распределения случайной величины x. В случае предполагаемого непрерывного распределения случайной величины P_i есть вероятность попадания x в i – й частичный интервал. В частности, если предполагается нормальное распределение случайной величины, то выравнивающие частоты могут быть найдены по формуле

$$n'_i = \frac{nh}{\sigma_v\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{\left(x_i - \overline{x}_v\right)^2}{2\sigma_v^2}\right], \tag{12}$$

где ширина интервала

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k}. \tag{13}$$

Контрольный момент: сумма выравнивающих частот равна числу испытаний n ($\Sigma n'_i = n$).

В качестве примера найдем теоретические частоты распределения, представленного в табл. 1. Предполагается, что генеральная совокупность распределена нормально. Весь интервал наблюдаемых значений выборки разделим на k частичных интервалов шириною h. Например, если $k = 5$, то согласно (13) $h = \frac{55-15}{5} = 8$.

Далее находим середины частичных интервалов: $x_i^* = \frac{x_i + x_{i+1}}{2}$

(второй столбец табл. 2). В качестве частоты n_i варианты x_i^* принимают число вариант, которые попали в i-й интервал (третий столбец табл. 2). Выравнивающие частоты n'_i находим по формуле (12) (пятый столбец табл. 2). В шестом столбце табл. 2 приведена плотность выравнивающей частоты $\frac{n'_i}{h}$. По этим данным построена нормальная кривая (пунктирная линия на рис. 1).

22. Асимметрия эмпирического распределения a_s. Она определяется равенством

$$a_s = \frac{m_3}{\sigma_v^3}, \tag{14}$$

где m_3 – есть центральный эмпирический момент третьего порядка. Для нормального распределения $a_s = 0$. Асимметрия положительна, если “длинная часть” кривой распределения расположена справа от математического ожидания и отрицательна, если слева. Для статистического распределения, приведенного в табл. 1, асимметрия a_s = -0,101.

23. Эксцесс эмпирического распределения e_k. Он определяется равенством

$$e_k = \frac{m_4}{\sigma_v^4} - 3, \tag{15}$$

где m_4 – есть центральный эмпирический момент четвертого порядка. Для нормального распределения $\frac{m_4}{\sigma_v^4} = 3$, и, следовательно, $e_k = 0$. Если эксцесс положительный, то кривая этого распределения имеет более высокую и “острую” вершину, чем нормальная кривая. Если эксцесс отрицательный, то кривая распределения имеет более низкую и “плоскую” вершину, чем нормальная кривая. Для статистического распределения, приведенного в табл. 1, эксцесс e_k = 0,243.

В приложении 1 приведены некоторые функции системы MATLAB, позволяющие вычислять статистические характеристики, относящиеся к дисперсным средам.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить на фотопластинке (фотопленке) электронно-микроскопическое изображение высокодисперсного объекта.

2. С помощью фотосканера провести его оцифровку. При сканировании желательно использовать разрешение не менее 600 dpi. Тип изображения – серый, 8 бит. Изображение сохранить в виде файла с расширением “jpg”.

3. С помощью команд “imread” и “imshow” в окне “Command Window” получить изображение объекта. Перед этим необходимо убедиться, что требуемый файл находится в той папке, которая высвечена в окне “Current Folder” (см. приложение 2).

4. Вызвать файл-функцию “fsize”. Для этого в окне “Command window” следует набрать имя файл-функции и нажать клавишу “Enter”.

5. Провести измерение размеров микрочастиц (не менее 30) и определить их статистические характеристики. Результаты измерений оформить в виде гистограммы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какие среды называют грубодисперсными, а какие − высокодисперсными?

2. Что такое выборочная дисперсия и выборочное среднее квадратическое отклонение (стандарт)?

3. По электронно-микроскопической фотографии проведено измерение размеров ряда случайно отобранных частиц Au, из которых составлена выборка (данные приведены в нанометрах): 2,1 3,3 3,4 5,4 5,8 6,5 6,6 7,6 4,5 4,1 4,4 3,4 3,7 3,8. Чему равен объем выборки? Определите выборочную дисперсию и выборочное среднее квадратическое отклонение.

4. Что называется коэффициентом вариации? Определите коэффициент вариации для элементов выборки, приведенной в задании 3.

5. Дайте определение обычного эмпирического момента порядка k. Вычислите обычный эмпирический момент пятого порядка (k = 5) для элементов выборки, приведенной в задании 3. Для ложного нуля задайте значение, равное 2.

6. Дайте определение начального эмпирического момента порядка k. Вычислите начальный эмпирический момент первого порядка

(k = 1) для элементов выборки, приведенной в задании 3. Сопоставьте полученный результат с выборочным средним значением.

7. Что называется центральным эмпирическим моментом порядка k? Вычислите центральный эмпирический момент второго порядка (k = 2) для элементов выборки, приведенной в задании 3. Сопоставьте полученный результат со значением выборочной дисперсии.

8. Что называется медианой? Чему равна медиана для элементов выборки, приведенной в задании 3?

9. Что такое гистограмма частот и каков принцип ее построения? Постройте гистограмму частот для элементов выборки, приведенной в задании. Используйте 8 частичных интервалов. Какие величины откладываются по осям абсцисс и ординат гистограммы?

10. Дайте определение выравнивающих (теоретических) частот. Постройте нормальную кривую по элементам выборки, приведенной в задании 3. Используйте 8 частичных интервалов.

11. Осуществите совместное построение гистограммы и нормальной кривой по данным, соответствующим элементам выборки, приведенной в задании 3.

12. Каким равенством определяется асимметрия эмпирического распределения? Вычислите асимметрию распределения, задаваемого элементам выборки, приведенной в задании 3. Дайте пояснение знаку полученного числа.

13. Каким равенством определяется эксцесс эмпирического распределения? Вычислите эксцесс распределения, задаваемого элементам выборки, приведенной в задании 3. Дайте пояснение знаку полученного числа.

14. В каком виде в памяти компьютера хранятся цифровые изображения?

15. Как определить число пикселей вдоль прямой, соединяющей две выбранные точки на изображении?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шиммель Г. Методика электронной микроскопии / Г.Шиммель − М.: Мир, 1972.− 300 с.

2. Гмурман В.С. Теория вероятностей и математическая статистика / В.С. Гмурман. − М.: Высшая школа, 1972. − 368 с.

3. Колупаев И.Н., Шипкова И.Г. Количественная обработка цифровых изображений микроструктур. (Система MatLab) : учеб.-мет.

пособ. по курсу “Численные методы математики и математической физики”./ И.Н. Колупаев, И.Г. Шипкова. − Харьков.: НТУ “ХПИ”, 2006. − 82 с.

4. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Р.Гонсалес, Р.Вудс, С.Эддинс − М.: Техносфера, 2006. − 616 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Некоторые функции анализа данных в системе MATLAB

Наблюдаемые значения x_i в системе MATLAB можно представить в виде вектора-строки X=[x_1, x_2,…x_i]. Рассмотрим некоторые статистические функции системы MATLAB и результаты, возвращаемые ими на примере двух векторов-строк X1 и X2.

X1 = [35, 40, 45, 55, 50, 20, 15, 30, 25].

X2 = [35 40 40 30 30 30 30 30 30 30 40 40 40 15 15 15 15 15 15 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 40 40 40 40 40 40 40 40 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 35 35 35 35 35 35 35 35 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 50 50 50 25 25 25 25 35 35 35 35 35 35 35 35 25 25 25 25 25 25 25 25 25 50 50 50 50 50 50 50 55 55 55 55 40 35 35 35 35 40 40 40 40 40].

П.1.1. Упорядочение элементов вектора X1.

а) Упорядочение по убыванию. Для этого используется команда “**-sort(-X1)**”. В командном окне пакета MATLAB вводим:

```
>> X1=[35 40 45 55 50 20 15 30 25];
>> -sort(-X1)
```

После нажатия клавиши “Enter” получаем ответ (“ans =”) в виде вектора строки: ans = 55   50   45   40   35   30   25   20   15 б) Упорядочение по возрастанию (создание вариационного ряда). Для этого используется команда “**sort(X1)**”. Результатом применения этой команды является вектор – строка: [15 20 25 30 35 40 45 50 55].

П.1.2а. Определение числа элементов (длины) вектора X1 (определение объема выборки). Для этого используется команда “**length(X1)**”. Результатом применения этой команды является число 9.

П.1.2б. Определение размера массива (числа строк и столбцов). Для этого используется команда “**size**”. Для вектора-строки (X1) форма записи “**size(X1)**”. Результат применения этой команды:

ans = 1 9

Это означает, что число строк массива (X1) равно 1, а число столбцов равно 9.

П.1.3. Определение суммы элементов вектора X. Для этого используется команда “**sum(X1)**”. Результатом применения этой команды является число 315.

П.1.4. Определение произведения элементов вектора X1. Для этого используется команда “**prod(X1)**”. Результатом применения этой команды является число $3{,}898125 \cdot 10^{13}$.

П.1.5. Нахождение минимального и максимального значения среди элементов вектора X1.

а) Минимальное значение находится посредством команды “**min(X1)**”. Результатом ее применения является число 15.

б) Максимальное значение находится посредством команды “**max(X1)**”. Результатом ее применения является число 55.

П.1.6. Нахождение медианы вариационного ряда, составленного из элементов вектора X1. Для этого используется команда “**median(X1)**”. Результатом применения этой команды является число 35.

П.1.7. Нахождение среднего арифметического значения из элементов вектора X1 (согласно соотношению (2а)). Для этого используется команда “**mean(X1)**”. Результатом применения этой команды является число 35.

П.1.8а. Нахождение выборочной дисперсии D_v из элементов вектора X1 (согласно соотношению (3а)). Для этого используется команда “**var(X1, 1)**”. Результатом применения этой команды является число 166,667.

П.1.8б. Нахождение исправленной дисперсии s^2 из элементов вектора X1 (согласно соотношению (3в)). Для этого используется команда “**var(X1, 0)**” или “**var(X1)**”. Результатом применения этой команды является число 187,500.

П.1.9а. Нахождение выборочного среднего квадратического отклонения σ_V из элементов вектора X1 (согласно соотношению (4а)). Для этого используется команда “**std(X1, 1)**”. Результатом применения этой команды является число 12,910.

П.1.9б. Нахождение исправленного среднего квадратического отклонения s из элементов вектора X1 (согласно соотношению (4б)). Для этого используется команда “**std(X1, 0)**” или “**std(X1)**”. Результатом применения этих команд является число 13,693.

П.1.10. Нахождение моды. В качестве примера рассмотрим вектор-строку X2, элементы которого повторяются с разными частотами, которые представлены в табл.1. Для этого можно использовать команду “**mode(X2)**”. Результатом применения этой команд будет число 30, которое среди элементов вектора X2 имеет наибольшую частоту. Для одновременного определения моды M и ее частоты n следует выполнить команду “**[M, n]=mode(X2)**”. Результатом применения этой команды будет ответ: M=30, n=74.

П.1.11. Построение статистического распределения выборки. В отличие от предыдущих примеров, в MATLAB подобной встроенной команды нет. Восполнить пробел позволяет файл-функция под именем “**elem_freq**”. Пусть варианты выборки представлены элементами вектора-строки X2. Форма записи следующая: **[x,n,W] = elem_freq(X2)**. Файл-функция возвращает вектор-строку x (элементы выборки), вектор-строку n (частоты) и вектор-строку W (относительные частоты), что соответствует содержанию табл. 1:

```
x =
15      20      25      30      35      40      45      50
55
n =
6       13      38      74      106     85      30      10      4
W =
0,0164  0,0355  0,1038  0,2022  0,2896  0,2322  0,0820  0,0273
0,0109
```

Листинг программы elem_freq приведен в П.3.1. приложения 3.

П.1.12а. Построение полигона частот по известному статистическому распределению выборки. В качестве примера возьмем вариационный ряд табл. 1. Варианты (наблюдаемые значения) зададим вектором-строкой x, а частоты - вектором-строкой n. Для построения графика в декартовой системе координат используем команду “**plot**”. Пример использования команды plot:

```
x = [15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55];
```

```
n = [6, 13, 38, 74, 106, 85, 30, 10, 4];
plot(x,n,'-ok');
grid on
```

Результат исполнения этих команд представлен на рис. П.1. Последовательность символов '-ok' предписывает построение графика сплошной линией (символ “-”), кружками (символ “o”) черного цвета (символ “k”). Последняя команда “grid on” выводит в поле рисунка координатную сетку.

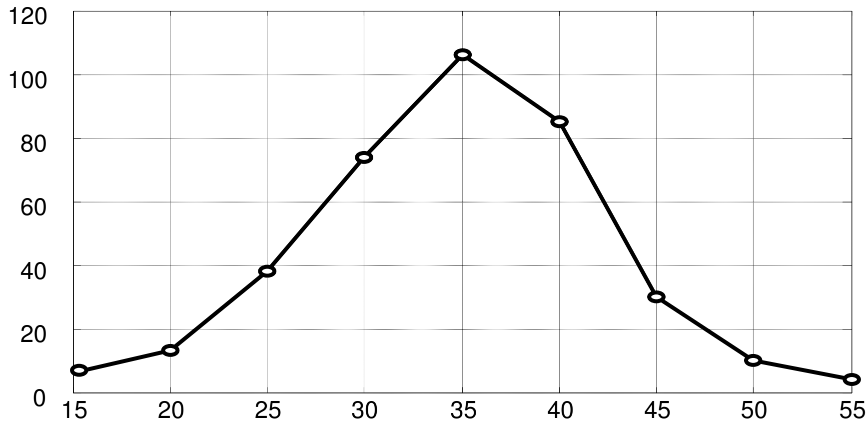

Рис. П.1. Полигон частот вариационного ряда табл. 1

П.1.12б. Построение полигона частот по элементам вектора-строки. В качестве примера используем вектор-строку X2. Форма записи следующая:

```
[x,n,W]=elem_freq(X2);
plot(x,n,'-ok');
grid on
```

Результат исполнения этих команд тождественен результату пункта П.1.12а и представлен на рис. П.1. Аналогично строится и полигон относительных частот. Для этого достаточно команду “plot(x,n,'-ok')” заменить командой “plot(x,W,'-ok')”.

П.1.13. Нахождение центральных эмпирических моментов порядка k (формула (10)). Для этого используется команда “**moment(X, order)**”, где под X подразумевается вектор (или матрица) а order есть порядок k центрального эмпирического момента. Например, результатом применения этой команды к элементам вектора X2 при k =3 будет число -

40,3884, а при k = 2 - число 54,4179, равное выборочной дисперсии D_v элементов вектора X2 (формула (3б)). Как уже было отмечено выше, центральный эмпирический момент второго порядка равен выборочной дисперсии.

П.1.14. Нахождение асимметрии эмпирического распределения (формула (14)). Используется команда "**skewness(X)**". Применение этой команды к элементам вектора X2 (в командном окне следует набрать "skewness(X2)") даст число -0.1006.

П.1.15. Нахождение эксцесса эмпирического распределения. Для этого MATLAB использует команду "**kurtosis(X)**", которая вычисляет

эксцесс согласно соотношению $e_k = \frac{m_4}{\sigma_v^4}$, которое на 3 превышает

значение, вычисленное по формуле (15). Применение этой команды к элементам вектора X2 (в командном окне следует набрать "kurtosis(X2)") даст число 3.2433. Для вычисления эксцесса по формуле (15) в командном окне MATLAB следует набрать "kurtosis(X2)-3", что даст число 0.2433.

П.1.16. Построение гистограммы частот элементов вектора-строки. Команда "**hist(X, nbins)**" строит гистограмму частот элементов вектора-строки X. Число частичных интервалов (число "бинов") задается величиной "nbins". Если эта величина не указана, то число бинов по умолчанию будет равно 10 (команда "**hist(X)**"). В качестве примера построим гистограмму частот элементов вектора X2 используя 5 частичных интервалов (nbins = 5). Для этого в командном окне следует набрать "hist (X2, 5)". Результат исполнения команды показан на рис. П.2.

Сопоставим полученный результат с данными табл. 2. Нетрудно видеть, что по оси абсцисс гистограммы отложены величины, соответствующие серединам частичных интервалов x_i^* (второй столбец таблицы). По оси ординат отложена величина, соответствующая сумме частот вариант частичного интервала n_i (третий столбец таблицы).

Определим вектор-строку xi, элементами которого являются середины частичных интервалов x_i^* и вектор-строку ni, элементами которого являются суммы частот вариант частичных интервала n_i. Для этого в командном окне следует набрать "[ni,xi]=hist (X2, 5)". Результат исполнения этой команды будет следующий:

```
ni =     19  112  106  115   14
xi =     19   27   35   43   51
```

Это совпадает соответственно с данными столбцов 3 и 2 табл. 2.

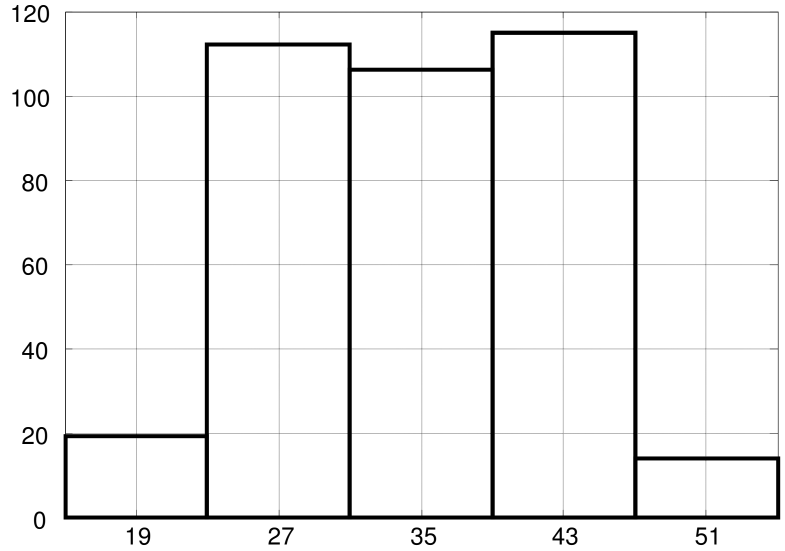

Рис. П.2. Гистограмма вариационного ряда табл. 1

П.1.17. Построение гистограммы плотностей частот элементов вектора-строки. Для этого следует использовать команды “**ecdf(X)**” (empirical cumulative distribution function) и “**ecdfhist**” (empirical cumulative distribution function histogram). Информацию об этих функциях студентам предлагается получить самостоятельно, используя справочную систему MATLAB. Для этого в командной строке следует набрать “**doc ecdf**” или “ **doc ecdfhist**” Нижеприведенный набор команд строит гистограмму плотностей частот элементов вектора-строки X2 с использованием 5 частичных интервалов (nbins =5).

```
[fi, xi]=ecdf(X2);
fi=fi*length(X2);
nbins = 5;
ecdfhist(fi, xi, nbins);
grid on
[fi, xi]=ecdfhist(fi, xi, nbins)
```

В результате исполнения этих команд будет построен график, подобный графику, приведенному на рис. П.2 с той разницей, что по оси ординат откладываются плотности частот f_i элементов вектора-строки X2, а не сами частоты n_i. Кроме того в результате выполнения команды “[fi, xi]=ecdfhist(fi, xi, nbins)” будут возвращены численные значения плотности частот f_i и середин частичных интервалов x_i^* (которые приведены в четвертом и втором столбцах табл. 2):

fi =	2,3750	14,0000	13,2500	14,3750	1,7500
xi =	19	27	35	43	51

П.1.18. Построение нормальной кривой по опытным данным. Будем считать, что выборочная совокупность (выборка) представлена элементами вектора-строки X2. Выравнивающие (теоретические) частоты n'_I будем находить по формуле (12). Для этого целесообразно использовать стандартную MATLAB-функцию “**normpdf**” (normal probability density function), y=normpdf(X, mu, sigma), где mu есть выборочное среднее $\bar{x}_v$ (2а), а sigma есть выборочное среднее квадратическое отклонение σ_v (4а). Напомним, что mu находится командой “**mean(X2)**”, а sigma находится командой “**std(X2, 1)**”. В результате применения функции normpdf будут вычислены значения y_i по формуле:

$$y_i = \frac{1}{\sigma_v \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{\left(x_i - \bar{x}_v\right)^2}{2\sigma_v^2} \right],$$

которые согласно (12) следует еще умножить на nh. Объем выборки n находится командой “**length(X2)**”. Ширину интервала h при заданном числе частичных интервалов k (nbins = k) вычислим согласно (13). Записать это можно в следующем виде. “**h = ((max(X2)-min(X2))/nbins)**”. Зададим изменение аргумента x от минимального до максимального значения с шагом 0.01: “**x=min(X2):0.01:max(X2)**”. Вывод графика осуществим командой “**plot (x, Y, 'k', 'LineWidth', 1.5)**”. Параметры “'k', 'LineWidth', 1.5” задают цвет и ширину линии. Последовательность команд:

```
nbins = 5;
h=((max(X2)-min(X2))/nbins);
x=min(X2):0.01:max(X2);
Y=h*length(X2)*normpdf(x,mean(X2),std(X2,1));
plot(x,Y,'k','LineWidth',1.5);
grid on
```

В результате выполнения этих команд будет построен график, где по оси абсцисс приведены значения аргумента x, а по оси ординат – значения выравнивающих частот n'_i.

Для построения аналогичной кривой, где по оси ординат будут отложены плотности выравнивающих частот $f_i^{'}$, значения, возвращаемые функцией normpdf, следует умножать на n, а не на nh. Итоговая форма записи следующая:

```
nbins = 5;
h=((max(X2)-min(X2))/nbins);
x=min(X2):0.01:max(X2);
Y=length(X2)*normpdf(x,mean(X2),std(X2,1));
plot(x,Y,'k','LineWidth',1.5);
grid on
```

П.1.19. Совместное построение гистограммы и нормальной кривой по опытным данным. Набор команд для построения гистограммы и нормальной кривой по опытным данным следующие:

```
nbins = 5;
hist (X2, nbins); hold on;
h=((max(X2)-min(X2))/nbins);
x=min(X2):0.01:max(X2);
Y=h*length(X2)*normpdf(x,mean(X2), std(X2,1));
plot(x, Y, 'k', 'LineWidth', 1.5);
grid on
```

Команда “hold on” позволяет на одном графике совместить построение гистограммы и нормальной кривой. Результат исполнения этих команд представлен на рис. П.3.

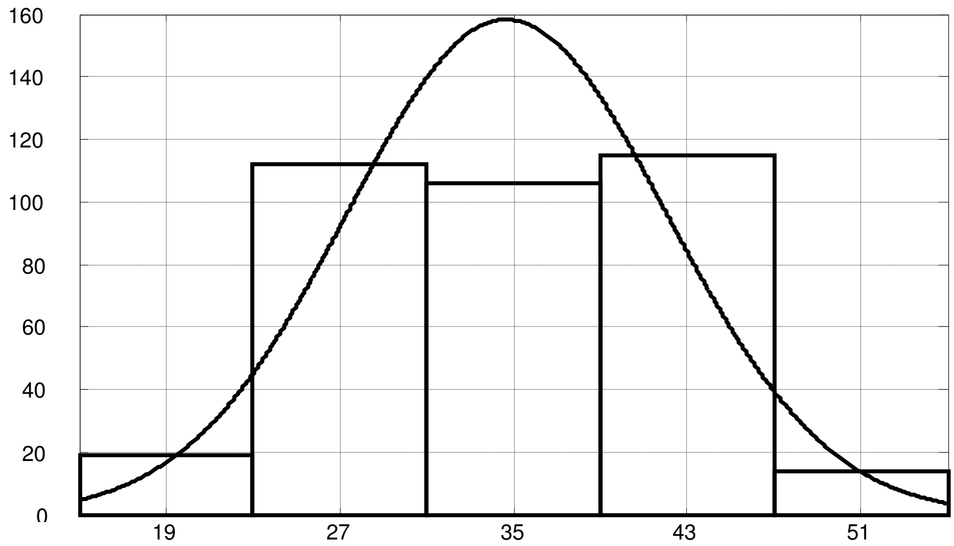

Рис. П.3. Совместное построение нормальной кривой и гистограммы вариационного ряда табл. 1

По оси ординат на рис. Рис. П.3 отложены выравнивающие частоты n'_I и суммы частот вариант частичных интервалов n_i (значения, указанные в столбцах 5 и 3 табл. 2 соответственно). Для построения графика плотностей указанных величин (столбец шестой $f_i' = \frac{n'_i}{h}$ и столбец четвертый $f_i = \frac{n_i}{h}$) следует использовать набор команд:

```
[fi, xi]=ecdf(X2);
fi=fi*length(X2);
nbins = 5;
ecdfhist(fi, xi, nbins); hold on;
h=((max(X2)-min(X2))/nbins);
x=min(X2):0.01:max(X2);
Y=length(X2)*normpdf(x,mean(X2), std(X2,1));
plot(x, Y, 'k', 'LineWidth', 1.5);
grid on
```

В результате выполнения этих команд будет построен график, аналогичный графику, приведенному на рис. 1.

П.1.20. Вид гистограммы зависит от числа частичных интервалов (бинов). Для примеров, рассмотренных выше, число бинов равнялось 5. Однако самосогласованное их число зависит от статистического распределения выборки и определяется следующими командами:

```
[fi, xi]=ecdf(X2);
nbins=length(xi)-1
```

В результате применения этих команд получаем, что число бинов nbins = 9.

На рис. П.4 приведено совместное построение гистограммы и нормальной кривой, соответствующее элементам вектора-строки X2. Число бинов соответствует оптимальному значению. В данном случае оно равно 9. По оси абсцисс отложены наблюдаемые значения x_i. По оси ординат отложена плотность выравнивающей частоты f_i' (для нормальной кривой) и плотность частоты f_i (для столбцов гистограммы). График построен при выполнении следующих команд:

```
[fi, xi]=ecdf(X2);
fi=fi*length(X2);
nbins=length(xi)-1;
ecdfhist(fi, xi, nbins); hold on;
x=min(X2):0.01:max(X2);
Y=length(X2)*normpdf(x,mean(X2), std(X2,1));
```

```
plot(x, Y, 'k', 'LineWidth', 1.5);
grid on
```

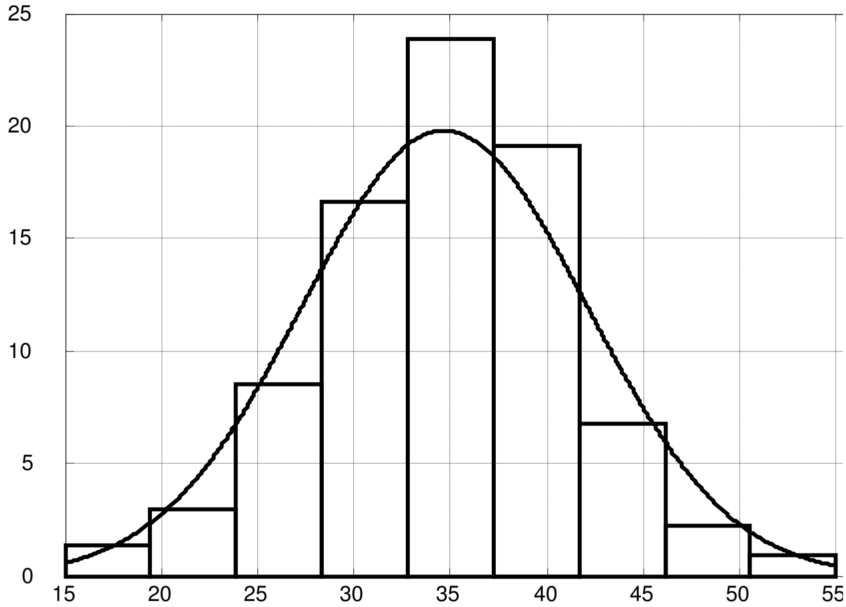

Рис. П.4. Совместное построение гистограммы и нормальной кривой, соответствующее элементам вектора-строки X2. По оси абсцисс отложены наблюдаемые значения x_i. По оси ординат отложена плотность выравнивающей частоты f_i' (для нормальной кривой) и плотность частоты f_i (для столбцов гистограммы)

Приложение 2. Некоторые функции для работы с цифровыми изображениями в системе MATLAB

Цифровые изображения формируются посредством сканирования элетронномикроскопических фотографий, отпечатанных на стекле, фотопленке или фотобумаге с последующей их записью в виде файлов в памяти компьютера. Как правило, используются полутоновые изображения (grayscale), содержащие пиксели с рядом оттенков серого цвета. В памяти компьютера они хранятся в виде двумерных массивов-матриц. Работать с цифровыми изображениями в системе MATLAB позволяет пакет специализированных программ “Image Processing Toolbox”.

Для работы в окне MATLAB “Command Window” файл, к которому следует обратиться, должен находиться в той папке, которая высвечена в окне “Current Folder”. Выбор требуемой папки осуществляется с помощью выпадающего меню “Обзор папок”, которое появляется после нажатия кнопки “Browse for folder”.

Функция “imread”. Для считывания графического объекта в командной строке MATLAB следует набрать команду I = imread(‘filename.fmt’), где filename есть имя файла, а fmt – его формат. Например, для считывания цифрового изображения, записанного в файле difr.jpg, Следует выполнить команду “**I = imread('difr.jpg')**”. В результате ее выполнения будет сформирован двумерный массив I, который для данного полутонового изображения имеет размерность 6 x 11:

I =

32	34	43	63	95	134	171	193	200	177	148
30	34	44	67	101	143	181	204	209	187	158
28	33	46	72	110	155	196	220	223	201	172
27	32	47	75	116	163	206	231	233	211	182
27	32	47	75	116	163	206	231	233	211	182
28	33	46	72	110	155	196	220	223	201	172

Для предотвращения вывода числового массива на экран компьютера в конце команды следует ставить “**;**”.

Функция “imshow”. Эта функция позволяет получить изображение на экране компьютера. Выполнение команды “**imshow(I)**” приводит к выведению в отдельном окне изображения, записанного в файле difr.jpg. Его изображение приведено на рис. П.5. Для того, чтобы уже выведенное на экран изображение не исчезало при выведении следующего изображения, перед командой “imshow” следует задавать команду “figure” (например “**figure, imshow(J)**”).

При достаточном увеличении отчетливо проявляется пиксельная структура цифрового изображения. Изображение, приведенное на рис. П.5 состоит из 6 x 11 = 66 пикселей, что соответствует числу элементов числового массива I. Число строк массива I определяет размер изображения по вертикали, а число столбцов – размер изображения по горизонтали.

Каждому элементу массива I соответствует определенный пиксель изображения. Так, элементу массива I(1, 1) = 32 соответствует пиксель, находящийся в левом верхнем углу изображения, а элементу массива I(6, 11) = 172 соответствует пиксель, находящийся в правом

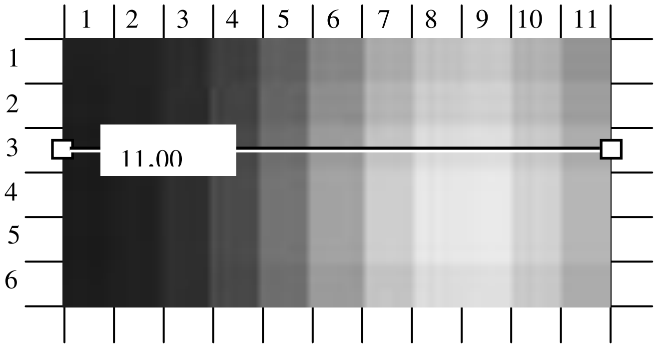

Рис. П.5. Пиксельная структура элемента цифрового изображения, записанного в файле “difr.jpg”

нижнем углу изображения. Каждый пиксель полутонового изображения характеризуется яркостью. Так, яркости пикселей, задаваемые элементами массива I(1, 1) и I(6, 11), равны соответственно 32 и 172. Для полутоновых изображений, как правило, используется шкала, где яркости пикселей изменяются от 0 (черный цвет) до 255 (белый цвет).

Функция “imdistline”. Эта функция позволяет определить число пикселей вдоль прямой, соединяющей две выбранные точки на изображении. В результате выполнения команды “**h = imdistline**” на открытом изображении появляется прямая линия с двумя маркерами, подобная той, что изображена на рис. П.5. (Полный список команд такой: I = imread ('difr.jpg'); imshow (I); h = imdistline;). Число, пропечатываемое в белом прямоугольнике, соответствует числу пикселей, разделяющих два маркера. На рис. П.5 оно равно 11, что соответствует числу квадратиков, пересекаемых горизонтальной линией. Устанавливая маркеры с помощью мыши на интересующие нас точки изображения, можно определить расстояние (число пикселей) между этими точками. Вывести это число на экран компьютера позволяет команда “**getDistance(h)**”.

Если кликнуть правой кнопкой мыши в тот момент, когда курсор находится на прямой линии или на одном из маркеров, то происходит выпадение контекстного меню, содержащего дополнительные опции. Более подробно о возможностях функции “imdistline” можно ознакомиться, используя справочную систему MATLAB.

Приложение 3. Файл-функция “fsize”. Руководство пользователя

Предлагаемая программа составлена для работы в системе MATLAB. Она позволяет провести измерение линейных размеров ансамбля микрочастиц по электронномикроскопической фотографии и определить его статистические характеристики.

Поясним работу программы на конкретном примере. Допустим, мы исследуем выделения кристаллической фазы диоксида гафния (HfO_2) в аморфной матрице. Изображение сфотографировано на фотопленке размером 9 х 12 см при электронномикроскопическом увеличении $M_Э$ = 60000. Кристаллическое выделение легко отличить от аморфного окружения по характерному дифракционному контрасту. После оцифровывания изображения (с использованием фотосканера) сформирован файл, имеющий имя и расширение 3200_HfO_2 .jpg.

Запускаем систему MATLAB. В окне “Command window” набираем имя файл функции “fsize”. В командном окне появляются строки.

Функция измерения размеров объектов на цифровом изображении.

Введите <1> − для проведения новых измерений

Введите <2> − для ввода значений имеющихся измерений с клавиатуры

Введите <3> − для ввода значений имеющихся измерений из файла

3.1. Работа программы “fsize” в режиме проведения новых измерений. В этом случае после запуска программы следует ввести в окне “Command window” цифру “1”. После ввода единицы следует команда: “*Введите имя файла (в одинарных кавычках) с цифровым изображением*”.

Вводим: '3200_HfO_2.jpg'

На экране компьютера появляется новое окно с изображением объекта и масштабного отрезка (рис. П.6).

В окне “Command window” следует текст:

Установите с помощью манипулятора мышь длину выбранного отрезка в микрометрах для определения масштаба изображения и нажмите <Enter>.

На данном этапе необходимо установить соответствие между числом пикселей и расстоянием (в микронах), разделяющим две выбранные точки на изображении. Последние целесообразно выбирать на краях фотопластинки (между которыми расстояние известно и в нашем случае равно 9 см). С помощью манипулятора мышь устанавливаем

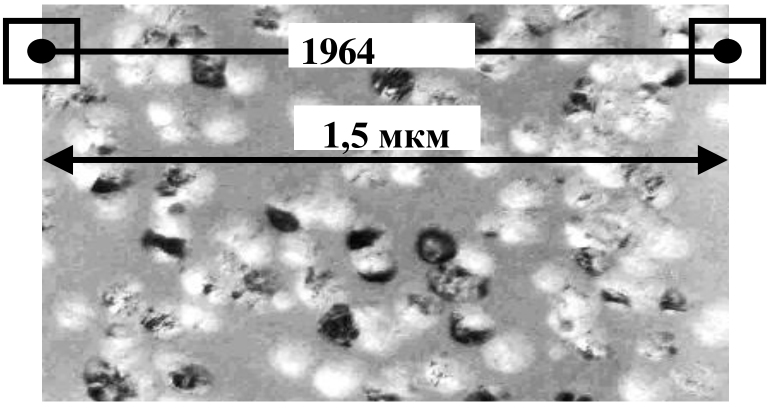

Рис. П.6. Изображение объекта и масштабных отрезков

маркеры на левый и правый край изображения так, чтобы линия, соединяющая маркеры, была параллельна кромке изображения. После нажатия "Enter" в командном окне следует текст:

Введите длину отрезка (в микронах).

В этом случае длина прямого отрезка, вычисленная в пикселях, соответствует расстоянию между маркерами на изображении объекта, выраженному в микронах и равному L:$M_Э$, где L есть ширина фотопластинки (в нашем случае 90000 мкм). В рассматриваемом примере длина отрезка равна 90000 мкм : 60000 = 1,5 мкм, что соответствует 1964 пикселям (число в белом прямоугольнике над прямой линией). Следовательно, одному пикселю будет соответствовать расстояние, равное ~ 0,0008 мкм. После введения 1,5 и нажатия клавиши "Enter" на экране появляется текст:

Масштаб: 1 пиксель --> 0,000764 мкм

Введите <1> − для использования измерительных отрезков без меток

Введите <2> − для отображения меток на измерительных отрезках

Если выбрать первый вариант, то масштабные метки не появляются и ничто не затеняет поле изображения. Во втором случае возле каждой масштабной линии появляется прямоугольник с числом, показывающим расстояние между указателями, выраженном в пикселях. После введения "1" или "2" появляется команда

Введите число измерений:

В качестве примера вводим “33”. Это означает, что мы измерим линейный размер (диаметр) 33 микрокристаллов на рис. П.6 (т.е. объем выборки n = 33). После нажатия клавиши “Enter” программа генерирует 33 пары маркеров, соединенных прямой линией, которые первоначально располагаются в левом верхнем углу рисунка. В окне “Command window” появляется текст: *Выполните измерения размеров объектов с помощью манипулятора мышь и нажмите “Enter”.*

Для измерения диаметра микрокристалла необходимо с помощью мыши разместить оба маркера на противоположных концах изображения микрокристалла. Число в белом прямоугольнике будет соответствовать размеру кристалла, выраженному в пикселях. Если белый прямоугольник препятствует установке маркеров в нужных местах изображения, то его можно убрать с помощью команды контекстного меню, вызываемого правой кнопкой мыши. Указанную процедуру измерения следует повторить n = 33 раза.

После выполнения этой команды в окне “Command window” появляется текст:

Введите <1> − для сохранения размеров объектов в текстовом файле

Введите <2> − для продолжения работы без сохранения

В первом случае массив измерений будет сохранен в виде текстового файла. Во втором случае – измерения не сохраняются. В качестве примера вводим “1”. Следует текст:

Введите имя файла (в одинарных кавычках)

В этом случае компьютер предлагает задать имя файла, в котором следует сохранить данные измерений. В качестве примера вводим 'exam_1'. Далее следует предложение:

Введите <1> − для сохранения данных в виде строки

Введите <2> − для сохранения данных в виде столбца

В первом случае данные сохраняются в виде вектора–строки. Во втором случае – в виде вектора–столбца. В качестве примера вводим “1”. После этого следует команда:

Введите число интервалов (бинов) для построения гистограммы (при введении 0 число бинов определяется автоматически):

При введении “0” программа сама определит оптимальное число интервалов будущей гистограммы по характеру распределения элементов массива данных измерений. Однако число интервалов будущей гистограммы можно задать и в ручную. В качестве примера вводим число интервалов (бинов), равное 5. После введения этого числа и нажатия клавиши “Enter” в окне “Command window” появляется текст:

Введите <1> − для построения нормальной кривой по результатам измерений

Введите <2> − для отображения гистограммы без нормальной кривой

В первом случае нормальная кривая отображается вместе с гистограммой. Во втором случае – отображается только гистограмма. Вводим “1” и получаем результаты статистической обработки электронномикроскопической фотографии:

Статистические характеристики проведенных измерений:
1. Минимальный размер = 0,039834 мкм
2. Максимальный размер = 0,092365 мкм
3. Средний размер ..... = 0.,61926 мкм
4. Стандартное отклонение = 0,010168 мкм
5. Коэффициент вариации = 16,420324 %
6. Асимметрия …….. = 0,494222
7. Эксцесс ………… = 1,771556

В отдельном окне (например, “Figure 2”) приводится гистограмма и кривая, отражающие распределение размеров микрокристаллов. При этом результаты измерений записаны в файле “exam_1”, который высвечивается в окне “Current Folder”.

3.2. Работа программы “fsize” в режиме ввода значений имеющихся измерений с клавиатуры. В этом случае после запуска программы следует ввести в окне “Command window” цифру “2”. После ввода двойки следует команда: “*Задайте размеры объектов в микрометрах в виде вектора (в квадратных скобках)*”. В качестве примера введем элементы вектора-строки X2 (см. Приложение 1). Далее последуют команды, предписывающие выполнение действий, содержание которых описано в предыдущем разделе 3.1.

3.3. Работа программы “fsize” в режиме ввода значений имеющихся измерений из файла. В этом случае после запуска программы следует ввести в окне “Command window” цифру “3”. После ввода тройки следует приглашение: “*Введите имя файла (в одинарных кавычках)*”. В качестве примера введем имя файла “exam_1”, созданного в предыдущем разделе 3.1. Вводим 'exam_1'. Далее последуют команды, предписывающие выполнение действий, содержание которых описано в предыдущем разделе 3.1.

Приложение 4. Листинг программы “elem_freq”

```
function freq = elem_freq(a)
b = sort(a);
m = size(a); n = m(2);
i = 2; k = 1;
temp = b(1); freq(1,k) = temp; freq(2,k) = 1;
while i <= n
if temp == b(i)
freq(2,k) = freq(2,k) + 1;
else
k = k + 1;
temp = b(i);
freq(1,k) = temp;
freq(2,k) = 1;
end;
i = i + 1;
end;
freq(3,:) = freq(2,:) / n;
```

Приложение 5. Листинг программы “fsize”

```
function fsize
clc
N = 0;
x = 0;
F = 0;
dist = 0;
bins = 0;
s1 = '          Функция измерения размеров объектов на цифровом изображении.';
disp(s1);
s1 = 'Введите <1> - для проведения новых измерений\n';
s2 = 'Введите <2> - для ввода значений имеющихся измерений с клавиатуры\n';
s3 = 'Введите <3> - для ввода значений имеющихся измерений из файла\n';
```

13. misure = input([s1, s2, s3]);
14. if misure ~= 1 && misure ~= 2 && misure ~= 3
15. ok = false;
16. while ok == false
17. misure = input([s1, s2, s3]);
18. if misure == 1 || misure == 2 || misure == 3
    a. ok = true;
19. end;
20. end;
21. end;
22. if misure == 1
23. s1 = 'Введите имя файла (в одинарных кавычках) с цифровым изображением: ';
24. fname = input(s1);
25. %fname = '1.jpg';
26. img = imread(fname);
27. figure;
28. hImg = imshow(img);
29. title('Установите с помощью манипулятора мышь длину выбранного отрезка в микрометрах');
30. hline = imdistline(gca);
31. api = iptgetapi(hline);
32. api.setLabelTextFormatter('%4.0f пикс.');
33. input('Установите с помощью манипулятора мышь длину выбранного отрезка в микрометрах \n для определения масштаба изображения и нажмите <Enter>');
34. microns = input('Введите длину отрезка в микрометрах:');
35. sc = microns / getDistance(hline);
36. delete (hline);
37. s1 = sprintf('Масштаб: 1 пиксель --> %6.6f мкм\n', sc);
38. s2 = sprintf('Введите <1> - для использования измерительных отрезков без меток\n');
39. s3 = sprintf('Введите <2> - для отображения меток на измерительных отрезках\n');
40. labels = input([s1, s2, s3]);
41. if labels ~= 1 && labels ~= 2
42. ok = false;
43. while ok == false
    a. labels = input([s2, s3]);
    b. if labels == 1 || labels == 2

            i. ok = true;
        c. end;

44. end;
45. end;
46. if labels == 1
47. lab = false;
48. elseif labels == 2
49. lab = true;
50. end;
51. N = input('Введите число измерений: ');
52. s1 = sprintf('Масштаб: 1 пиксель --> %6.6f мкм', sc);
53. title(['Выполните измерения размеров объектов. ', s1]);
54. for i=1:N
55. hlines(i) = imdistline(gca,[20 120],[20 20]);
56. api = iptgetapi(hlines(i));
57. api.setLabelTextFormatter('%4.0f пикс.');
58. setLabelVisible(hlines(i),lab)
59. end;
60. input('Выполните измерения размеров объектов с помощью манипулятора мышь и нажмите <Enter>');
61. for i=1:N
62. dist(i) = getDistance(hlines(i));
63. dist(i) = dist(i) * sc;
64. end;
65. elseif misure == 2
66. dist = input('Задайте размеры объектов в микрометрах в виде вектора (в квадратных скобках): ');
67. m = size(dist);
68. N = max(m(1), m(2));
69. elseif misure == 3
70. s1 = 'Введите имя файла (в одинарных кавычках): ';
71. fnameIn = input(s1);
72. [fid] = fopen(fnameIn,'r');
73. dist = fscanf(fid, '%g', [1 inf]);
74. fclose(fid);
75. m = size(dist);
76. N = max(m(1), m(2));
77. end;
78. if misure == 1 || misure == 2

79. s1 = 'Введите <1> - для сохранения размеров объектов в текстовом файле\n';
80. s2 = 'Введите <2> - для продолжения работы без сохранения\n';
81. save = input([s1, s2]);
82. if save ~= 1 && save ~= 2
83. ok = false;
84. while ok == false
    a. save = input([s1, s2]);
    b. if save == 1 || save == 2
        i. ok = true;
    c. end;
85. end;
86. end;
87. if save == 1
88. s1 = 'Введите имя файла (в одинарных кавычках): ';
89. fnameOut = input(s1);
90. s1 = 'Введите <1> - для сохранения данных в виде строки\n';
91. s2 = 'Введите <2> - для сохранения данных в виде столбца\n';
92. vec = input([s1, s2]);
93. if vec ~= 1 && vec ~= 2
    a. ok = false;
    b. while ok == false
        i. vec = input([s1, s2]);
        ii. if vec == 1 || vec == 2
        iii. ok = true;
        iv. end;
    c. end;
94. end;
95. if vec == 1
    a. [fid, message] = fopen(fnameOut,'w');
    b. fprintf(fid,'%15.6f', dist');
    c. fclose(fid);
96. elseif vec == 2
    a. [fid, message] = fopen(fnameOut,'w');
    b. fprintf(fid,'%15.6f\n', dist');
    c. fclose(fid);
97. end;
98. end;
99. end;
100. omin = min(dist);

```
101.omax = max(dist);
102.omean = mean(dist);
103.ostd = std(dist, 1);
104.cvar = ostd / omean * 100;
105.h = (omax - omin) / N;
106.m1 = abs(omean - omin);
107.m2 = abs(omax - omean);
108.amax = max(m1, m2);
109.nbins = input('Введите число интервалов (бинов) для построения
    гистограммы\n(при введении 0 число бинов определяется
    автоматически): ');
110.if nbins == 0
111.[F,x]=ecdf(dist);
112.nbins=length(x)-1;
113.end;
114.s1 = sprintf('Введите <1> - для построения нормальной кривой по
    результатам измерений\n');
115.s2 = sprintf('Введите <2> - для отображения гистограммы без
    нормальной кривой\n');
116.norm = input([s1, s2]);
117.if norm ~= 1 && norm ~= 2
118.ok = false;
119.while ok == false
120.norm = input([s1, s2]);
121.if norm == 1 || norm == 2
        a.  ok = true;
122.end;
123.end;
124.end;
125.figure;
126.bins = hist(dist,nbins);
127.hist(dist,nbins); hold on;
128.max_bins = max(bins);
129.kurt = kurtosis(dist) - 3;
130.skew = skewness(dist, 1);
131.if norm == 1
132.x=(omean - amax):(h/100):(omean + amax);
133.gauss = gaussmf(x,[ostd omean]) * max_bins;
134.plot(x,gauss,'red');
135.end;
```

```
136.xlabel('Размер частицы, мкм');
137.ylabel('Частота');
138.s1 = sprintf('Статистические характеристики проведенных
    измерений:\n');
139.s2 = sprintf('1. Минимальный размер      = %.6f мкм\n', omin);
140.s3 = sprintf('2. Максимальный размер     = %.6f мкм\n', omax);
141.s4 = sprintf('3. Средний размер          = %.6f мкм\n', omean);
142.s5 = sprintf('4. Стандартное отклонение  = %.6f мкм\n', ostd);
143.s6 = sprintf('5. Коэффициент вариации    = %.6f %%\n', cvar);
144.s7 = sprintf('6. Асимметрия              = %.6f\n', skew);
145.s8 = sprintf('7. Эксцесс                 = %.6f\n', kurt);
146.disp([s1, s2, s3, s4, s5, s6, s7, s8]);
```

СОДЕРЖАНИЕ

Навчальне видання
Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи за темою
"**Определение статистических характеристик частиц по микрофотографиям**"
по курсу "Електронна мікроскопія та електронографія"
для студентів фізико-технічного, механіко-технологічного та інженерно-фізичного факультетів

Російською мовою

Укладачі **Багмут** Олександр Григорович
Багмут Іван Олександрович
Ніколайчук Григорій Павлович
Жучков Василь Анатолійович

Роботу до видання рекомендувала К.Т. Лемешевська

Відповідальний за випуск О.Г. Багмут

В авторській редакції

План 2011 р., поз. 180

Підп. до друку 07.10.2011 р. Формат 60x84 1/16. Папір офісний.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 1,8 . Наклад 50 прим.
Зам. № Ціна договірна

Видавничий центр НТУ "ХПІ"
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня НТУ "ХПИ". 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21