



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
“Национальный исследовательский университет ИТМО”

**ФАКУЛЬТЕТ ПРОГРАММНОЙ ИНЖЕНЕРИИ  
И КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ**

**Учебно-исследовательская работа №1**

по дисциплине  
“Моделирование”

**Выполнили:**

Боринский Игорь Дмитриевич

Болорболд Аригуун

**Преподаватель:**

Тропченко Андрей Александрович

**Санкт-Петербург  
2024 год**

## Цель работы

Изучение методов обработки и статистического анализа результатов измерений на примере заданной числовой последовательности путем оценки числовых моментов и выявления свойств последовательности на основе корреляционного анализа, а также аппроксимация закона распределения заданной последовательности по двум числовым моментам случайной величины.

## Порядок выполнения работы

В ходе выполнения работы было проведено исследование числовой последовательности, состоящей из 10, 20, 50, 100, 200 и 300 значений случайной величины. Были проведены следующие операции:

- Оценка числовых моментов последовательности: математическое ожидание, дисперсия, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации и доверительные интервалы для математического ожидания.
- Построение графика значений числовой последовательности для анализа её характера.
- Выполнение автокорреляционного анализа для проверки случайности последовательности.
- Построение гистограммы распределения частот.
- Аппроксимация закона распределения числовой последовательности.
- Генерация последовательности случайных величин по аппроксимирующему закону распределения и её анализ.
- Сравнительный анализ сгенерированной последовательности с исходной.
- Оценка корреляционной зависимости между сгенерированной и исходной последовательностями.

# Результаты

## Оценка числовых моментов

Были рассчитаны следующие числовые характеристики для разных объемов выборок (10, 20, 50, 100, 200, 300):

								Форма 1
Характеристики заданной ЧП (вариант 114)								
Характеристики		Количество случайных величин						
		10	20	50	100	200	300	
Мат. ож.	Знач.	15,16	13,0707	24,121	25,486	25,563	25,946	
	%	58,43	50,3766	92,965	98,227	98,524		
Дов. инт. (0,9)	Знач.	1,6071	1,439	3,124	3,683	3,581	3,665	
	%	43,85	39,2633	85,239	100,49	97,708		
Дов. инт. (0,95)	Знач.	1,9168	1,7101	3,726	4,392	4,271	4,3715	
	%	43,848	39,1193	85,234	100,47	97,701		
Дов. инт. (0,99)	Знач.	2,525	2,253	4,908	5,786	5,627	5,759	
	%	43,844	39,1214	85,223	100,47	97,708		
Дисперсия	Знач.	284,62	226,548	1075,3	1494,5	1413,4	1480,35	
	%	19,227	15,3037	72,639	100,96	95,474		
С. к. о.	Знач.	16,871	15,052	32,792	38,659	37,595	38,475	
	%	43,849	39,1215	85,229	100,48	97,713		
К-т вариации	Знач.	111,28	115,155	135,95	151,69	147,07	148,29	
	%	75,044	77,6553	91,678	102,29	99,175		

Рис. 1: Характеристики заданной числовой последовательности (Форма 1)

## График значений числовой последовательности

Был построен график значений последовательности для визуального анализа её характера. Данная последовательность не является монотонной, имеет случайный характер.

## Автокорреляционный анализ

Автокорреляционный анализ был выполнен для сдвигов 1–10. Результаты представлены как в числовом виде (Форма 3), так и на графике. Для оценки случайности последовательности использовалось пороговое значение коэффициента автокорреляции — 0,2. Если автокорреляция на сдвиге превышает это значение, последовательность можно считать неслучайной. Но как видно из таблицы и графика, ни одно из значений коэффициентов корреляции для исходной последовательности не превышает даже 0,1 – исходя из этого можно сделать вывод, что числовая последовательность является случайной.

## Гистограмма распределения частот

Гистограмма распределения частот для числовой последовательности построена для анализа распределения данных.

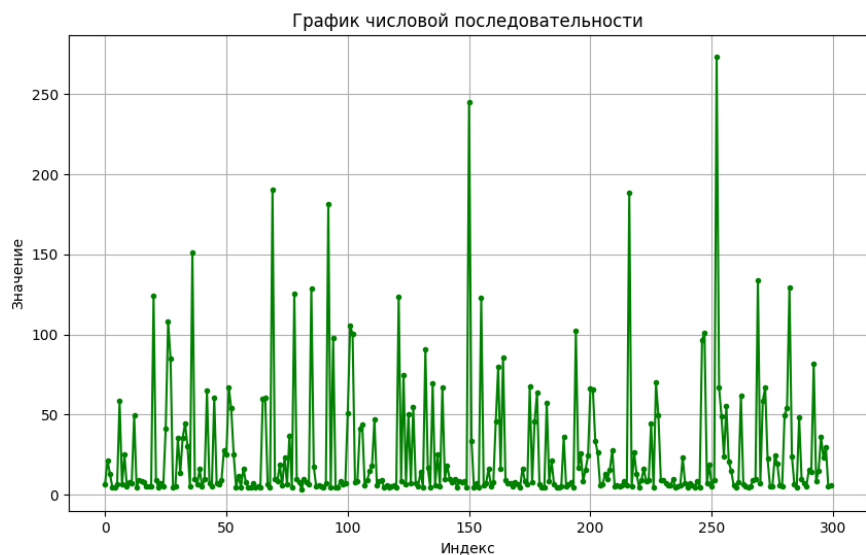


Рис. 2: График значений заданной числовой последовательности

										Форма 3
Коэффициенты автокорреляции										
Сдвиг ЧП	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
К-т АК для задан. ЧП	-0,01	-0,01	-0,08	-0,08	-0,01	0,006	0,036	-0,11	0,075	-0,01
К-т АК для сгенерир. ЧП	-0,1	-0,05	-0,06	0,019	-0,05	-0,06	0,074	0,026	-0,05	-0,05
%	1239	384,3	75,57	-24,9	384	-960	203,9	-24,3	-71,6	587,6

Рис. 3: Коэффициенты автокорреляции (Форма 3)

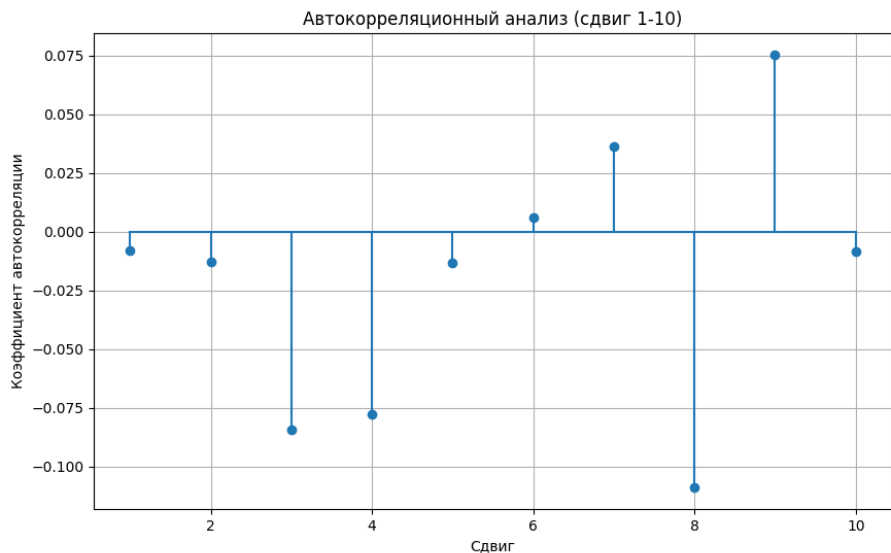


Рис. 4: Автокорреляционный анализ (сдвиги 1-10)

## Аппроксимация закона распределения

По результатам расчета коэффициента вариации  $K_V = 148.29\%$ , аппроксимация закона распределения выполнена с использованием гиперэкспоненциального распределения.

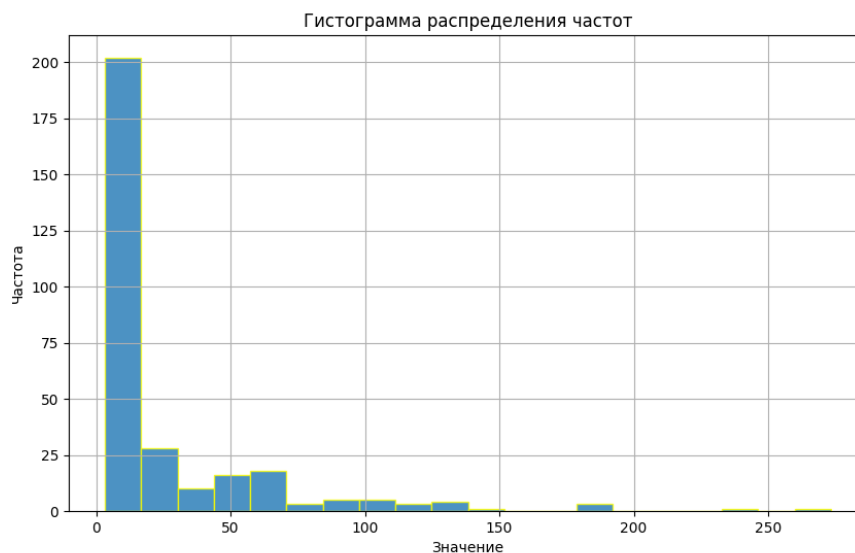


Рис. 5: Гистограмма распределения частот заданной последовательности



Рис. 6: Сравнение значений исходной и сгенерированной последовательностей

## Сравнительный анализ сгенерированной и исходной последовательностей

Был выполнен сравнительный анализ сгенерированной последовательности с исходной. Полученные значения были проанализированы, и было выявлено, что коэффициент корреляции между исходными и сгенерированными данными составляет  $-0.0237$ , что указывает на слабую отрицательную корреляцию между данными.

## Характеристики сгенерированной последовательности

Характеристики сгенерированной последовательности сведены в таблицу (Форма 2).

							Форма 2
Характеристики сгенерированной случайной ЧП							
<b>Закон распределения: Гиперэкспоненциальное</b>							
Характеристики		Количество случайных величин					
		10	20	50	100	200	300
Мат. ож.	Знач.	13,73	17,08	29,15	17,88	21,63	18,64
	%	73,659	91,6309	156,38	95,923	116,04	
Дов. инт. (0,9)	Знач.	0,8627	1,96645	4,6377	2,4547	3,0825	2,13019
	%	40,497	92,3134	217,71	115,23	144,7	
Дов. инт. (0,95)	Знач.	1,0289	2,3454	5,5315	2,9278	3,6765	4,84312
	%	21,245	48,4275	114,21	60,452	75,912	
Дов. инт. (0,99)	Знач.	1,3554	3,0896	7,2867	3,8568	4,8431	3,34689
	%	40,497	92,3126	217,71	115,23	144,71	
Дисперсия	Знач.	82,01	4226,13	2370,2	664,01	1047,1	500,04
	%	16,401	845,158	474	132,79	209,4	
С. к. о.	Знач.	9,06	20,64	48,68	25,77	32,36	22,36
	%	40,519	92,3077	217,71	115,25	144,72	
К-т вариации	Знач.	65,97	120,86	167,02	144,09	149,62	119,94
	%	55,003	100,767	139,25	120,14	124,75	

Рис. 7: Характеристики сгенерированной числовой последовательности (Форма 2)

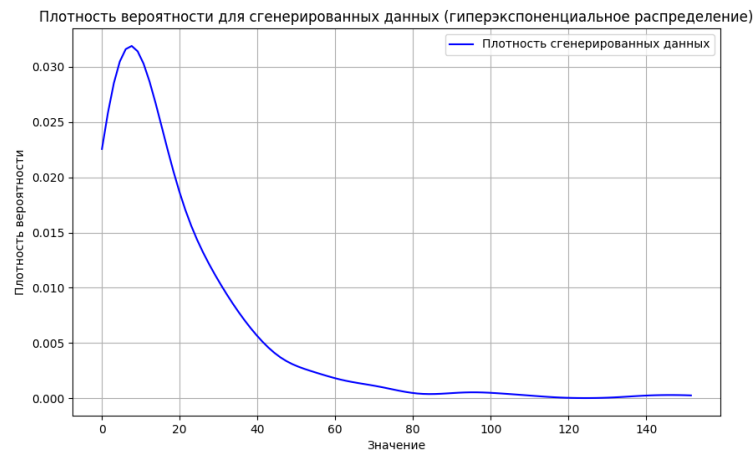


Рис. 8: Плотность распределения сгенерированной числовой последовательности

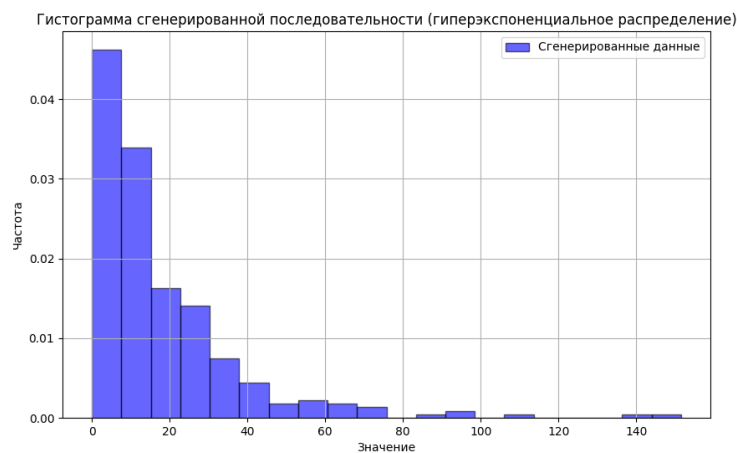


Рис. 9: Гистограмма сгенерированной числовой последовательности



Рис. 10: Сравнение числовых рядов исходной и сгенерированной последовательностей

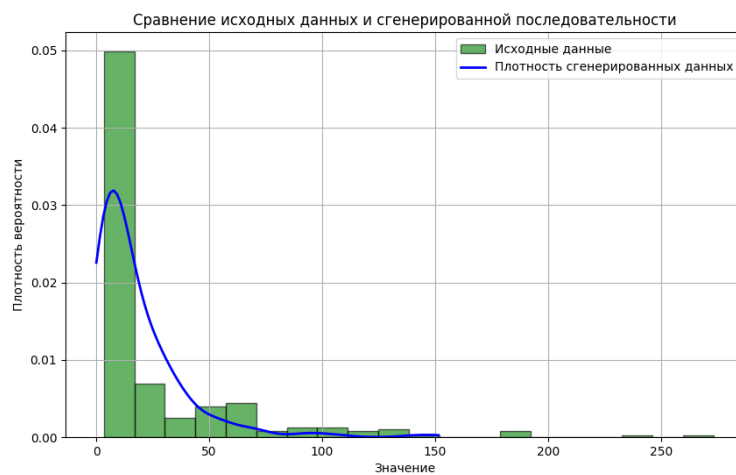


Рис. 11: Сравнение плотности распределения сгенерированной последовательности с гистограммой распределения частот исходных данных



Рис. 12: Сравнение гистограмм исходной и сгенерированной последовательностей

## Выводы

На основе проведённого анализа можно сделать следующие выводы:

- Заданная числовая последовательность имеет случайный характер, что подтверждается автокорреляционным анализом.
- Аппроксимация последовательности с использованием гиперэкспоненциального распределения позволяет сгенерировать последовательность, которая имеет схожие статистические характеристики.
- Коэффициент корреляции между исходной и сгенерированной последовательностями показывает слабую отрицательную корреляцию, что указывает на малую зависимость между двумя последовательностями.