DOI 10.31483/r-149841

Загревский Валерий Иннокентьевич

Лавшук Дмитрий Алексеевич

Клочков Андрей Владимирович

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ДАННЫХ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА НА ОТКЛОНЕНИЕ ОТ НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В СРЕДЕ SCILAB

Аннотация*: в главе рассматривается математический аппарат статистического анализа, используемый в педагогических исследованиях по физической культуре и спорту. Приводится программное решение для оценки отклонения эмпирического распределения данных эксперимента от нормального распределения на базе программной среды Scilab. Рассматриваемая технология реализует ГОСТ Р ИСО 5479–2002 проверки отклонения распределения вероятностей от нормального распределения на основе графического метода и с использованием критериев моментов: асимметрии и эксцесса. Приведена реализация результатов вычислительных экспериментов, решающих поставленную цель исследования.*

Ключевые слова*: педагогический эксперимент, статистическая обработка, нормальное распределение, критерии проверки на нормальность распределения.*

Abstract*: the chapter discusses the mathematical apparatus of statistical analysis used in pedagogical research on physical culture and sports. A software solution for estimating the deviation of the empirical distribution of experimental data from the normal distribution based on the Scilab software package is presented. The technology in question implements the GOST R ISO 5479–2002 for checking the deviation of the probability distribution from the normal distribution based on the graphical method and using the criteria of moments: skewness and kurtosis. The paper presents the implementation of the results of computational experiments that solve the research goal.*

***Keywords**: pedagogical experiment, statistical processing, normal distribution, criteria for checking the normality of the distribution.*

Введение. Несмотря на разнообразие сфер применения статистики в психолого-педагогических исследованиях, имеются общие методы статистической работы [2]. Важное значение для корректного решения вопроса оценки эффективности предлагаемых авторских модификаций в методике обучения имеют статистические методы анализа и контроля эмпирических данных выполненного эксперимента. Конечные результаты педагогического эксперимента являются критерием эффективности предлагаемой методики обучения, а количественная степень эффективности рассматривается с позиций методов математической статистики. Особое внимание уделяется параметрам выборочного метода, обоснованию вероятностного характера статистического вывода и проверке статистических гипотез.

В многочисленной статистической литературе по психолого-педагогическим исследованиям рекомендуется при обработке массива экспериментальных данных предварительно проводить проверку отклонения распределения вероятностей от нормального распределения [2, 5, 6]. В этой связи в Российской Федерации введен государственный стандарт (ГОСТ Р ИСО 5479–2002), который [1, с. 2]: «устанавливает методы и критерии для проверки отклонения распределения вероятностей от нормального распределения при независимых наблюдениях».

Существует большое количество критериев, определяющих отклонение распределения выборки от закона нормального распределения. Так, в частности, в работе приводится список специальных критериев, ориентированных по функциональному применению [5, с. 586]: «... на проверку отклонения выборки от нормального закона.». Список включает.

1. Критерий Симметрии.
2. Критерий Эксцесса.
3. Критерий Эппса-Паули.
4. Критерий Шапиро-Уилка.

5. Критерий Шапиро-Уилка Модиф.

6. Критерий ДАгустино Симметрии Z1.

7. Критерий ДАгустино Эксцесса.

8. Крит. норм-ти Хегаси-Грина T1.

9. Крит. норм-ти Хегаси-Грина T2.

10. Крит. норм-ти Гири.

11. Крит. норм-ти Дэвида-Хартли-Пирсона.

12. Крит. норм-ти Шпигельхальтера.

Использовать компьютерные средства реализации методов и критериев проверки, рекомендуемых ГОСТ Р ИСО 5479–2002 для статистической обработки результатов эксперимента, можно или по лицензионным или по свободно распространяемым компьютерным пакетам математических расчетов.

Избранный для применения пакет должен обладать свойствами полностью устраивающими пользователя: организация интерактивного взаимодействия с программной системой, графическая система поддержки ввода исходных данных и файловая структура их хранения, визуализация результатов вычислений, доступность в корректировке программного кода среды вычислений. Это – основные из требований, предъявляемых пользователем к сервисной системе программного продукта.

В полной мере отвечает вышеотмеченным требованиям программная среда SciLAB – свободно распространяемый пакет для математических расчетов. SciLAB является аналогом MatLAB и ориентирован на решение широкого круга задач в области математического моделирования сложных систем [4].

Скачать пакет можно с сайта http://www.scilab.org/. Документацию на английском языке, поясняющим использование функций SciLAB, можно найти на сайте http://www.scilab.org/resources/documentation. При работе в программной среде SciLAB ее справочная система вызывается стандартным образом (F1). Установку SciLAB можно найти в [3].

Цель и задачи исследования.

Цель исследования – разработать программный инструментарий, позволяющий автоматизировать процедуру оценки результатов педагогического эксперимента на отклонение от нормального распределения в среде Scilab.

Задачи исследования.

1. Создать программные скрипты в среде Scilab для реализации графического метода и методов моментов проверки отклонения эмпирических данных от нормального распределения.

2. В вычислительных экспериментах проверить корректность функционирования разработанного программного обеспечения.

Методы исследования. Использовались общепринятые методы описательной статистики, реализуемые в функциях пакета Scilab, методы визуализации эмпирических данных, методы статистического моделирования.

Результаты исследования.

Как установить принадлежность выборки определенному распределению? В материалах ГОСТ Р ИСО 5479–2002 указывается на то, что [1, с. 2]: «существуют различные критерии на отклонение от нормальности». В стандарте установлены критерии и методы решения задачи на отклонение от нормальности.

1. Графические методы.

2. Моментные критерии.

3. Регрессионные критерии.

4. Критерии характеристических функций.

В рамках вышерассмотренных требований построим для первых двух критериев программный код, решающий задачу визуальной и численной оценки задачи отклонения функции от нормальности в среде Scilab. Первоначально рассмотрим общую характеристику гауссовского случайного процесса, характеризующегося нормальным распределением.

Функция плотности вероятности гауссовского случайного процесса (нормальное распределение). Исследуемые процессы могут относиться к области с нормальным распределением, однако значения их средней арифметической и дисперсии во всех случаях различные, что непосредственно влияет на графическое представление плотности вероятности анализируемых процессов. Визуальное представление о динамике плотности вероятности случайного процесса может дать его графическая интерпретация, реализованная в программной среде Scilab с использованием инструментария, изложенного в [7] в виде скрипт-программы (SCRIPT1). Программа ориентирована для использования в версиях Scilab 5.1.1 и 6.0.2.

```
// (SCRIPT1)
// Функция плотности вероятности гауссовского случайного процесса.
// Нормальное распределение: m – среднее значение, D – дисперсия, x – случайная величина с нормальным законом распределения, w – вероятность реализации события (плотность), XW – имя функции.
clear all
sredstvo = x_choose(['1 – Scilab 5.1.1'; '2 – Scilab 6.0.2 '; 'ВЫХОД'], [' Версия Scilab '; ' Щелкните 2 раза мышкой по опции выбранного варианта ']);
function[w]=XW(m, D, x)
w=(1/sqrt(2*%pi.*D)).*exp(-(x-m).^2./(2*D)); // алгоритм
endfunction
// Построение графиков функции плотности вероятности
if sredstvo<>3 then
x=-4 : 0.01 : 4;
m1=0; m2=2; m3=2;
D1=1; D2=0.5; D3=3;
w1=XW(m1, D1, x);
w2=XW(m2, D2, x);
w3=XW(m3, D3, x);
// Графическая иллюстрация
plot(x, w1, '-', 'LineWidth', 3, 'Color', [1 0 0]);
plot(x, w2, '--', 'LineWidth', 3, 'Color', [0 1 0]);
plot(x, w3, '-.', 'LineWidth', 3, 'Color', [ 0 0 1]);
```

```
xgrid()
legend('w1(x)', 'w2(x)', 'w3(x)');
g=get('current_axes');
g.title.font_size = 4;
g.title.text= 'Функция плотности вероятности гауссовского случайного процесса';
xlabel(' Случайная величина, x', 'FontSize', 4);
ylabel(' Вероятность, w1(x), w2(x), w3(x) ', 'FontSize', 4, 'Rotation', 90);
xset(«font size», 3) // Устанавливает размер шрифта – для тиков.
end
if sredstvo==3 | sredstvo==2 | sredstvo==1 then; disp(' Выход из программы '); end
```

Результат работы программы иллюстрируется рисунком (рис. 1).

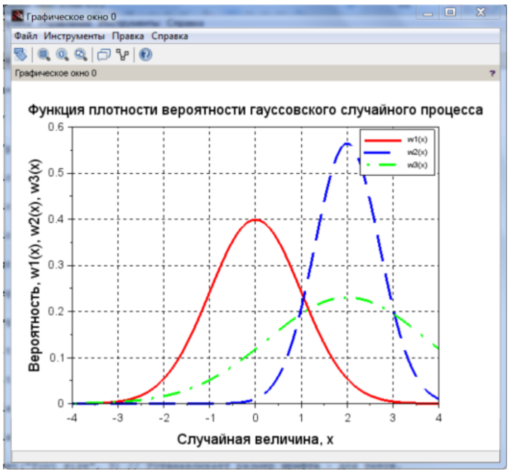


Рис. 1. Влияние статистических показателей функции
на плотность вероятности

Визуально графики отличаются различным расположением максимума функций w1, w2, w3 в системе координат Oxy и различной крутизной функций (рис. 1), что объясняется неравноценными параметрами заданной средней арифметической (m1, m2, m3) и дисперсии (D1, D2, D3) в алгоритме вычислений.

Вышеотмеченная неравноценность расположения максимума функций, их крутизна и наличие симметрии оцениваются методами математической статистики, в которых в качестве численных критериальных оценок приближения функции к нормальному распределению принимаются параметры асимметрии и эксцесса, а в качестве визуальных – степень приближения кумулятивной функции случайного процесса к прямой линии (графический метод).

В специальной литературе отмечается, что [6, с. 16]: «Островершинные распределения имеют эксцесс больше трех, средневершинные, в том числе нормальные – приблизительно равный трем, плосковершинные – меньше трех.». На основании этого строится математический аппарат оценки отклонения эмпирического распределения данных эксперимента от нормального распределения.

В этом же источнике указывается, что [6, с. 9]: «Относительная частота и вероятность случайного события – безразмерные величины, которые могут принимать значения от нуля до единицы». В этой связи графики случайных процессов могут не иметь обозначения размерности, а их достаточно пометить как «X» – числовая ось Ox и «Y» – числовая ось Oy.

Рассмотрим последовательно результаты по автоматизации процедуры оценки результатов педагогического эксперимента на отклонение от нормального распределения в среде Scilab.

Графический метод заключается в том, что на бумаге для нормальных вероятностных графиков строят кумулятивную функцию распределения наблюденных (экспериментальных) данных.

Особенность вертикальной оси декартовой системы координат – нелинейная шкала значений кумулятивной относительной частоты, соответствующая площади под стандартной функцией нормального распределения. Размерность шкалы может быть выражена в квартилях, квантилях, процентилях.

Горизонтальная ось имеет линейную шкалу упорядоченных по возрастанию значений экспериментальных данных x.

В [1, с. 5] приводится пример применения графической процедуры по эмпирическим данным для x, приведенным в таблице (табл. 1).

Таблица 1

Эмпирические данные тестового примера в [1] для серии испытаний (n) на усталость вращающегося соединения из 15 точек (k) независимых наблюдений (x_k) и вычисленной вероятности (P_k)

N	k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	x_k	0,200	0,330	0,445	0,490	0,780	0,920	0,950	0,970	1,040	1,710	2,220	2,275	3,650	7,000	8,800
2	P_k	0,041	0,107	0,172	0,238	0,303	0,369	0,343	0,500	0,566	0,631	0,697	0,762	0,858	0,893	0,899
3	p_k	*0,041*	*0,107*	*0,172*	*0,238*	*0,303*	*0,369*	*0,343*	*0,500*	*0,566*	*0,631*	*0,697*	*0,762*	*0,858*	*0,893*	*0,899*

Значения вероятности (P_k) для точек x_k вычисляют на основе алгоритма, приведенного в [1, с. 5]

$$P_k=(k\text{-}3/8)/(n+1/4) \qquad (1)$$

Составим скрипт-программу (SCRIPT2) в программной среде Scilab, реализующей решение задачи графической процедуры расположения экспериментальных данных (x_k) и нанесения значений вероятности P_k на бумагу для нормальных вероятностных графиков.

// SCRIPT2

clear;

rezalt = x_choose(['1 – Scilab 5.1.1.';'2 – Scilab 6.0.2.'],[' Работа в программной среде:'; 'Щелкните мышкой нужный вариант']);

model = x_choose(['1 – test ГОСТ '; '2 – Расчетная модель '], [' Система функционирует в режиме:'; 'Щелкните мышкой нужный вариант']);

if model==1 then; // ГОСТ

// test – Значения экспериментальных данных по ГОСТ (n=15)

x=[0.200 0.330 0.445 0.490 0.780 0.920 0.950 0.970 1.040 1.710 2.220 2.275 3.650 7.00 8.800];

n=length(x); // *n=15 – кол-во экспериментальных данных*

n1=12; *// кол-во вертикальных линий*

end;

if model==2 then; *// ВВОД*

```
x=[0.200 0.330 0.445 0.490 0.780 0.920 0.950 0.970 1.040 1.710 2.220 2.275 3.650 7.00 8.800];
n=length(x);  // кол-во введенных экспериментальных данных
n1=round(max(x))  // кол-во вертикальных линий
if n1<max(x) then; n1=n1+1; end
end;
x1=0:0.1: n1;
ww = 0: n1; // Формируем числовой вектор в соответствии с кол-вом n1
w = string(ww); // Преобразование числового вектора в строковый
disp(w);
// Пиксели и соответствующие им значения вероятности
y1=[-207, -206, -182, -170, -158, -142, -127, -112, -89, – 69, – 45, -27, -12, 0, 12, 27, 45, 69, 89, 112, 127, 142, 158, 170, 182, 206, 207];
y2=y1+207;
for i=1: length(y1); y=y2(i).*ones(x1);
plot(x1, y, '--b'); // горизонтальные линии
end;
for i=1: n1;
x1=i; y=414;
plot2d3(x1, y, nax=[4, n1+1, 0, 0]); // вертикальные линии + удаляем значения по оси Y
end;
a=gca(); // получаем дескриптор
a. data_bounds = [0, 0; n1, 414]; // если записать вместо n1 – 0, то n1 автоматически становится равным мах x – экспериментальным данным
a.x_ticks = tlist(['ticks', 'locations', 'labels'], [0: n1], [w]);
a.font_size = 3; a.font_style = 4;
for k=1:n;
p(k)=(k-3/8)/(n+1/4); // вероятность
p1(k)=p(k)*100; // вероятность в процентилях
```

end;

for i=1: 26; fi1(i)=544; fi4(i)=12; end;

fi2=[0, 56, 73, 84, 94, 106, 117, 128, 145, 161, 178, 193, 203, 213, 223, 234, 248, 265, 281, 298, 309, 321, 332, 342, 354, 369, 414];

fi3=[20, 22, 22, 16, 16, 16, 7, 7, 14, 14, 14, 14, 14, 14, 14, 14, 14, 14, 14, 14, 14, 22, 22, 22, 28, 28];

fi5=[0, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95, 98, 99, 99.5, 99.8, 99.9, 99.95, 99.99, 100]; *// вероятность в процентах*

for i=2: 26;

uicontrol('Style','text','Position',[fi1(i),fi2(i),fi3(i),fi4(i)],'String', string(fi5(i)));

end;

fi6=' (test ГОСТ) ';

uicontrol('Style', 'text', 'Position', [260, 440, 60, 14], 'String', string(fi6));

v = []; *// создаем пустой вектор v*

for k=1: n;

xx=x(k); yy=p1(k);

for i=1: 26;

if yy>=fi5(i) & yy< fi5(i+1) then;

d=1/(fi5(i+1)-fi5(i)); d=d*(p1(k)-fi5(i));

Dd=(y2(i+1)-y2(i))*d; y(k)=y2(i)+ Dd;

y=y(k); v($+1)=y; plot(xx, y, '*r'); *// звездочка красного цвета*

break;

end;

end;

end;

// Расчет коэффициентов регресии

y=v'; [a, b, sig]=reglin(x, y); c=a; a(1)=b; a(2)=c;

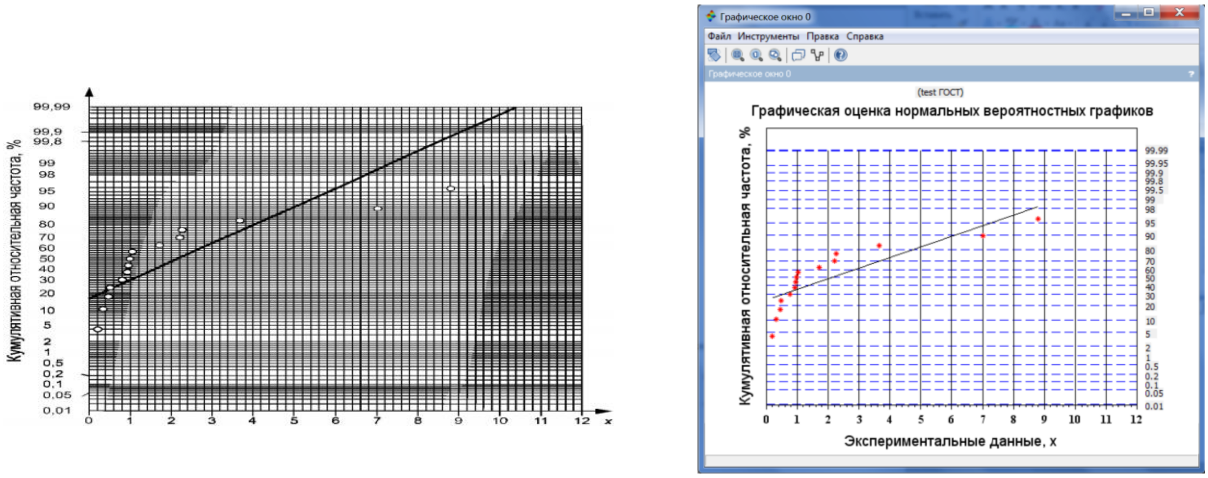
a

// Построение графика

t=min(x): 0.1: max(x); Yt=a(1)+a(2)*t; plot2d(t, Yt);

```
g=get('current_axes'); g.title.font_size = 4;
g.title.text= 'Графическая оценка нормальных вероятностных графиков ';
xlabel(' Экспериментальные данные, x', 'FontSize', 4);
ylabel('Кумулятивная относительная частота, %', 'FontSize', 4, 'Rotation', 90);
```

На рисунке (рис. 2) приведены графики решения задачи, изложенные в стандарте и воспроизведенные с помощью разработанной скрипт-программы (SCRIPT2). Совпадение цифровых значений графиков свидетельствует о корректности функционирования программы SCRIPT2.

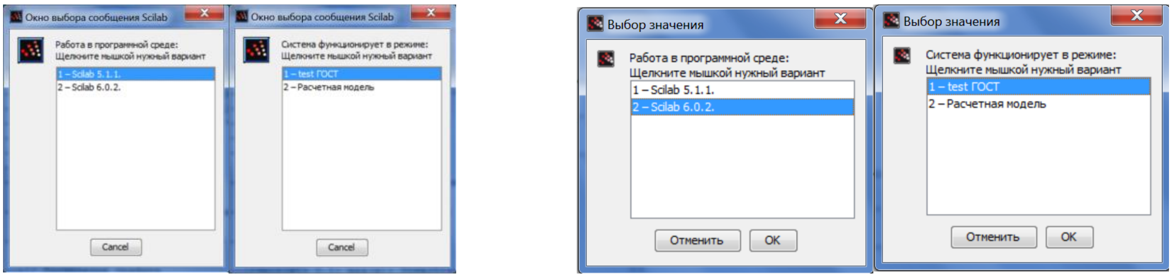


А – Визуализация решения в стандарте Б – Визуализация решения в Scilab

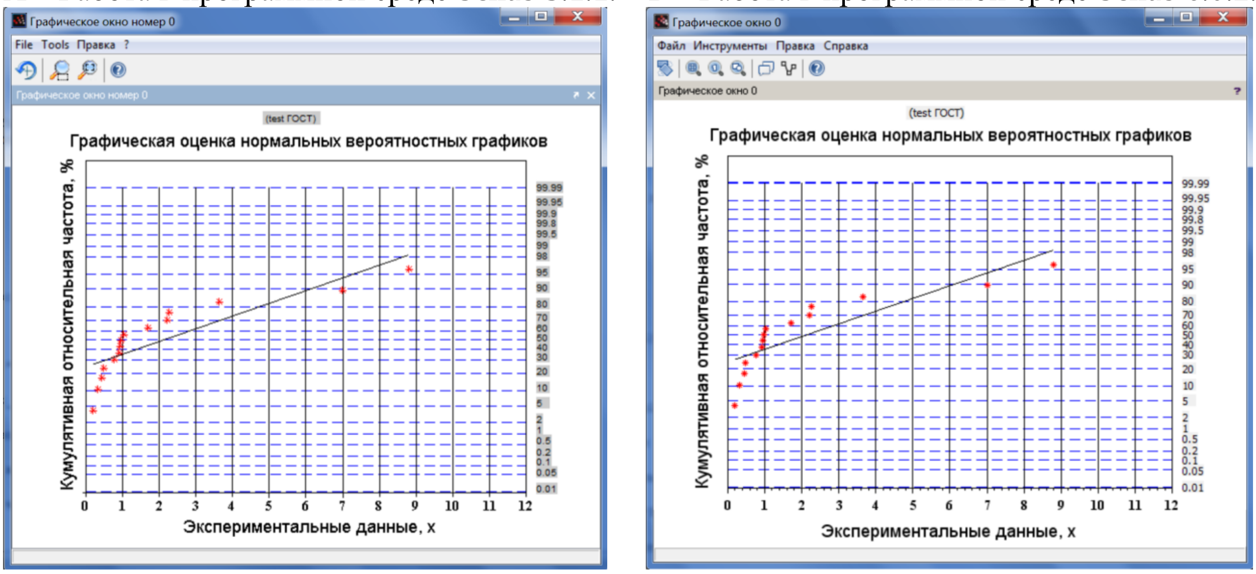
Рис. 2. Графическое решение в стандарте (А) и в Scilab (Б)

Функционирование программы Script1 построено на базе программных сред: Scilab 5.1.1 и Scilab 6.0.2. Выбор программной среды осуществляется непосредственно сразу после запуска программы в диалоговом режиме. Для Scilab 5.1.1 выбор реализуется двухкратным нажатием левой кнопки (ЛК) мыши по избранной опции, высвечиваемой в окошке выбора (рис. 3, А). В Scilab 6.0.2 выбор избранной опции реализуется аналогичным образом или выделением опции и нажатием ЛК мыши на кнопку «Ok» (рис. 3, Б).

Еще одним компонентом выбора является выбор решаемой задачи: выполнить прогон решения тестовой задачи, в соответствии с данными изложенными в стандарте, или решить собственную задачу.



А – Работа в программной среде Scilab 5.1.1. Б – Работа в программной среде Scilab 6.0.2.



С – Конечный результат в Scilab 5.1.1. Д – Конечный результат в Scilab 6.0.2.

Рис. 2. Графическое решение в Scilab 5.1.1 (А, С) и в Scilab 6.0.2 (Б, Д)

Решение тестовой задачи базируется на исходных данных, представленных в таблице (табл. 1, строка 2 – параметры x_k). Вычисленными показателями являются числовые значения вероятности (p_k) для точек x_k (табл. 1, строка 3), представленные на графике (рис. 3, С, Д) в процентилях и вычисленные по алгоритму (2). Полное совпадение со стандартом (P_k=p_k). Выводятся на экран компьютера в конце вычислений.

Визуальное изображение бумаги для нормальных вероятностных графиков выводится на экран компьютера (рис. 2, Б) и строится точечный график (звездочки красного цвета – рис. 3, С, Д) процентного расположения (вертикальная ось) экспериментальных данных (горизонтальная ось).

Для экспериментального массива точек по уравнениям регрессии строится прямая и относительно ее анализируется расположение экспериментальных точек. Числовыми значениями коэффициентов (a_1=a(1), a_2=a(2)) уравнения прямой для тестовой задачи являются: a_1=170,44; a_2=17,26. Коэффициенты выводятся на экран компьютера в конце вычислений.

Если экспериментальные точки не разбросаны далеко от прямой, а располагаются компактно от нее, то считается, что наблюденные данные принадлежат нормальному распределению. Из графика (рис. 3, С, Д) следует, что точки не расположены на прямой линии, поэтому рассматриваемую совокупность точек нельзя отнести к нормальному распределению. Более точную характеристику распределения можно получить по моментным критериям.

Моментные критерии образуют 2 группы направленных и многосторонних критериев. Рассматриваемая ниже группа направленных критериев применима, в первом случае, при $n \geq 8$, когда рассматривается критерий на асимметрию или кривизну, и, во втором случае, при $20 \leq n \leq 1000$, когда применяется совместный (многонаправленный) критерий. Независимо от выбора критерия практицизм их применения основывается [1, с. 8]: «на фактах, что в случае нормальной случайной переменной X со средним $\mu = E\,(X)$:

– центральный момент третьего порядка равен $\mu_3 = E\,[(X - \mu)^3] = 0$; (2)

– нормированный центральный момент третьего порядка (асимметрия совокупности) равен

$$\sqrt{\beta_1} = E\left[\ \frac{X-\mu}{\sigma}^{\ 3}\ \right] = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}} = \frac{\mu_3}{\sigma_3} = 0. \qquad (3)$$

Нормированный центральный момент четвертого порядка (кривизна совокупности) равен

$$\beta_2 = \frac{\mu 4}{\mu_2^2} = 3, \qquad (4)$$

где $\mu 2$ = E [(X-m)2] – момент второго порядка; (5)

$\mu 4$ = E [(X-m)4] – момент четвертого порядка; (6)

$\sqrt{\beta_1}$ – асимметрия совокупности, которая может быть большей, равной или меньшей чем нуль;

β_2 – кривизна совокупности (всегда положительная);

(β_2 – 3) – кривизна совокупности».

Приняв уравнения (2–6) за исходные алгоритмы вычислений, была составлена скрипт-программа (SCRIPT3) расчета центрального момента третьего порядка, нормированного центрального момента третьего порядка (асимметрия), нормированного центрального момента четвертого порядка (кривизна).

// SCRIPT3 – Асимметрия и Эксцесс

clear all; result=1; iter_new=0; aa='0,05'

revis=0

hFig=figure('position', [100,100,400, 200], 'figure_name', 'Уровень значимости a='+ string(aa));

while result==1; iter_new=iter_new+1

if iter_new>1 then clc; disp(' Продолжаем работу с другими данными '); end

sredstvo = x_choose(['1 – Асимметрия (Асим)'; '2 – Эксцесс (Эксц) '; '3 – Совместно (Асим+Эксц)'; 'ВЫХОД'], [' Гипотеза на нормальность распределения – используемый критерий: '; ' Щелкните 2 раза мышкой по опции выбранного варианта ']);

if sredstvo ==1 then; CicleStart=1; CicleFinish=1; end;

if sredstvo ==2 then; CicleStart=2; CicleFinish=2; end;

if sredstvo ==3 then; CicleStart=1; CicleFinish=2; end;

if sredstvo ==4 then; result=0; end;

if sredstvo>0 & sredstvo<4 then; *// Задача решается одним из 3-х средств, включая ВЫХОД*

model = x_choose(['1 – test ГОСТ (асимметрия) '; '2 – test ГОСТ (эксцесс) '; '3 – Своя задача '; 'ВЫХОД'], [' Гипотеза на нормальность распределения – используется критерий эксцесса: '; ' Щелкните 2 раза мышкой по опции выбранного варианта ']);

if model ==4 then result=0; end *// Выход*

if model>0 & model<4 then *// Решаем задачу ГОСТ или СВОИ данные*

rezalt = x_choose(['a=0.05'; 'a=0.01'; 'ВЫХОД'], [' Применить критерий на уровне значимости: '; ' Щелкните 2 раза мышкой по опции выбранного варианта ']);

```
if rezalt==1 then a=0.05; aa='0,05'; end // Уровень значимости – 0,05
if rezalt==2 then a=0.01; aa='0,01'; end // Уровень значимости – 0,01
if rezalt==3 then result=0; end // Выход
test1 = [1.25 1.35 1.40 1.50 1.55 1.60 1.75 1.75 1.85 1.95 2.05 2.10 2.15 2.15 2.15 2.20 2.25 2.35 2.40 2.55 2.60 2.60 2.70 2.75 2.75 2.80 2.95 2.95 3.00 3.05 3.10 3.15 3.15 3.20 3.30 3.45 3.50 3.50 3.80 3.90 4.00 4.00 4.05 4.05 4.10 4.20 4.45 4.50 4.70 5.10];
test2 = [ 9.5 5.1 5.7 16.6 12.9 14.4 5.8 10.8 20.9 13.3 10.2 9.2 22.5 21.5 8.5 4.2 12.9 5.5 9.1 3.3 17.1 6.3 8.6 11.9 1.4 4.4 3.1 7.4 12.9 12.9 4.5 12.9 6.9 26.6 16.3 8.5 11.9 7.9 7.5 15.6 9.9 11.4 3.6 5.4 11.4 7.7 5.9 7.3 32.0 6.0];
test3 = [16 19 19 19 20 20 21 21 21 23 23 23 24 24 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 26 26 26 26 27 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 34 34 34 34 35 35 35 35 36 36 36 37 37 37 39];
if a==0.05 then; pas=[3.70, 3.86, 3.95, 4.05, 4.13, 4.17, 4.16, 4.11, 4.10, 4.05, 4.00, 3.99, 3.87, 3.77, 3.71, 3.65, 3.57, 3.52, 3.47, 3.44, 3.41, 3.39, 3.37, 3.35, 3.34, 3.33, 3.31, 3.30, 3.29, 3.28, 3.28, 3.27, 3.26]; end // асимметрия
if a==0.01 then; pas=[4.53, 4.82, 5.00, 5.20, 5.30, 5.36, 5.30, 5.21, 5.13, 5.04, 4.94, 4.88, 4.59, 4.39, 4.24, 4.13, 3.98, 3.87, 3.79, 3.72, 3.67, 3.63, 3.60, 3.57, 3.54, 3.52, 3.50, 3.48, 3.46, 3.45, 3.43, 3.42, 3.41]; end // асимметрия
if a==0.05 then; revis=3; pex=[3.70, 3.86, 3.95, 4.05, 4.13, 4.17, 4.16, 4.11, 4.10, 4.05, 4.00, 3.99, 3.87, 3.77, 3.71, 3.65, 3.57, 3.52, 3.47, 3.44, 3.41, 3.39, 3.37, 3.35, 3.34, 3.33, 3.31, 3.30, 3.29, 3.28, 3.28, 3.27, 3.26]; end // эксцесс
if a==0.01 then; pex=[4.53, 4.82, 5.00, 5.20, 5.30, 5.36, 5.30, 5.21, 5.13, 5.04, 4.94, 4.88, 4.59, 4.39, 4.24, 4.13, 3.98, 3.87, 3.79, 3.72, 3.67, 3.63, 3.60, 3.57, 3.54, 3.52, 3.50, 3.48, 3.46, 3.45, 3.43, 3.42, 3.41]; end // эксцесс
for i=CicleStart: CicleFinish; sredstvo=i;
if sredstvo == 1 then;
nx=[8 9 10 12 15 20 25 30 35 40 45 50 60 70 80 90 100 125 175 200 250 300 350 400 450 500 550 600 650 700 750 800 850 900 950 1000]; // асиммет.
```

```
end;
if sredstvo == 2 then;
nx=[8 9 10 12 15 20 25 30 35 40 45 50 75 100 125 150 200 250 300 350 400 450 500 550 600 650 700 750 800 850 900 950 1000]; // эксцесс
end;
if model==1 then; x = test1; end // ГОСТ для асимметрии
if model==2 then; x = test2; end // ГОСТ для эксцесса
if model==3 then; x = test3; end // ВВОД свои данные
// Асимметрия Эксцесс p-квантили
// ГОСТ ГОСТ ГОСТ
m1 = mean(x)   // момент 1-го порядка = 2,873 10,542
m2 = cmoment(x, 2) // момент 2-го порядка = 0,938 37,9964
m3 = cmoment(x, 3) // момент 3-го порядка = 0,254 308,1059
m4 = cmoment(x, 4) // момент 4-го порядка = 1.942 7098,04
b1 = m3/m2^(3/2) // асимметрия 0,280   (n=50) 0,53
b2=m4/m2^2 // кривизна  (n=50)  4.916  3,99
N=length(x);
for ii=2: length(nx); if N>=nx(ii-1) & N<=nx(ii) then;
if sredstvo==1 then; p_tabl = pas(ii); end
if sredstvo==2 | sredstvo==3 then; p_tabl = pex(ii); end
break; end; end;
if sredstvo ==1 then
znach='Уровень значимости a ='; as='Значение асимметрии b1 =';
aseks=as; b0=b1
if b1<p_tabl then;
gipoteza='Гипотеза о нормальности распределения принимается: b1<p';
p_kvant=' лежит ниже табл. p-квантили: p =';
else
gipoteza='Гипотеза о нормальности распределения не принимается: b1>p';
p_kvant=' лежит выше табл. p-квантили: p =';
```

```
end
disp([znach, string(aa)]); disp(gipoteza); disp([as, string(b1),..
p_kvant, string(p_tabl)]);
end // sredstvo ==1
if sredstvo ==2 then
znach='Уровень значимости a ='; eks='Значение эксцесса b2 =';
aseks=eks; b0=b2;
if b2<p_tabl then;
gipoteza='Гипотеза о нормальности распределения принимается: b2<p';
p_kvant=' лежит ниже табл. p-квантили: p =';
else
gipoteza='Гипотеза о нормальности распределения не принимается: b2>p';
p_kvant=' лежит выше табл. p-квантили: p =';
end
disp([znach, string(aa)]); disp(gipoteza); disp([eks, string(b2), p_kvant, string(p_tabl)]);
end // sredstvo ==2
n=length(x); // кол-во экспериментальных данных
k=1+3.32*log10(n); // кол-во интервалов разбиения
ki=round(k); if ki<k then ki=ki+1; end;
hFig=figure('position', [100,100,400, 200], 'figure_name', 'Уровень значимости a='+string(aa));
histplot(ki, x, style=5, polygon=%t) // гистограмма и полигон
xset(«font size», 3) // Устанавливает размер шрифта – для тиков.
a=gca() //получаем дескриптор (handle) осей (axes)
if sredstvo ==1 then
gca().title.text=«Проверка на нормальность распределения по критерию – асимметрия»;
else
```

gca().title.text=«Проверка на нормальность распределения по критерию – эксцесс»;

end

gca().title.font_foreground = 2; gca().title.font_size = 3;

gca().x_label.text = «Экспериментальные данные, x»;

gca().y_label.text = «Частота вхождений данных, бин»;

gca().x_label.font_style = 8; gca().y_label.font_style = 4;

gca().x_label.font_size = 3; gca().y_label.font_size = 4;

x_loc_ticks = a. x_ticks.labels; num_x_ticks = strtod(x_loc_ticks);

dx_ticks = num_x_ticks(2)-num_x_ticks(1); min_num_x_ticks=min(num_x_ticks);

max_num_x_ticks=max(num_x_ticks)

[b,xc,yc]=*xclick*(); *// клик мышкой выполнять правее от оси Oy и на 1–2 мм выше верхнего тика*

xrect(xc,yc,0,0); r=*gce*(); *// рисуем прямоугольник; получаем дескриптор прямоугольника*

max_num_y_ticks=yc; z=[gipoteza; aseks+ string(b0)+p_kvant+string(p_tabl)];

xstring(min_num_x_ticks+0.2*dx_ticks, yc, z);

disp(['Значение средней арифметической равно m1 =', string(m1)]);

disp(['Значение момента второго порядка равно m2 =', string(m2)]);

disp(['Значение момента третьего порядка равно m3 =', string(m3)]);

disp(['Значение момента четвертого порядка равно m4 =', string(m4)]);

if sredstvo==1 then; disp(['Значение асимметрии равно b1 =', string(b1)]); end;

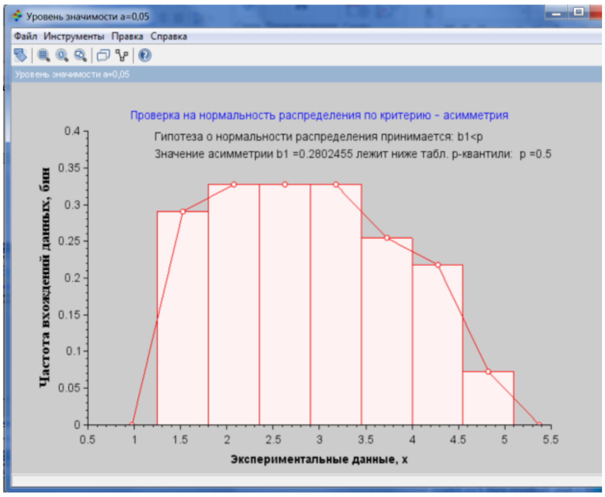
if sredstvo==2 then; disp(['Значение эксцесса равно b2 =', string(b2)]); end;

end

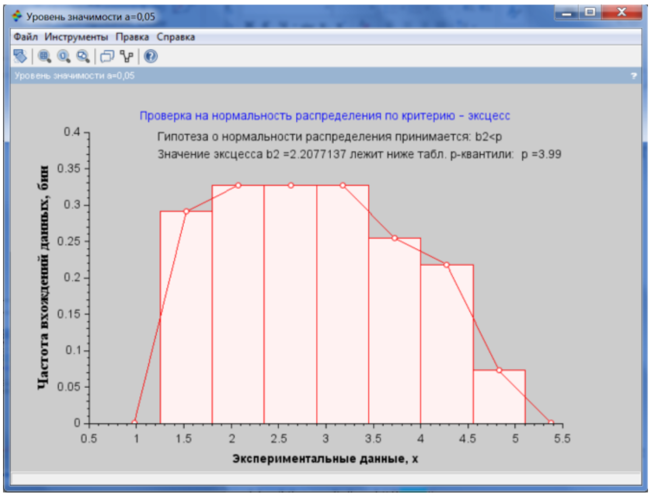
disp([' rezalt =' + string(rezalt)]); end; *// 1 – 0.05; 2 – 0.01;*

disp([' model =' + string(model)]); end; *// 1,2 – ГОСТ; 3 – СВОИ данные*

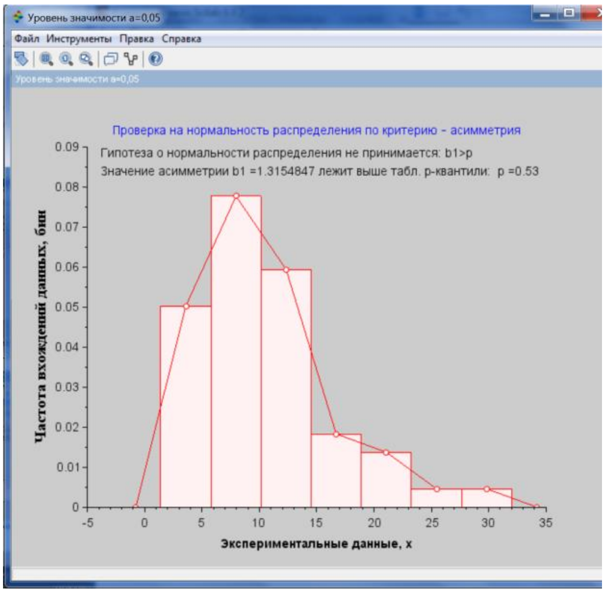
disp([' sredstvo =' + string(sredstvo)]); end; *// 1 – асимметрия; 2 – эксцесс*



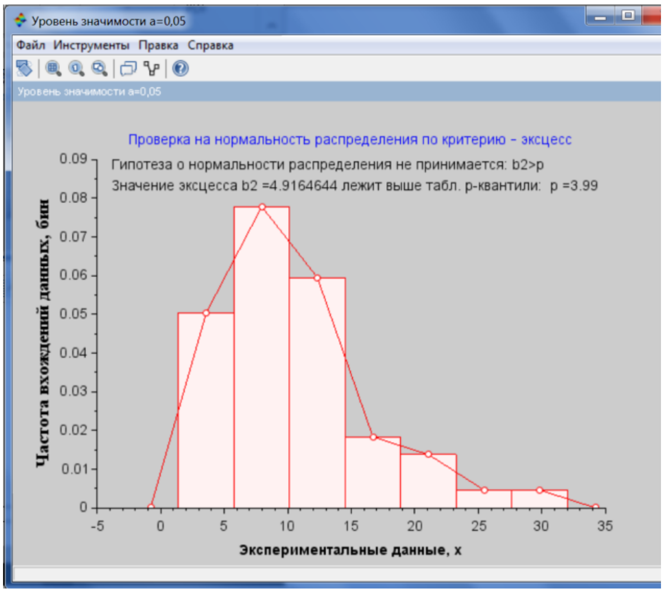
А



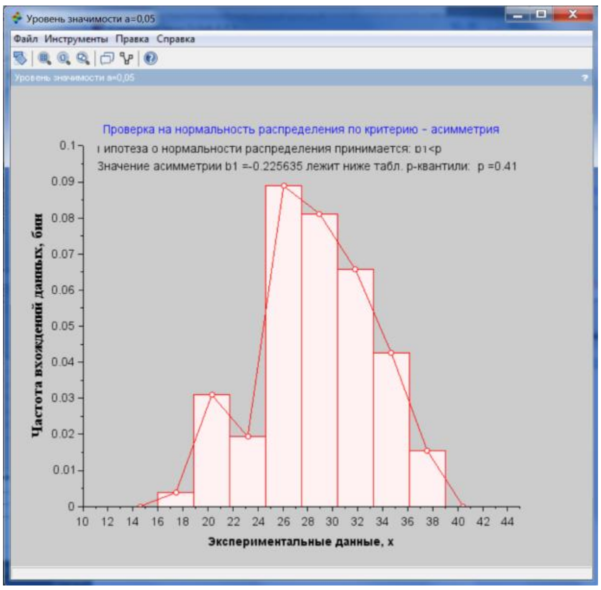
Б



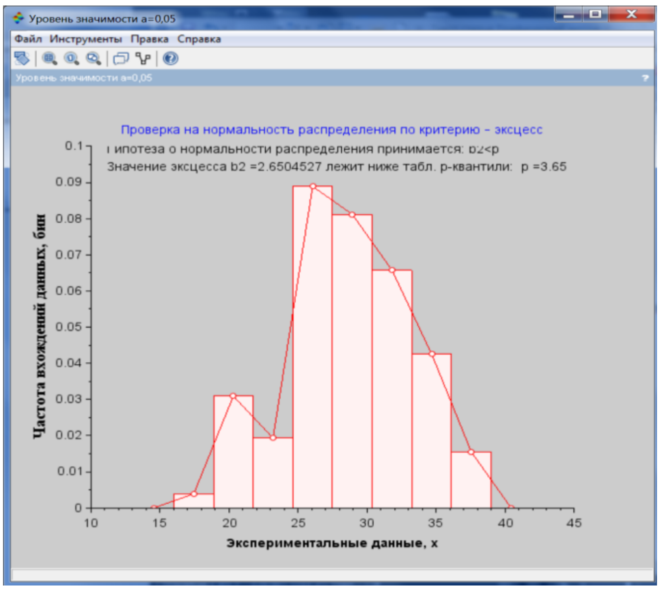
В



Г



Д



Е

Рис. 3. Решение задачи по тестовым данным из ГОСТ (А, В – критерий асимметричности; Б, Г – критерий эксцесса) и пользовательским данным (Д, Е)

На рисунке 3 приведены результаты работы скрипта, определяющего отклонение эмпирических данных от нормального распределения по критериям моментов. Программа строит полигоны и гистограммы распределения данных эксперимента и выводит информацию о принятии или отклонении нулевой гипотезы. Функция сопоставления расчетных данных с критическими значениями критериев обеспечивается функционалом программы, освобождая пользователя от ручной работы с табличными данными. Для использования программы с экспериментальными данными пользователя необходимо откорректировать текст скрипта, изменив значение переменной *test3* (страница 2 листинга программы).

Заключение.

Цель исследования достигнута, разработано программное обеспечение, позволяющее оценить степень отклонения эмпирических данных от нормального распределения. Проведенные вычислительные эксперименты показали полное совпадение расчетных данных с тестовыми данными приведенными в ГОСТ Р ИСО 5479–2002, что позволяет говорить о корректности разработанного инструментария.

Материалы исследования могут быть использованы в научно-исследовательской работе студентов, магистрантов, аспирантов при предварительном анализе результатов педагогических экспериментов, в соответствии с требованиями к статистической обработке материалов исследований.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 5479–2002. Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 30 с.

2. Елисеева И.И. Общая теория статистики: учебник / И.И. Елисеева, М.М. Юзбашев; под ред. И.И. Елисеевой. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 656 с.

3. Емельянова Ю.П. Программирование в Scilab: учеб. пособие (лабораторный практикум) / Ю.П. Емельянова, П.В. Пакшин; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2015. – 114 с.

4. Конопелько Л.А. Математическое моделирование в техносферной безопасности / Л.А. Конопелько, В.В. Растоскуев, М.А. Кустикова [и др.]. – СПб.: Университет ИТМО, 2018. – 65 с. – EDN BEFNUZ

5. Лемешко Б.Ю., Лемешко С.Б., Постовалов С.Н., Чимитова Е.В. Статистический анализ Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход: монография. – Новосибирск: НГТУ, 2011. – 888 с.

6. Петров Ю.В. Моделирование случайных величин: учеб. пособие / Ю.В. Петров, С.Н. Аникин, С.А. Юхно; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2020. – 90 с.

7. Семенова Т.И. Визуализация результатов вычислений в Scilab / Т.И. Семенова, А.В. Загвоздкина, В.А. Загвоздкин // Информатика и кибернетика. – 2018. – №4 (14). – С. 2–10.

8. Титов А.Н. Методы приближения функций и их приложения: учебно-методическое пособие / А.Н. Титов, Е.Р. Бадертдинова, Р.Ф. Тазиева; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: КНИТУ, 2021. – 92 с.

Загревский Валерий Иннокентьевич –д-р пед. наук, профессор кафедры теории и методики физического воспитания УО «Могилевский государственный университет имени А.А. Кулешова», Могилев, Республика Беларусь.

Лавшук Дмитрий Алексеевич –канд. пед. наук, доцент кафедры теории и методики физического воспитания УО «Могилевский государственный университет имени А.А. Кулешова», г. Могилев, Республика Беларусь.

Клочков Андрей Владимирович – аспирант, старший преподаватель кафедры физического воспитания и спорта УО «Могилевский государственный университет имени А.А. Кулешова», г. Могилев, Республика Беларусь.