

УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

## РАНГОВО-СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ГЕНЕРАТОРОВ СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ

*Адамонис А.В.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: Ролич О.Ч. – канд.техн.наук, доцент, доцент кафедры ПИКС*

**Аннотация.** Экспериментально исследован метод рангово-спектрального анализа генераторов случайных чисел. Генераторы с различными видами распределения проанализированы по необходимым признакам качества. В результате исследования установлено, что все рассматриваемые генераторы соответствуют необходимым требованиям.

**Ключевые слова:** генератор случайных чисел, рангово-спектральный анализ, спектрограмма, упорядоченный набор чисел

**Введение.** В настоящее время числа, которые выбираются случайным образом, находят множество полезных применений, вследствие чего разработано достаточно большое количество различных генераторов последовательностей случайных чисел. Одним из наиболее важных показателей случайных последовательностей является их качество, которое в свою очередь характеризуется непредсказуемостью рядов, независимостью и неповторяемостью числовых фрагментов, стационарностью генератора [2, 3].

Суть рангово-спектрального анализа генераторов случайных чисел состоит в анализе упорядоченного набора формируемой им последовательности, а также анализе спектрограммы. Качество генератора оценивается по степени стационарности и стохастичности распределения, и равномерности структуры спектрограммы.

**Основная часть.** Рангово-спектральный способ оценки качества генераторов случайных чисел в данном исследовании проведен для последовательностей с нормальным распределением, равномерным распределением и треугольным распределением Симпсона. Для анализа общая длина случайной числовой последовательности выбиралась равной 50000 элементов, шаг перемещения выборки при построении спектрограммы 256. В оконных преобразованиях использовалась прямоугольная весовая функция [1].

На рисунке 1 изображены результаты проведения рангово-спектрального анализа генератора случайных последовательностей с равномерным распределением.

Анализируя упорядоченный набор чисел, полученных с помощью рассматриваемого генератора, а также отдельные его фрагменты, можно сделать вывод о том, что последовательность действительно соответствует равномерному распределению. Об этом свидетельствует приблизительно одинаковое число повторений значений в каждом числовом диапазоне. Также принадлежность данной последовательности к равномерному распределению подтверждается гистограммой распределения, представленной на рисунке 1, (б): гистограмма последовательности имеет очевидное визуальное сходство с равномерным распределением. Аналогичным образом обосновывается соответствие остальных последовательностей. Результаты рангово-спектрального преобразования числовых последовательностей с нормальным распределением и треугольным распределением Симпсона представлены на рисунках 2 и 3 соответственно.

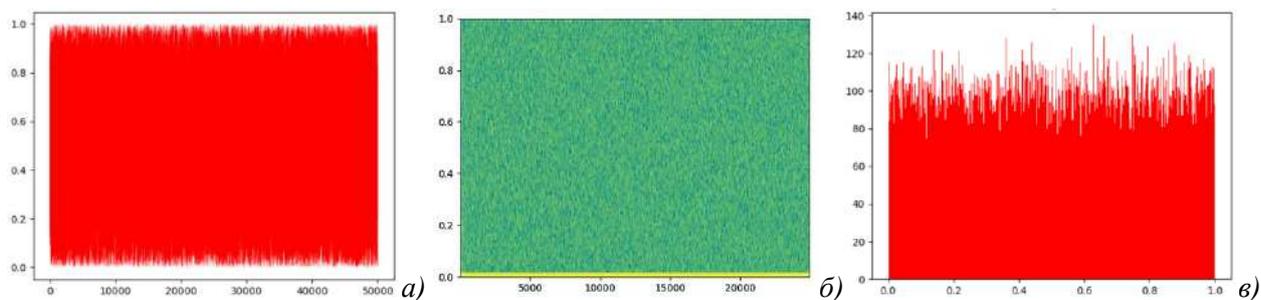


Рис 1. Результаты рангово-спектрального преобразования числовой последовательности с равномерным распределением: *а)* – график числовой последовательности; *б)* – спектрограмма числовой последовательности; *в)* – гистограмма числовой последовательности.

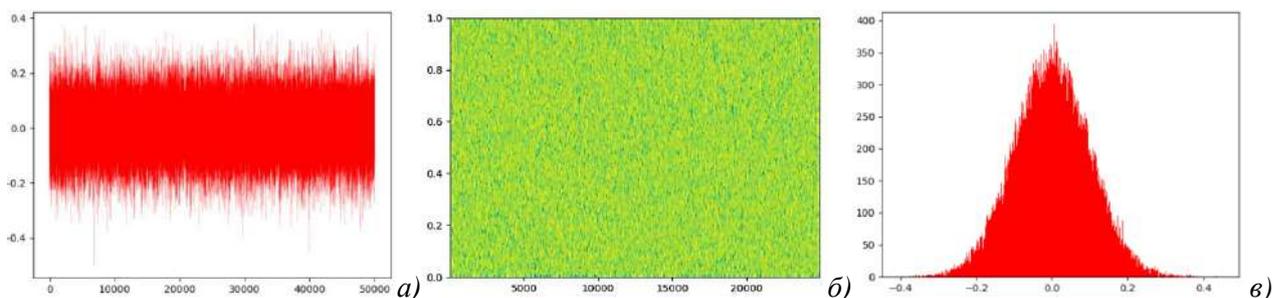


Рис 2. Результаты рангово-спектрального преобразования числовой последовательности с нормальным распределением: *а)* – график числовой последовательности; *б)* – спектрограмма числовой последовательности; *в)* – гистограмма числовой последовательности.

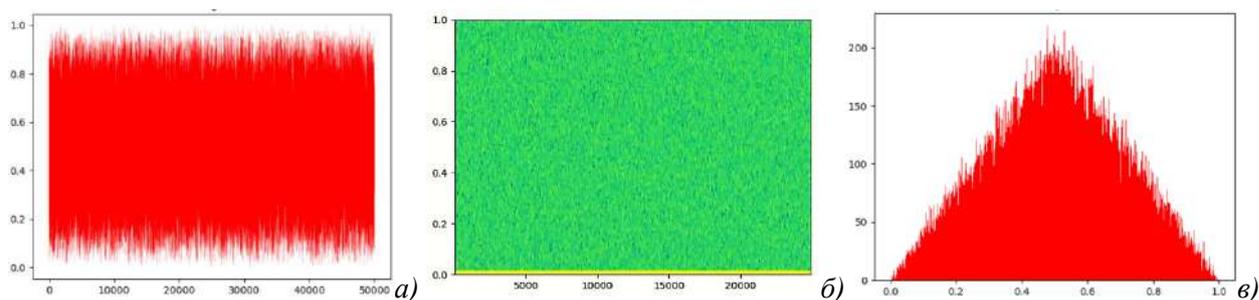


Рис 3. Результаты рангово-спектрального преобразования числовой последовательности с треугольным распределением Симпсона: *а)* – график числовой последовательности; *б)* – спектрограмма числовой последовательности; *в)* – гистограмма числовой последовательности.

Принадлежность выше описанных видов распределения подтверждается гистограммами распределения. Гистограммы рисунков 2 и 3 имеют сходство с заданными распределениями: 2, (*в*) – с нормальным распределением, 3, (*в*) – с треугольным распределением Симпсона.

На основании соответствия упорядоченных числовых наборов, а также подобия гистограмм числовых последовательностей можно сделать вывод о стационарности выбранных генераторов случайных чисел.

Проанализировав полученные спектрограммы, в частности спектрограмму числовой последовательности с равномерным распределением (рис. 1, (*б*)), нормальным распределением (рис. 2, (*б*)) и треугольным распределением Симпсона (рис. 3, (*б*)), можно сделать вывод, что они имеют схожую структуру в виде равномерного шума, что свидетельствует о хорошем качестве генератора, высоком уровне стохастичности и независимости генерируемых им числовых последовательностей.

Стационарность генератора и стохастичность случайной последовательности можно оценить по таким показателям, как коэффициент линейности зависимостей энергетических центров от горизонтального и вертикального направлений, а также отклонение от центра спектрограммы точки со средними координатами кривых, построенных на максимумах (минимумах) каждой строки (столбца) спектрограммы.

Генераторы исследуемых случайных последовательностей были оценены по выше представленным показателям. Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели качества генераторов случайных чисел.

Вид распределения	Показатели спектрограммы		
	Угол отклонения от вертикали аппроксимирующей прямой для множества энергоцентров строк, °	Угол отклонения от горизонтали аппроксимирующей прямой для множества энергоцентров столбцов, °	Радиальное отклонение от середины изображения геометрического центра для множества координат максимумов по строкам и столбцам, %
Равномерное	-0.124836	-0.034856	2.428
Нормальное	-0.015923	-0.014823	2.924
Треугольное Симпсона	-0.135816	-0.248520	3.467

Для оценки стационарности генератора установлен порог по абсолютным значениям углов отклонений от вертикали (горизонтали) аппроксимирующих прямых для множеств энергоцентров строк (столбцов) равный  $1.0^\circ$ , а для оценки стохастичности порог по радиальному отклонению от середины спектрограммы геометрического центра для множества координат максимумов по строкам и столбцам равен 5 %. Соответственно, с точки зрения оценки стохастичности генераторы последовательностей с равномерным, нормальным распределениями, а также треугольным распределением Симпсона считаются удовлетворительными [4].

**Заключение.** Анализ генератора случайных чисел проведен с помощью рангово-спектрального метода. Проанализированы упорядоченные наборы случайных чисел, а также спектрограммы последовательностей с различными видами распределения, в результате чего обосновано соответствие исследуемых генераторов надлежащим признакам качества.

### Список литературы

1. Киселёва, М. П. Формирование случайного массива с заданным законом распределения на основе генератора с равномерным законом распределения / М. П. Киселёва, О. Ч. Ролч // Интеллектуальные, сенсорные и мехатронные системы-2021: сборник научных трудов (по материалам студенческих научно-технических конференций). – Минск: БНТУ, 2021. – С. 17 – 19. – Режим доступа : <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/94437/17-19.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
2. Колесова, Н. А. Оценка качества генераторов последовательностей случайных чисел / Н. А. Колесова // Вестник АГТУ. – 2011. – № 1. – С. 119 – 123. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-kachestva-generatorov-posledovatelnostey-sluchaynyh-chisel/viewer>.
3. Ажмухамедов, И. М. Методика оценки качества последовательности случайных чисел / И. М. Ажмухамедов, Н. А. Колесова // Вестник АГТУ. – 2010. – № 2. – С. 141 – 148. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-otsenki-kachestva-posledovatelnosti-sluchaynyh-chisel/viewer>.
4. Адамонис, А. В. Спектрально-статистический анализ генераторов случайных чисел / А. В. Адамонис // Интеллектуальные, сенсорные и мехатронные системы-2022: сборник научных трудов (по материалам студенческих научно-технических конференций). – Минск: БНТУ, 2022. – (в печати).

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

## RANK-SPECTRAL METHOD FOR ANALYSING RANDOM NUMBER GENERATORS

Adamonis A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Rolich O.Ch. – PhD, assistant professor, associate professor of the department of ICSD

**Annotation.** The method of random-static analysis of random number generators has been experimentally investigated. Generators with different distribution methods are analyzed according to the necessary quality criteria. As a result of the study, it was found that all the considered generators meet the necessary requirements.

**Keywords.** Random number generator, rank-spectral analysis, spectrogram, ordered set of numbers