

Научно-исследовательский журнал «Обзор педагогических исследований»
<https://opi-journal.ru>

2025, Том 7, № 7 / 2025, Vol. 7, Iss. 7 <https://opi-journal.ru/archives/category/publications>

Научная статья / Original article

Шифр научной специальности: 5.8.4. Физическая культура и профессиональная физическая подготовка (педагогические науки)

УДК 37.018.43:519.2



Программное обеспечение в среде SciLab для проверки данных педагогического эксперимента на отклонение от нормального распределения методом Шапиро-Уилка

¹ Ключков А.В., ¹ Загревский В.И., ¹ Лавщук Д.А.,

¹ Могилёвский государственный университет имени А. Кулешова, Республика Беларусь

Аннотация: в статье рассматривается компьютерная технология проверки результатов педагогических исследований по физической культуре и спорту на отклонение от нормального распределения, реализуемая в среде SciLab (версия 6.0.2) методом Шапиро-Уилка. Приводится программный код решения статистической задачи оценки отклонения эмпирического распределения данных эксперимента от нормального распределения, реализующий рекомендуемый метод в соответствии с ГОСТ Р ИСО 5479-2002. Особенность программной разработки – полная автоматизация оценки результатов вычислений без ручного использования статистических таблиц.

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

Для цитирования: Ключков А.В., Загревский В.И., Лавщук Д.А. Программное обеспечение в среде SciLab для проверки данных педагогического эксперимента на отклонение от нормального распределения методом Шапиро-Уилка // Обзор педагогических исследований. 2025. Том 7. № 7. С. 211 – 218.

Поступила в редакцию: 15 июня 2025 г.; Одобрена после рецензирования: 12 августа 2025 г.; Принята к публикации: 3 октября 2025 г.

Software in the SciLab environment for testing pedagogical experiment data for deviations from the normal distribution by the Shapiro-Wilk method

¹ Klochkov A.V., ¹ Zagrevskiy V.I., ¹ Lavshuk D.A.,
¹ Mogilev State A.A. Kuleshov University, Republic of Belarus

Abstract: the article examines the computer technology for checking the results of pedagogical research in physical education and sports for deviations from the normal distribution, implemented in the SciLab (version 6.0.2) environment using the Shapiro-Wilk method. The program code for solving the statistical problem of assessing the deviation of the empirical distribution of experimental data from the normal distribution is given, implementing the recommended method in accordance with GOST R ISO 5479-2002. The peculiarity of the software development is the complete automation of the assessment of the calculation results without the manual use of statistical tables.

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

For citation: Klochkov A.V., Zagrevskiy V.I., Lavshuk D.A. Software in the SciLab environment for testing pedagogical experiment data for deviations from the normal distribution by the Shapiro-Wilk method. Review of Pedagogical Research. 2025. 7 (7). P. 211 – 218.

The article was submitted: June 15, 2025; Approved after reviewing: August 12, 2025; Accepted for publication: October 3, 2025.

Введение

Практически любая модификация в аспекте изменения средств и методов обучения, предлагаемая новаторами учебно-тренировочного процесса в области физической культуры и спорта, нуждается в ее научном обосновании и практической проверке на эффективность применения. Основным инструментальным средством проверки эффективности авторских идей в этом случае является педагогический эксперимент. Компонентами педагогического эксперимента являются данные тестирования по контрольным упражнениям участников эксперимента (выборочная совокупность) на его начальном и конечном этапах, которые подвергаются в дальнейшем статистической обработке.

Несомненным атрибутом статистической обработки материалов исследования является выяснение вопроса о принадлежности выборочной совокупности к тому или иному виду распределения случайной величины. В педагогических исследованиях, в частности, в области физической культуры и спорта, считается, что выборочная совокупность изъята из генеральной выборки, относящейся к нормальному распределению. В силу этого, принадлежность эмпирической выборки нормальному распределению и необходимо первоначально выявить при анализе результатов педагогического эксперимента.

Средствами решения этой задачи служат многочисленные методы математической статистики, число которых до последнего времени, по данным [5], находилось в пределах до 21 варианта методов. К основным из них, по мнению специалистов [1], следует отнести: критерий нормальности Шапиро-Уилка, Хегаси-Грина, корреляционный критерий Филибена, регressiveный критерий нормальности Ла Брека, критерий нормальности Локка – Стурье, критерий нормальности Оя, критерий среднего абсолютного отклонения – критерий Гири, комбинированный критерий Штигельхальтера, критерий нормальности Саркади, критерий нормальности Лина-Мудхолкара, критерий нормальности Мартинеса-Иглевича, критерий нормальности асимметрии и эксцесса, критерий нормальности Муроты-Такеучи, критерий нормальности Смирнова.

Естественно, что исследователь может воспользоваться любым из общепринятых методов.

Однако, в первую очередь следует руководствоваться критериями изложенными в стандарте ГОСТ Р ИСО 5479-2002 «Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения» [2, с. 1]. Стандарт принят в Российской Федерации впервые, в 2002 году и представляет собой аутентичный текст международного стандарта ISO 5479-97. Именно на опубликованные в стандарте методы и средства следует, прежде всего, ориентироваться студентам, магистрантам, аспирантам, докторантам, научным сотрудникам и другим специалистам, применяющим в своей научно-исследовательской работе (НИР) методы математической статистики.

Здесь следует отметить несколько важных моментов:

1. Устанавливаемые в стандарте методы и виды критериев отклонения распределения вероятностей от нормального располагаются в порядке увеличения сложности вычислительных операций в терминах и последовательности приведенной в [7, с. 2]:

«1) графический метод;

2) направленные критерии b1 и b2;

3) многонаправленный критерий b1 и b2;

4) многосторонние критерии Шапиро-Уилка и Эппис-Палли;

5) совместный критерий (модифицированный критерий Шапиро-Уилка)».

2. Стандарт приводит численные примеры использования каждого из критериев и их построения, выполняемых вручную, что значительно снижает автоматизацию вычислительных процессов. Эти примеры можно принять в качестве тестовых при алгоритмизации вычислительных процедур с использованием средств компьютерной техники.

3. Критерии оценки отклонения распределения вероятностей от нормального закона приведены в таблицах, что также ограничивает автоматизацию использования статистических методик при компьютерной обработке материалов НИР.

Учебный педагогический процесс в высшей школе, в соответствии с программным материалом [7, с. 1], изучает все критерии, предлагаемые стандартом. И, так как одним из слабых звеньев стандарта является отсутствие в его содержании программного обеспечения (ПО) реализации устанавливаемых методов и критериев [6], то [7, с. 1]: «В

связи с этим возникает проблема программного обеспечения (ПО) расчета названных статистик. С учебной точки зрения для этого целесообразно использовать один программный продукт. Им может быть не специализированная статистическая система (Statistica, SPSS, Minitab и др.), а универсальная система компьютерной математики...». К таковой, на наш взгляд, может быть отнесена система компьютерной математики Scilab и пакеты расширения.

Достоинством Scilab является [3, 4, 9]:

1) Scilab не коммерческий продукт и находится в свободном распространении, что способствует его широкому распространению.

2) Возможность визуализации результатов вычислений.

3) Использование в программном коде многочисленных функций, существенно облегчающим процедуру создания требуемого ПО.

4) Возможность внесения в программный код собственных коррекций и дополнений.

Анализ литературных источников показывает незначительное количество работ освещающих проблемы создания ПО в русле тематики статьи и относящихся в основном к их реализации в системе MatLab [6, 7], являющейся в определенных ресурсных аспектах аналогом Scilab, так как их функционирование основано на однотипном создании переменных в векторном и матричном виде. Однако на MatLab и в Белоруссии и в России в настоящее время не распространяются лицензии фирм-производителей ПО, в то время как на Scilab наличие лицензии не требуется.

В свете вышеизложенного цель исследования заключалась в разработке компьютерного инструментария, позволяющего автоматизировать процедуру оценки результатов педагогического эксперимента на отклонение от нормального распределения в среде Scilab.

Задачи исследования:

1. Создать программные скрипты в среде Scilab, реализующие принцип модульного обеспечения вычислительных процедур оценки отклонения эмпирических данных от нормального распределения методом Шапиро-Уилка.

2. Проверить в вычислительных экспериментах корректность функционирования разработанного программного обеспечения.

Материалы и методы исследований

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

Так как критерий Шапиро-Уилка не поддерживается непосредственно пакетом Scilab, то расчет этого критерия возможен в Scilab с помощью встроенных функций,

Результаты исследования реализованы в разработанном скрипте программного кода среды Scilab *SCRIPT 1*, который можно загрузить по ссылке <https://disk.yandex.by/i/xOMyY2v5hkg4pw>.

SCRIPT 1 предназначен для расчета критерия Шапиро-Уилка или W-критерия. Он включает 7 блоков модульного построения программы:

- БЛОК 1 – формирование условий задачи;
- БЛОК 2 – Исходные данные;
- БЛОК 3 – Расчетные данные;
- БЛОК 4 – Распечатка результатов на экран монитора;
- БЛОК 5 – Распечатка результатов в графическом окне;
- БЛОК 6 – Распечатка результатов на экране монитора;
- БЛОК 7 – Выбор: Завершить – продолжить.

Вычисленная величина W-статистики критерия Шапиро-Уилка позволяет утверждать, что если $W > W_p$, то нулевая гипотеза о нормальном распределении не отклоняется. Здесь W_p , как это следует из стандарта [2, с. 12]: «При уровне значимости $a = p$ критическая область критерия образована значениями, меньшими чем p -квантиль для $p = a$ ». Критические значения критерия Шапиро-Уилка содержатся в таблицах [2, 5, 8].

W-статистика критерия Шапиро-Уилка представлена в ГОСТ Р ИСО 5479-2002 в следующем виде

$$W = \frac{S^2}{nm_2}, \quad (1)$$

где n – размер вариационного ряда, построенного по возрастающей; m_2 – выборочный центральный момент второго порядка, вычисляемый по формуле

$$m_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2, \quad (2)$$

в которой переменная x_i – вариационный ряд, x_{cp} – среднее арифметическое, определяемое из выражения

$$x_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (3)$$

Сумма S в (1) вычисляется из выражения

$$S = \sum_{i=1}^{n/2} [a_k(x_{n+1-k} - x_k)]. \quad (4)$$

В (4) введены обозначения, принятые в математической статистике [7, с. 16]: «... k – индекс, принимающий значения 1, 2, ..., $n/2$ при четном n и 1,

$2, \dots, (n-2)/2$ при нечетном n ; a_k – коэффициенты значения которых определяют "вручную" по таблице 10 [2] в соответствии с n и k . Коэффициенты a_k в стандарте [2, с. 22] начинаются со значения $n=8$.

Определение табличных данных "вручную" по таблице 10 источника [2, с. 22] существенно ограничивает полную автоматизацию расчета критерия Шапиро-Уилка в Scilab. Преодоление этого препятствия может быть выполнено [7, с. 16]: «... с помощью аппроксимирующих зависимостей заменяющих собой таблицы. Наиболее известна аппроксимация Казакевичуса». Статистику упрощенного критерия Шапиро-Уилка на основе аппроксимации Казакевичуса вычисляют в соответствии с выражением

$$W_1 = \left(1 - \frac{0,6695}{n^{0,6518}}\right) \frac{S^2}{B}. \quad (5)$$

Вычисленная величина W_1 позволяет утверждать, что [7, с. 17]: «Если $W_1 > 1$, то нулевую гипотезу нормального распределения случайной величины x отклоняют на уровне значимости $\alpha = 0,05$ ».

Таким образом, уравнения (1-5) представляют собой необходимый математический аппарат алгоритмического формирования критерия Шапиро-Уилка. При реализации содержательной части алгоритма в программной среде SciLab в виде SCRIPT 1 мы ориентировались на аналогичную разработку в среде MatLab [7]. В библиотеке SciLab существуют базовые статистические функции

[4, с. 23], которые также были использованы при разработке программного кода SCRIPT 1.

Коснемся некоторых моментов функционирования SCRIPT 1.

1. Обозначения переменных программного кода в SCRIPT 1 соответствуют обозначениям, используемым в уравнениях (1-5), а комментарий блоков раскрывает их функциональную сущность. Также, в достаточной степени подробности даны комментарии и для основных вычислительных и сервисных процедур ПО SCRIPT 1. Поэтому необходимость более углубленной их расшифровки – отсутствует. В конце работы программы на экран монитора распечатываются результаты вычислений. Для тестового примера они равны: $X_{cp} = 785,114$; $S_{nm} = 630872$; $S = 787,263$; $W = 0,982$. Расчетные параметры показателей полностью соответствуют приведенным в примере 4 из [2].

2. После запуска программы на окне монитора появляется форма с запросом на указание операции по выбору условий постановки задачи (рис. 1, А-С). Предлагается: А – выбрать табличные коэффициенты решения задачи или применить аппроксимацию Казакевичуса; Б – решить тест или решить свою задачу; С – изменить режим решения задачи или выполнить выход из программы. Выбор определяется пользователем выделением соответствующей опции в табличке запроса с последующим нажатие на кнопку «Ok», или двукратным кликом левой кнопкой мышки по выбранной опции.

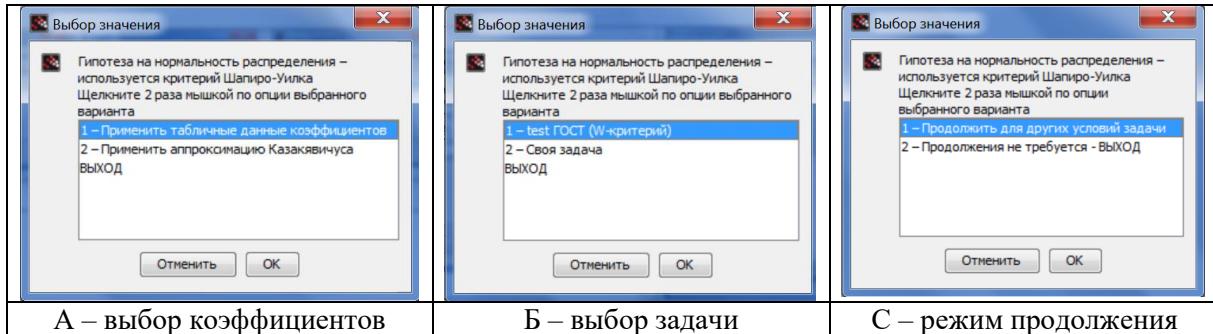


Рис. 1. Интерактивный режим взаимодействия пользователя с программой по вводу условий постановки задачи.

Fig. 1. Interactive mode of user interaction with the program for entering the conditions for setting the task.

3. Визуальным результатом работы программы является гистограмма с полигоном частот (рис. 2, А). Количество интервалов разбиения гистограммы формируется автоматически с использованием формулы Стерджеса (Sturges' formula) – эмпирическое правило в соответствии с которым определяется оптимальное количество

интервалов (k) при построении гистограммы в зависимости от общего количества данных в выборке (n)

$$k = 1 + 3,322 \log 10(n). \quad (6)$$

Здесь $\log(10)$ – десятичный логарифм. В нашем решении число k округляется в сторону увеличения с использованием процедуры

$ki=round(k)$; если $ki < k$, то $ki=ki+1$, $k=ki$. (7)

4. Сведения о принятии или отклонении нулевой гипотезы пропечатываются на экране монитора, но пока еще на рисунке отсутствуют. Для их появления на графическом экране необходимо курсором мыши указать точку ввода

распечатки текста: несколько выше верхнего тика вертикальной оси (1-2 мм) и правее (в произвольном месте). Такой подход используется для того чтобы надпись не пересекала график рисунка, а располагалась между его названием (текст синего цвета) и графиком рисунка.

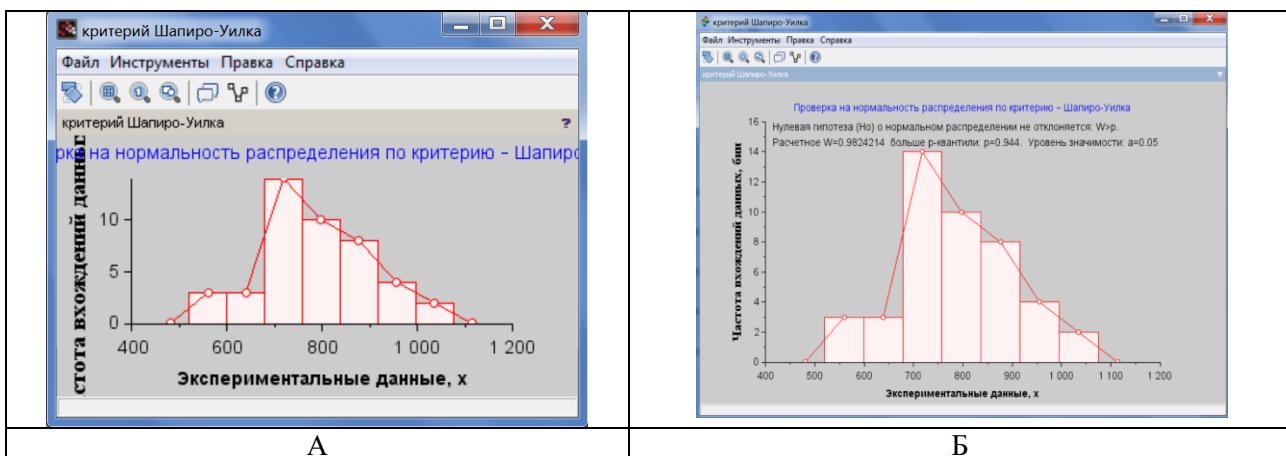


Рис. 2. Процесс визуализации решения задачи.
Fig. 2. The process of visualizing the solution to the problem.

5. Ввод текста надписи выполняется автоматически после двукратного клика левой кнопкой мышки по указанной курсором точке входа. Результатом выполнения операций по вводу текста (пункты 2-3) является рисунок (рис. 2, Б) с соответствующей надписью об отклонении или подтверждении нулевой гипотезы с численным указанием расчетного критерия Шапиро-Уилка (W_1).

6. Во вставленной надписи присутствуют две строки текста. Для их полного появления необходимо растянуть рисунок по вертикали нажатием левой кнопкой (ЛК) мыши на маркерную точку внизу (вверху) рисунка и дальнейшим перемещением мыши вниз (вверх) с утопленной ЛК мыши.

7. Операцию аналогичную пункту 5 необходимо выполнить для растяжения рисунка по горизонтали (до полного появления текста).

8. В дальнейшем по запросу программы пользователь делает выбор о завершении работы программы или об ее продолжении (рис. 1, С), например, по расчету показателей для своей задачи. В этом случае экспериментальные данные должны быть предварительно введены в *SCRIPT 1* вместо данных, выделенных в программе полужирным очертанием (в БЛОКе 2, после условия «*if model==2 then*»).

Для контроля результатов вычислений в таблице (табл. 1) приводятся исходные данные из стандарта [2, с. 13, табл. 4] в виде упорядоченной серии из 44 наблюдений (X_k), где k – номер индекса ($k=1, 2, \dots, 22$), a_k – коэффициенты критерия Шапиро-Уилка и вычисленные коэффициенты аппроксимации Казакевичуса с промежуточными элементами решения.

Ежегодные осадки (колонки 2, 3), зафиксированные на метеостанции по данным [2, табл. 4] и элементы решения (колонки 4-8).

Таблица 1

Annual precipitation (columns 2, 3) recorded at the weather station according to data from [2, Table 4] and solution elements (columns 4-8).

| <i>k</i> | <i>x_k</i> | <i>x_(n+1-k)</i> | <i>c_k=x_(n+1-k)-x_k</i> | Табличные коэффи. – <i>a_k</i> | Произведение Расчет – <i>a_k c_k</i> | Аппроксимация Казакяччуса – <i>a_k</i> | Произведение Расчет – <i>a_k c_k</i> |
|----------|----------------------|----------------------------|--|--|--|--|--|
| | Xk | X | Ck | ak | S0 | ak | S0 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | 520 | 1074 | 554 | 0,3872 | 214,5088 | 0,3881676 | 215,04486 |
| 2 | 556 | 1056 | 500 | 0,2667 | 133,3500 | 0,2670238 | 133,51189 |
| 3 | 561 | 963 | 402 | 0,2323 | 93,3846 | 0,2330456 | 93,684348 |
| 4 | 616 | 952 | 336 | 0,2072 | 69,6192 | 0,2080648 | 69,90978 |
| 5 | 635 | 926 | 291 | 0,1868 | 54,3588 | 0,187232 | 54,484522 |
| 6 | 669 | 922 | 253 | 0,1695 | 42,8835 | 0,1693036 | 42,833818 |
| 7 | 686 | 904 | 218 | 0,1542 | 33,6156 | 0,1535627 | 33,476659 |
| 8 | 692 | 900 | 208 | 0,1405 | 29,2240 | 0,1394991 | 29,015823 |
| 9 | 704 | 889 | 185 | 0,1278 | 23,6430 | 0,1267326 | 23,445539 |
| 10 | 707 | 879 | 172 | 0,1160 | 19,9520 | 0,1149749 | 19,775677 |
| 11 | 711 | 873 | 162 | 0,1049 | 16,9938 | 0,1040056 | 16,848913 |
| 12 | 713 | 862 | 149 | 0,0943 | 14,0507 | 0,0936558 | 13,954707 |
| 13 | 714 | 851 | 137 | 0,0842 | 11,5354 | 0,0837945 | 11,47985 |
| 14 | 719 | 837 | 118 | 0,0745 | 8,7910 | 0,0743205 | 8,76982 |
| 15 | 727 | 834 | 107 | 0,0651 | 6,9657 | 0,0651546 | 6,9715412 |
| 16 | 735 | 826 | 91 | 0,0560 | 5,0960 | 0,0562348 | 5,1173675 |
| 17 | 740 | 822 | 82 | 0,0471 | 3,8622 | 0,0475124 | 3,8960185 |
| 18 | 744 | 821 | 77 | 0,0383 | 2,9491 | 0,0389489 | 2,9990678 |
| 19 | 745 | 794 | 49 | 0,0296 | 1,4504 | 0,0305138 | 1,4951769 |
| 20 | 750 | 791 | 41 | 0,0211 | 0,8651 | 0,0221828 | 0,9094935 |
| 21 | 776 | 786 | 10 | 0,0126 | 0,1260 | 0,0139364 | 0,1393638 |
| 22 | 777 | 786 | 9 | 0,0042 | 0,0378 | 0,0057591 | 0,0518317 |
| Σ | 34545 | | 4151 | 2,6201 | 787,2627 | 2,6236261 | 787,81607 |

Промежуточные элементы решения ($x_{(n+1-k)}$, c_k , $a_k c_k$) в табл. 1 представлены соответственно переменными программного кода (X, Ck, S0) и функцией (flipdim(Xk, 2), реализующей зеркальное отражение:

k – порядковый индекс от 1 до $n/2$;

$x_k = Xk$ – вектор из n независимых наблюдений (x_1, x_2, \dots, x_n), расположенных в порядке неубывания – колонка 2;

$x_{(n+1-k)} = X = \text{flipdim}(Xk, 2)$ – измененный порядок x_k (первый элемент X начинается с последнего Xk – колонка 3;

$c_k = Ck = X - Xk$ – вектор линейной разности выборочных порядковых статистик (разность между

k -м элементом колонки 3 и k -м элементом колонки 2) – колонка 4;

$a_k = ak$ – табличные коэффициенты критерия Шапиро-Уилка и вычисленные коэффициенты аппроксимации Казакяччуса – колонки 5, 7;

$a_k c_k = S0$ – вектор произведения элементов a_k и c_k – колонки 6, 8.

В нижней части таблицы (последняя строка) размещены сведения по сумме элементов каждой колонки, колонки 2 и 3 – объединены.

Следует отметить, что в табл. 1 приведены промежуточные результаты вычислений. Статистические показатели, используемые непосредственно для расчета критерия Шапиро-Уилки, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительные результаты вычислительного эксперимента с использованием табличных коэффициентов критерия Шапиро-Уилка и коэффициентов аппроксимации Казакявичуса для тестовой задачи.

Table 2

Comparative results of the computational experiment using the table coefficients of the Shapiro-Wilk criterion and the Kazakyavichus approximation coefficients for the test problem.

| № п/п | Переменные Коэф- фициенты | <i>Xcp</i> | <i>nm₂=S²</i> | <i>S</i> | <i>W</i> |
|----------|---------------------------------|--|---|--|------------------------|
| | | $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n/2} x_k$ | $nm_2 = \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2$ | $S = \sum_{k=1}^{n/2} a_k [x_{(n+1-k)} - x_k]$ | $W = \frac{S^2}{nm_2}$ |
| 1 | Табличные коэф- фициенты | 785,11364 | 630872,43 | 787,2627 | 0,9824214 |
| 2 | Аппроксимация Казакявичуса | 785,11364 | 630872,43 | 787,81607 | 0,958702 |

Результаты вычислений (табл. 1, табл. 2) выводятся на экран монитора после построения графики и выхода из программы, реализуемого в БЛОКе 7 операцией выбора опции: '2 – Продолжения не требуется – ВЫХОД'.

Выводы

Цель исследования достигнута, поставленные задачи – реализованы:

1. Разработан компьютерный инструментарий, позволяющий автоматизировать процедуру оценки результатов педагогического эксперимента на

отклонение от нормального распределения в среде Scilab.

2. Создан программный скрипт в среде Scilab, реализующий принцип модульного обеспечения вычислительных процедур оценки отклонения эмпирических данных от нормального распределения методом Шапиро-Уилка.

3. Проверена и подтверждена в вычислительных экспериментах корректность функционирования разработанного программного обеспечения.

Список источников

1. Вовк М.Ю., Кулалаев В.В. Критерии нормальности при обработке экспериментальных исследований параметров газотурбинных двигателей на базе методов прикладной математической статистики // Труды МАИ. 2018. № 101. С. 1 – 19.
2. ГОСТ Р ИСО 5479-2002. Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения. М.: Изд-во стандартов, 2002. 30 с.
3. Захарова, В.Ю. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу "Математическое моделирование физических процессов". Ч. 1. СПб: Университет ИТМО, 2021. 72 с.
4. Капитанов Д.В., Капитанова О.В. Введение в SciLab: практикум. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2019. 56 с.
5. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.
6. Лемешко Б.Ю., Лемешко С.Б. Сравнительный анализ критериев проверки отклонения распределения от нормального закона // Метрология. 2005. № 2. С. 3 – 23.
7. Нестеров А.В., Нестеров С.В., Козак К Д.А. проверке отклонения распределения вероятностей от нормального распределения в системе компьютерной математики MATLAB // Электронный сетевой политехнический журнал «Научные труды КубГТУ». Краснодар: КубГТУ, 2015. № 6. 31 с.
8. Никитин О.Р., Корнеева Н.Н. Методы измерения статистических параметров радиосигналов: учеб. пособие / Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. Владимир: Изд-во ВлГУ. Владимир, 2020. 227 с.
9. Огородников И.Н. Обратные задачи физической диагностики. Модельные задачи в SciLab & Maxima: учебное пособие / М-во науки и высшего образования РФ. 2-е изд., испр. и доп. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2023. 152 с.

References

1. Vovk M.Yu., Kulalaev V.V. Normality criteria in processing experimental studies of gas turbine engine parameters based on applied mathematical statistics methods. Proceedings of MAI. 2018. No. 101. P. 1 – 19.
2. GOST R ISO 5479-2002. Statistical methods. Testing the deviation of a probability distribution from the normal distribution. Moscow: Publishing House of Standards, 2002. 30 p.

3. Zakharova V.Yu. Guidelines for completing laboratory work in the course "Mathematical Modeling of Physical Processes". Part 1. St. Petersburg: ITMO University, 2021. 72 p.
4. Kapitanov D.V., Kapitanova O.V. Introduction to SciLab: Workshop. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University, 2019. 56 p.
5. Kobzar A.I. Applied Mathematical Statistics. For Engineers and Researchers. Moscow: FIZMATLIT, 2006. 816 p.
6. Lemeshko B.Yu., Lemeshko S.B. Comparative Analysis of Criteria for Testing the Deviation of a Distribution from the Normal Law. Metrology. 2005. No. 2. P. 3 – 23.
7. Nesterov A.V., Nesterov S.V., Kozak K.D. Testing the Deviation of a Probability Distribution from the Normal Distribution in the MATLAB Computer Mathematics System. Electronic Online Polythematic Journal "Scientific Works of KubSTU". Krasnodar: KubSTU, 2015. No. 6. 31 p.
8. Nikitin O.R., Korneeva N.N. Methods for Measuring Statistical Parameters of Radio Signals: A Tutorial. Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov. Vladimir: Vladimir State University Publishing House. Vladimir, 2020. 227 p.
9. Ogorodnikov I.N. Inverse Problems of Physical Diagnostics. Model Problems in SciLab & Maxima: A Tutorial. Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. 2nd ed., corrected and enlarged. Yekaterinburg: Ural University Publishing House, 2023. 152 p.

Информация об авторах

Ключков А.В., аспирант, старший преподаватель, Могилёвский государственный университет имени А. Кулешова, Республика Беларусь

Загревский В.И., доктор педагогических наук, профессор, Могилёвский государственный университет имени А. Кулешова, Республика Беларусь

Лавшук Д.А., кандидат педагогических наук, доцент, Могилёвский государственный университет имени А. Кулешова, Республика Беларусь

© Ключков А.В., Загревский В.И., Лавшук Д.А., 2025