

О.Д. Федоренко, В.Ю. Клим, С.В. Клименко

НЕПАРАМЕТРИЧНА СТАТИСТИКА ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН З НЕВІДОМИМИ ФУНКЦІЯМИ РОЗПОДІЛУ ЙМОВІРНОСТІ

Анотація. Робота присвячена актуальній проблемі аналізу даних з невідомими розподілами, де класичні параметричні методи неефективні. На прикладі двох типів розподілів (логістичного(симетричного) та експоненційного(асиметричного)) показано застосування непараметричного підходу, який складається з етапів ранжування та аналізу екстремальних значень. Мета дослідження: проведення якісного аналізу щодо статистичної однорідності часових рядів через оцінку основних спеціальних критеріїв вибірок - зсувів та масштабів. Методи дослідження: в роботі використані базові методи непараметричної статистики: для вибірок з логістичним та експоненційним законом розподілення знайдено їх статистичні параметри, перевірка на статистичну однорідність виконана за результатами аналізу розрахункових значень спеціальних критеріїв. Практична новизна дослідження: наведений в роботі підхід для перевірки на статистичну однорідність розширює практичну площину застосування методів непараметричної статистики для комплексного статистичного аналізу часових рядів з законом розподілення відмінним від нормального. Сфери застосування: результати дослідження можуть знайти застосування в галузях, що потребують аналізу статистичної однорідності даних, зокрема в інжинірингу в задачах моніторингу стану технічних об'єктів та систем, у соціологічних дослідженнях для виявлення суттєвих відмінностей між групами, в медичній сфері для контролю якості лабораторних вимірювань.

Ключові слова: непараметрична статистика, статистична однорідність, розподіл випадкових величин, ранжування, середні значення, зсуви, масштаби, комп'ютерне моделювання.

Вступ. Сучасний статистичний аналіз стикається зі складними завданнями обробки даних, де традиційні параметричні методи часто виявляються недостатньо гнучкими або застосовними. Особливо це стосується випадків, коли закон розподілу випадкової величини невідомий або його важко визначити. У таких умовах на перший план виходять непараметричні методи, які не вимагають жорстких припущень щодо форми розподілу та дозволяють отримувати надійні результати навіть за обмеженої інформації [1].

Непараметрична статистика знайшла широке застосування в різних галузях – від економіки та біології до інженерії та соціальних досліджень. Її основна перевага поля-

гає в тому, що вона дозволяє аналізувати дані, які можуть бути неоднорідними, мати складну структуру або автокореляційні залежності. Це особливо важливо при роботі з реальними вибірками, де класичні підходи, такі як t-критерій, часто дають неточні результати через порушення їх припущень [1, 2].

В роботі непараметричний аналіз випадкових величин складається з послідовного виконання методу ранжування та подальшого опрацювання експериментальних значень (мінімумів і максимумів) у впорядкованих вибірках. Для дослідження були обрані два типи розподілів: симетричний (логістичний) та асиметричний (експоненційний). На прикладі різних типів розподілів продемонстрована можливість застосування непараметричного методу для вибірок з невідомими функціями розподілу, які не відповідають нормальному закону.

Оскільки важливою частиною дослідження є результати обчислювального експерименту з опрацювання реальних даних вимірювань, в роботі використані імітаційні моделі. Згенеровані вибірки з заданими параметрами та отримані значення статистичних характеристик: середні значення, мінімуми, максимуми, зсуви та масштаби. Подальший аналіз величин спеціальних критеріїв був спрямований на перевірку гіпотези про статистичну однорідність вибірок, що має важливе практичне значення для задач прогнозування та моделювання технічних систем або спостереження за природними об'єктами. Результати роботи можуть бути корисними для фахівців, які стикаються з невизначеністю у даних або потребують додаткових інструментів для комплексного статистичного аналізу часових рядів з законом розподілення відмінним від нормального. Наступні етапи роботи у визначеному напрямі мають бути пов'язані із дослідженням та вдосконаленням непараметричних методів та їх практичним застосуванням в заданих умовах.

Актуальність. У роботі [8] автор в задачі оптимізації алгоритмічного та програмного забезпечення автономних вимірювальних модулів розподілених діагностичних систем особливу увагу приділяють алгоритму перевірки однорідності діагностичних сигналів, що базується на комбінації критеріїв Фішера та Стюдента. Запропонований підхід із застосуванням параметричних методів має певні вимоги щодо припущень про нормальність розподілу даних.

У дослідженні [9] аналізується вплив кореляції результатів спостережень на точність лінійної регресії. Автор пропонує методи врахування автокореляції для поліпшення оцінок дисперсії коефіцієнтів регресії та прогнозованих значень. Робота підкреслює важливість врахування взаємної кореляції даних, особливо під час обробки часових рядів. Однак викладені методи залишаються в рамках параметричної статистики, що обмежує їхню використання для даних із невідомими або складними розподілами.

Розглянуті роботи сучасних авторів підтвердили відомий висновок [1], про те, що параметричні методи вимагають суворих припущень щодо розподілу даних (наприклад, нормальність) і можуть бути неефективними в разі їх порушення.

Зазначимо, що класична математична статистика не розглядає комп'ютерну обробку експериментальних автокорельованих вимірювань в задачах спостереження за при-

родними та технічними об'єктами та процесами. Відома досить невелика кількість досліджень з вивчення інформативності критеріїв перевірки гіпотез в задачах спостереження за об'єктами [2 – 4]. Отже, з одного боку статистична обробка автокорельованих вимірювань з різними розмірами вибірок та невідомими статистичними закономірностями відомими спеціальними критеріями порівняння вибірок випадкових величин досліджена недостатньо. З іншого боку, дослідження статистичної однорідності через аналіз основних параметрів, таких як середні значення, мінімуми, максимуми, зсуви та масштаби, має вирішальне значення для прогнозування в таких сферах, як інженерні дослідження, економіка, медична статистика, коли важливо знати, чи зберігаються статистичні закономірності при зміні будь-яких умов [7].

Отже, аналіз автокорельованих вибірок випадкових величин є актуальною задачею, де вхідні дані мають складну структуру або існує залежність між спостереженнями. В таких випадках саме непараметричні методи, для яких знання закону розподілу не є обов'язковою вимогою, стають незамінними для обробки таких даних. Більш того, вони дозволяють отримувати результати навіть за умов обмеженої інформації про розподіл [1]. Таким чином, дослідження непараметричних методів аналізу ряду вибірок спостереження за станом технічних або природних об'єктів наразі є актуальною задачею.

Мета роботи полягає в проведенні тестового аналізу результатів застосування непараметричного методу для перевірки статистичної однорідності часових рядів через оцінку основних спеціальних критеріїв вибірок - зсувів та масштабів, а також дослідження застосовності такого підходу для попереднього визначення або додаткової перевірки статистичної однорідності вибірок часових рядів.

Постановка задачі. Для застосування методу непараметричної статистики для перевірки статистичної однорідності вибірок часових рядів були сформульовані наступні завдання:

- виконати імітаційне моделювання вибірок часових рядів з відомими законами розподілу;
- застосувати метод ранжування для отриманих даних;
- обчислити для кожної вибірки основні статистичні характеристики: середні значення, мінімуми, максимуми, а також основні спеціальні критерії: зсуви та масштаби.
- перевірити статистичну однорідність вибірок, тобто виконати детальний якісний та кількісний аналіз значень спеціальних критеріїв для кожного типу вибірок.

Методи статистичної обробки вимірів випадкових величин, закони розподілу ймовірності що невідомі, отримали назву непараметрична статистика. Вона вільна від знань функцій розподілу ймовірностей. Для будь-якої вибірки $X(k/j)$ з N серій вимірювань ($k=1,2,3\dots n$; n -розмір вибірки; j -номер вибірки, $j=1,2,3\dots N$) знайдемо мінімальне і максимальне значення.

Напочатку перетворимо вибірку $X(k/j)$ в упорядковану, яка має позначення $X^*(i/j)$. Для упорядкованих вибірок, де перша та остання мають відповідні позначення X^* та $X^*(n/j)$ виконується умови наступних нерівностей ($j=1,2,3\dots N$)[2]:

$$X^*(1/j) < X^*(2/j) < \dots < X^*(k/j) < X^*(k+1/j) < \dots < X^*(n-1/j) < X^*(n/j). \#(1)$$

Для перетворення вибірки $X(k/j)$ в упорядковану, необхідно визначити її ранги. Тобто ранг вказує на номер вимірів в $X(i/j)$. Формула для визначення рангів має наступний вигляд:

$$R(X(i/j)) = \sum_{k=1}^n \operatorname{sgn}(X(i/j) - X(k/j)), i = 1, 2, 3 \dots n \#(2)$$

Оскільки мінімальні та максимальні значення упорядкованої вибірки та $X^*(n/j)$ також визначаються по їх рангам, то запишемо вирази в наступному вигляді:

$$X^*(1/nj) = X(i/nj) \sum_{i=1}^n \operatorname{sgn}(1 - R(X(i/j))), i = 1, 2, 3 \dots n; \#(3)$$

$$X^*(n/nj) = X(i/nj) \sum_{i=1}^n \operatorname{sgn}(R(X(i/j)) - n), i = 1, 2, 3 \dots n. \#(4)$$

де $\operatorname{sgn}(x - a)$ – функція одиночного стрибка, яка дорівнює 1, якщо $x \geq a$ та 0 якщо $x < a$; $j=1,2,3\dots N$.

Виходячи з положень непараметричної статистики, що у вибірок, які досліджуються, середні статистичні, максимуми і мінімуми будуть теж статистично однорідні, разом із їх зсувами та масштабами тільки за умов однаковості їх статистичної закономірності [1-7], проведемо обчислювальний експеримент і дослідимо це припущення. Обчислювальні експерименти проведемо на вибірках двох видів функцій розподілу ймовірностей: логістичній (симетричній) і експоненційній (асиметричній):

$$F_L(X) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{-\pi}{\sqrt{3}}\left(\frac{x-a}{\sigma}\right)\right)}; \#(5)$$

$$F_E(X) = 1 - \exp\left(-\frac{x}{\lambda}\right). \#(6)$$

Їх параметрам надамо наступних значень: $a=3$, $\sigma=0.5$, $n=10$, $N=10$, $\lambda=3$. Для них маємо однакове математичне очікування $M[X_L] = 3$, $M[X_E] = 3$.

Вибірки вимірів отримані по вибіркам комп'ютерних генераторів $\xi(k/j)$ із застосуванням програмного забезпечення Matlab, яке вільне у просторі інтернет. В результаті сформовані випадкові величини з рівномірним законом розподілення ймовірності $W(\xi/j) = 1$, $F(\xi/j) = 3$, $0 \leq \xi \leq j$. Надалі формуються вибірки для логістичного та

експоненціального закону розподілення - $X_L(k/nj)$ та $X_E(k/nj)$ - по вибіркам $\xi(k/nj)$, для яких надамо формули у вигляді:

$$X_L(k/nj) = a + \frac{\sqrt{3}}{\pi} \sigma \ln \left(\frac{\xi(k/nj)}{1 - \xi(k/nj)} \right), \#(7)$$

$$X_E(k/nj) = \lambda \ln \left(\frac{1}{1 - \xi(k/nj)} \right). \#(8)$$

Тепер визначимо їх ранги та відповідні мінімальні $X_L^*(1/nj)$ і $X_E^*(1/nj)$ і максимальні значення $X_L^*(10/nj)$ і $X_E^*(10/nj)$.

Зсуви $\bar{X}^*(j)$ та масштаби $\Delta \bar{X}^*(j)$ для розглядуваних вибірок $X_L(k/nj)$ та $X_E(k/nj)$ знайдемо за наступними виразами:

$$\bar{X}^*(j) = \frac{1}{2} (X^*(1/nj) + X^*(n/nj)), \#(9)$$

$$\Delta \bar{X}^*(j) = (X^*(n/nj) - X^*(1/nj)). \#(10)$$

По вибіркам для першого обчислювального експеримента $\xi_1(k/j)$ сформуємо вибірки $X_L(k/j)_1$ і $X_E(k/j)_1$ та дослідимо їх інформативні показники (середні, зсуви і масштаби):

$$\bar{X}_L(j)_1, \bar{X}_E(j)_1, \bar{X}_L^*(j)_1, \bar{X}_E^*(j)_1, \Delta \bar{X}_L^*(j)_1, \Delta \bar{X}_E^*(j)_1.$$

По вибіркам для другого обчислювального експеримента $\xi_1(k/j)$ сформуємо вибірки $X_L(k/j)_1$ і $X_E(k/j)_1$ та дослідимо їх інформативні показники (середні, зсуви і масштаби):

$$\bar{X}_L(j)_1, \bar{X}_E(j)_1, \bar{X}_L^*(j)_1, \bar{X}_E^*(j)_1, \Delta \bar{X}_L^*(j)_1, \Delta \bar{X}_E^*(j)_1.$$

Результати проведених розрахунків по двом генераторам наведені у таблицях 1 та 2.

Таблиця 1

Значення середніх, зсувів і масштабів першого обчислювального експеримента для вибірок логістичного та експоненціального закону розподілення

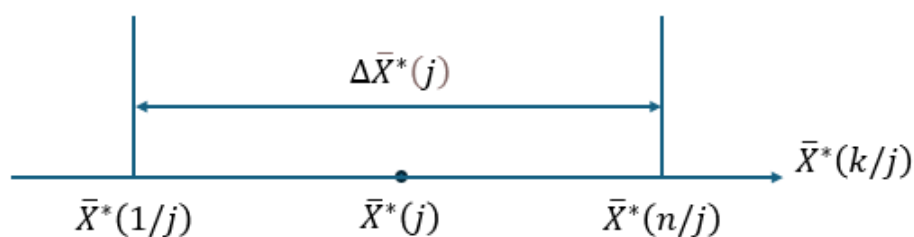
j \ $\bar{X}$	$\bar{X}_L(j)_1$	$\bar{X}_E(j)_1$	$\bar{X}_L^*(j)_1$	$\bar{X}_E^*(j)_1$	$\Delta \bar{X}_L^*(j)_1$	$\Delta \bar{X}_E^*(j)_1$
1	3.0864	2.8969	0.0864	-0.1031	2.7664	0.5197
2	2.6854	3.3555	-0.3146	0.3555	3.2530	1.1284
3	3.2054	2.9670	0.2054	-0.0330	3.0024	0.8830
4	2.7496	3.1032	-0.2504	0.1032	2.3909	1.4865
5	2.7863	3.1548	-0.2137	0.1548	3.3887	0.5828
6	3.1032	2.8910	0.1032	-0.1090	2.2818	0.7236
7	3.3907	2.8632	0.3907	-0.1368	2.2391	0.5661
8	2.3025	3.0213	-0.6975	0.0213	3.7311	1.2235
9	3.1413	2.9382	0.1413'	-0.0618	1.4847	1.0872
10	3.0883	3.0160	0.0883	0.0160	2.9273	0.9378

Таблиця 2

Значення середніх, зсувів і масштабів другого обчислювального експеримента для вибірок логістичного та експоненціального закону розподілення

$j \backslash \bar{X}$	$\bar{X}_L(j)_2$	$\bar{X}_E(j)_2$	$\bar{X}_L^*(j)_2$	$\bar{X}_E^*(j)_2$	$\Delta\bar{X}_L^*(j)_2$	$\Delta\bar{X}_E^*(j)_2$
1	2.9292	3.0553	-0.0708	0.0553	5.1783	1.4375
2	3.4070	2.8882	0.4070	-0.1118	2.8731	0.8191
3	2.9838	3.1316	-0.0162	0.1316	2.8731	1.4817
4	2.9749	3.0083	-0.0251	0.0083	2.3137	1.0650
5	3.0387	3.0083	0.0387	0.1012	2.2233	1.6470
6	3.3540	2.7897	0.3540	-0.2103	2.2233	0.3335
7	2.6900	2.9021	-0.3100	-0.2103	2.3652	0.7231
8	2.9680	3.2342	-0.0320	0.2342	3.7560	1.1650
9	2.9680	2.9688	-0.1826	-0.0312	4.5195	0.9354
10	3.0157	2.9162	0.0157	-0.0838	2.1512	0.6083

Для параметрів упорядкованих вибірок $\bar{X}^*(k/j)$ з метою подальшого детального аналізу додатково надамо їх графічне представлення (див. рис.1).

Рисунок 1 - Графічне представлення параметрів упорядкованих вибірок $\bar{X}^*(k/j)$

Зведені загальні показники для двох обчислювальних експериментів за обраними законами розподілення показані в таблиці 3.

Таблиця 3

Зведені середні показники середніх, зсувів і масштабів першого та другого обчислювального експеримента для вибірок логістичного та експоненціального закону розподілення

$j \backslash \bar{X}$	$\bar{X}_L(j)$	$\bar{X}_3(j)$	$\bar{X}_L^*(j)$	$\bar{X}_3^*(j)$	$\Delta\bar{X}_L^*(j)$	$\Delta\bar{X}_3^*(j)$
1	2.9539	3.0207	-0.0461	0.0207	2.7465	0.9139
2	3.0179	2.9996	0.0179	-0.0004	3.1152	1.0216

Для аналізу зведених значень інформативних параметрів в таблиці 3 використано t-тест для незалежних вибірок, який застосовується для порівняння двох різних експериментів. В результаті для двох різних експериментів за логістичним законом розподі-

лення отримано наступний рівень значущості середнього значення: $p\text{-value} = 0.6072$, відповідно для двох різних експериментів за експоненціальним законом - $p\text{-value} = 0.7433$. Вочевидь, вони не мають значних відмінностей для двох різних експериментів всередині одного закону розподілення.

Для подальшої перевірки на статистичну однорідність для двох різних експериментів також використано t -тест, в результаті якого отримані величини рівней значущості зсуву та масштабу наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Величини рівней значущості зсуву та масштабу для вибірок логістичного та експоненціального закону розподілення

Закон	Зсув	Масштаб
Логістичний	0.6072	0.3639
Експоненційний	0.7433	0.5272

Значення з таблиці 4 підтверджують статистичну однорідність за рахунок незначних відмінностей для двох різних експериментів за однаковим законом розподілення.

Для детального якісного та кількісного аналізу значень спеціальних критеріїв для кожного типу вибірок наведені графіки t -розподілення.

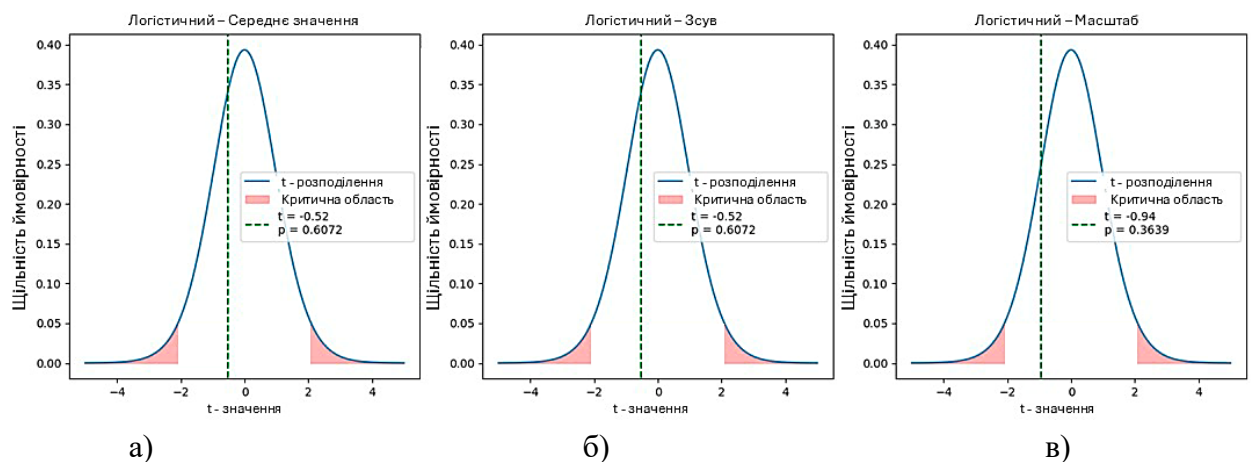


Рисунок 2 - Застосування t -тесту для перевірки на статистичну однорідність обчислювальних експериментів за логістичним законом розподілення:

а) - середнє значення; б) зсув; в) масштаб

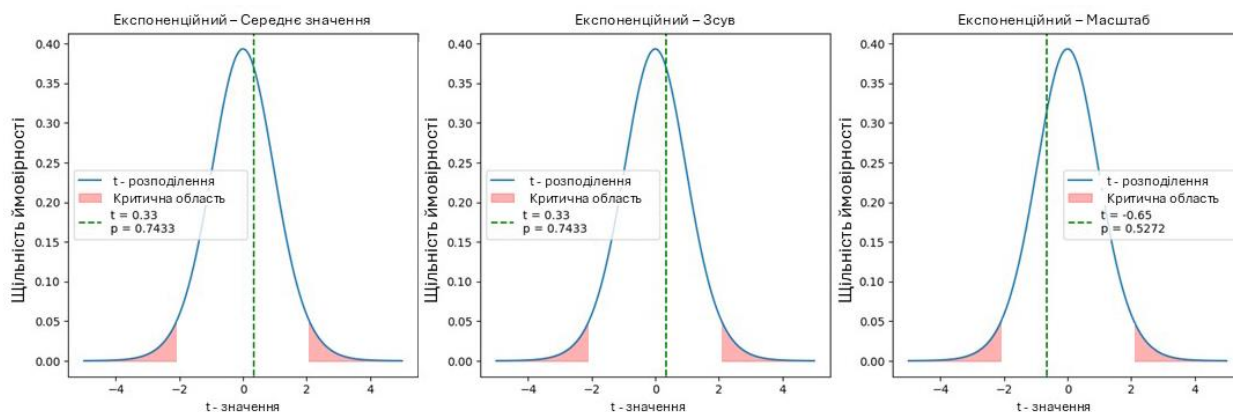


Рисунок 3 - Застосування t-тесту для перевірки на статистичну однорідність обчислювальних експериментів за експоненціальним законом розподілення:
а) - середнє значення; б) зсув; в) масштаб

В результаті проведення t-аналізу для перевірки на статистичну однорідність, зокрема послідовного опрацювання спеціальних критеріїв - середніх, зсувів та масштабів - розрахункові значення не показали значущих відмінностей між експериментами.

Отже, виконані розрахунки за припущеннями непараметричної статистики показали можливість застосування для перевірки статистичної однорідності для законів, відмінних від нормального, зокрема для симетричного (логістичний) та асиметричного (експоненціальний). Таким чином, наведений алгоритм розрахунку показав працездатність водночас із розрахунковою нескладністю для попередньої оцінки статистичної однорідності в заданих умовах.

Висновки. У роботі продемонстровано застосування методу непараметричної статистики для перевірки статистичної однорідності вибірок часових рядів, для яких закони розподілу невідомі або мають складну форму та відмінні від нормального. Поставлена задача вирішена поетапно: виконано імітаційне моделювання вибірок часових рядів з відомими законами розподілу логістичним (симетричним) та експоненціальним (асиметричним), застосований метод ранжування для отриманих даних, для кожної вибірки обчислені основні статистичні характеристики - середні значення, мінімуми, максимуми, а також основні спеціальні критерії - зсуви та масштаби; перевірена статистична однорідність вибірок із застосуванням t-тесту.

Результати обчислювальних експериментів показали, що непараметричний аналіз основних статистичних характеристик та значень спеціальних критеріїв надає попередню якісну оцінку перевірки статистичної однорідності вибірок з законом розподілення відмінним від нормального, зокрема для логістичного (симетричного) і експоненціального (асиметричного). Наведений розрахунковий алгоритм застосованого непараметричного методу зручний для комп'ютерного моделювання – не потребує спеціалізованого програмного забезпечення та великих обчислювальних ресурсів, що постає певною перевагою в інженерних розрахунках для попереднього визначення або додаткової перевірки статистичної однорідності вибірок часових рядів. Результати роботи збільшують практичну площину застосування методів непараметричної статистики для комплекс-

ного статистичного аналізу часових рядів з законом розподілення відмінним від нормального. Подальші дослідження у визначеному напрямі будуть пов'язані із вдосконаленням непараметричних методів аналізу вибірок спостереження за станом технічних або природних об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Malaichuk, V., Klymenko, S., & Astakhov, D. (2023). Computer Processing of Measurements in Problems of Observation of the Condition of Technical Objects. *Journal of Rocket-Space Technology*, 30(4), 99-106. <https://doi.org/10.15421/452213>
2. Kobzar, A. I. (2006). *Applied Mathematical Statistics: For Engineers and Researchers*. M.: Fizmatlit.– P. 816
3. GailF. FahoomeTwenty Nonparametric Statistics And Their Large Sample Approximations / *Journal of Modern Applied Statistical Methods*. No2, Wayne State University, 2002. p.248–268.
4. Hajek J. *Nonparametric Statistics*. Holden-Day, San Francisco, 1969. – P. 346.
5. Таблиці функцій та критичних точок розподілів. Розділи: Теорія ймовірностей. Математична статистика. Математичні методи в психології. / уклад. М. М. Горонескуль. Харків: УЦЗУ, 2009. 90с.
6. Турчин В.М. Теорія ймовірностей і математична статистика: навч. пос. Дніпропетровськ: ІМА, 2014. 556 с.
7. Рогач І.М., Керецман А.О., Сіткара А.Д. Правильно вибраний метод статистичного аналізу – шлях до якісної інтерпретації даних медичних досліджень. Науковий вісник Ужгородського університету, серія «Медицина», випуск 2 (56), 2017 р. Режим доступу: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/31008/1/25>.
8. Сисак Р.М. Оптимізація алгоритмічно-програмного забезпечення автономних вимірювальних модулів розподілених діагностичних систем, ISSN 1607-7970. Техн. електродинаміка. № 3, Київ 2018.
9. Дорожовець М. Дослідження впливу кореляції результатів спостережень на непевність коефіцієнтів та прогнозованих значень лінійної регресії, Вимірювальна техніка та метрологія, № 69, Львів, 2008 р.

REFERENCES

1. Malaichuk, V., Klymenko, S., & Astakhov, D. (2023). Computer Processing of Measurements in Problems of Observation of the Condition of Technical Objects. *Journal of Rocket-Space Technology*, 30(4), 99-106. <https://doi.org/10.15421/452213>
2. Kobzar, A. I. (2006). *Applied Mathematical Statistics: For Engineers and Researchers*. M.: Fizmatlit.– P. 816
3. GailF. FahoomeTwenty Nonparametric Statistics And Their Large Sample Approximations / *Journal of Modern Applied Statistical Methods*. No2, Wayne State University, 2002. p.248–268.
4. Hajek J. *Nonparametric Statistics*. Holden-Day, San Francisco, 1969. – P. 346.

5. Tables of functions and critical points of distributions. Sections: Probability theory. Mathematical statistics. Mathematical methods in psychology / compiled by. M. M. Goroneskul. Kharkiv: UCZU, 2009. 90с.
6. Turchyn V.M. Probability theory and mathematical statistics: a textbook. Dnipropetrovsk: IMA, 2014. 556 с.
7. Rohach IM, Keretsman AO, Sitkar AD. Correctly chosen method of statistical analysis is the way to qualitative interpretation of medical research data. Scientific Bulletin of Uzhhorod University, series "Medicine", issue 2 (56), 2017. Access mode: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/31008/1/25>.
8. Sysak R.M. Optimization of algorithmic and software support of autonomous measuring modules of distributed diagnostic systems, ISSN 1607-7970. Techn. electrodynamics. No. 3, Kyiv 2018.
9. Dorozhovets M. Investigation of the influence of correlation of observation results on the uncertainty of coefficients and predicted values of linear regression, Measuring Technology and Metrology, No. 69, Lviv, 2008.

Received 02.06.2025.
Accepted 09.06.2025.

Non-parametric statistics of random variables with unknown probability distribution functions

The paper is devoted to the actual problem of data analysis with unknown distributions, where classical parametric methods are ineffective. On the example of two types of distributions (logistic (symmetric) and exponential (asymmetric)), the application of a nonparametric approach, which consists of the stages of ranking and analysis of extreme values, is shown. Purpose: to conduct a qualitative analysis of the statistical homogeneity of time series by evaluating the main special criteria of samples - shifts and scales, to identify the advantages of such approaches for determining or further verifying the statistical homogeneity of time series samples. Research methods: The paper uses basic methods of nonparametric statistics: nonparametric criteria for statistical homogeneity are applied to simulation models of samples. For samples with logistic and exponential distribution laws, their statistical parameters were found and analyzed and tested for statistical homogeneity. Practical novelty of the study: the approach to testing for statistical homogeneity presented in the paper expands the practical scope of applying nonparametric statistics methods for complex statistical analysis of time series with a distribution law other than normal. Applications: the results of the study can be used in areas requiring the analysis of statistical homogeneity of data, in particular in engineering to monitor the condition of technical objects and systems, in sociological research to identify significant differences between groups, in the medical field to control the quality of laboratory measurements.

Keywords: nonparametric statistics, statistical homogeneity, distribution of random variables, ranking, averages, shifts, scales, computer modeling.

Федоренко Олексій Денисович - аспірант кафедри кібербезпеки і комп'ютерно-інтегрованих технологій, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Клим Вікторія Юріївна - кандидат технічних наук, доцент кібербезпеки та інформаційних технологій, кафедра кібербезпеки і комп'ютерно-інтегрованих технологій, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Клименко Світлана Володимирівна - завідувач кафедри кібербезпеки та комп'ютерно-інтегрованих технологій, кандидат технічних наук, доцент кафедри кібербезпеки і комп'ютерно-інтегрованих технологій, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Fedorenko Oleksii Denysovych - Postgraduate Student, Department of Cybersecurity and Computer-Integrated Technologies, Oles Honchar Dnipro National University

Klym Viktoriia Yuriiivna - PhD in Engineering, Associate Professor of Cybersecurity and Information Technologies, Department of Cybersecurity and Computer-Integrated Technologies, Oles Honchar Dnipro National University

Klymenko Svitlana Volodymyrivna - Head of the Department of Cybersecurity and Computer-Integrated Technologies, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Cybersecurity and Computer-Integrated Technologies, Oles Honchar Dnipro National University