

Поносов Виктор Павлович, Магистрант
Алтайский государственный университет
Ponosov Viktor Pavlovich
Altai state university

РАЗРАБОТКА ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА К ОБНАРУЖЕНИЮ АТАК В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

Аннотация. В статье рассматривается разработка вероятностного подхода к обнаружению атак в беспроводных сенсорных сетях на физическом уровне.

Ключевые слова: беспроводные сенсорные сети (БСС), математическая статистика, информационная безопасность (ИБ), киберфизические системы (КФС, CSP), IOT – устройства.

Современные информационные технологии активно развиваются, что сопровождается широким распространением киберфизических систем (КФС). Важную роль в их функционировании играют беспроводные сенсорные сети (БСС), в которых обеспечение защиты, конфиденциальности и доступности информации представляет не простую и острую проблему. Актуальность разработки методов выявления аномалий в беспроводных сенсорных сетях продиктована рядом специфических характеристик данных систем, а также устойчивой тенденцией роста киберугроз в современном цифровом пространстве. Подобные угрозы способны причинить существенный вред различного характера: от прямых финансовых убытков до возникновения ситуаций, представляющих непосредственную опасность для здоровья и жизни человека, данные аспекты регламентирует 187 ФЗ РФ от 12 июля 2017 года. Благодаря приведенным исследованием компанией International Data Corporation, стали известны данные о затратах на обеспечение безопасности данных за 2019 и 2022 годы, которые составили семьсот сорок пять миллиардов долларов, а спустя три года превысили один триллион долларов [1]. Согласно аналитическим данным долгосрочного прогноза научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года, ожидается стремительный рост количества подключенных беспроводных устройств, которое приблизится к отметке 30,1 миллиарда единиц [3]. В этот показатель войдут:

- промышленные киберфизические системы нового поколения (Индустрия 4.0) [2];
- автоматизированные системы управления жилыми помещениями ("Умный дом") [4];
- медицинские устройства мониторинга состояния пациентов [4];
- экологические сенсорные сети [4];
- прочие элементы экосистемы интернета вещей (IoT) [4];
- особого внимания заслуживает динамика развития каждого из указанных сегментов [4];
- промышленные системы демонстрируют ежегодный прирост на 17-23% [4];
- решения для умного дома увеличивают свою долю на рынке на 31% в год [4];
- медицинские IoT – устройства показывают стабильный рост в 28% ежегодно [4].

Однако существующие подходы не обеспечивают должного уровня защиты данных в БСС из-за их ограниченных ресурсов: малой памяти, недостаточной вычислительной мощности и энергопотребления. Традиционные методы защиты и системы обнаружения вторжений (COV) оказываются неэффективными. Анализ угроз на основе базы данных ФСТЭК показал, что наибольшую опасность представляют атаки сетевого уровня (в рамках модели OSI). Среди популярных методов обнаружения атак выделяют мониторинг аномалий и сигнатурный анализ. Однако первый метод часто дает ложные срабатывания, так как не всегда возможно определить причину отклонения (атака, сбой или изменения среды). Второй метод требует постоянного обновления базы сигнатур, что затруднительно для БСС. Алгоритмы, основанные на репутации, демонстрируют высокую точность, но слишком ресурсоемки [2].

В данной работе предлагается использовать поведенческий анализ, где под "поведением" понимается совокупность параметров сети в определенный момент времени. Этот подход пока недостаточно изучен, что делает исследование особенно актуальным.



Главной задачей математической статистики является исследование случайных процессов и явлений при помощи полученных данных [5]. Под случайностью принято понимать, что данные получены в результате наблюдения за процессом или проведением эксперимента. Также к основным принципам можно отнести следующие показатели. Выборка – это сбор данных, который осуществляется путем формирования выборки частичного набора показателей и отражающий свойства генеральной совокупности выборки. Количество статистических выводов напрямую зависит от репрезентативности выборки, к этим свойствам можно отнести размер, способы формирования, а также отсутствие систематических ошибок. Грамотное построение выборки является основополагающим принципом статистического анализа [5]. Статистическая оценка является одной из центральных задач математической статистики является оценка неизвестных параметров генеральной совокупности на основе выборочных данных. Полученные оценки позволяют не только приближённо определить искомые характеристики, но и оценить точность таких расчётов. Кроме того, они служат основой для проверки статистических гипотез и сравнения различных выборок [5]. Вероятность. Вероятностные модели играют фундаментальную роль в статистике, обеспечивая математическую основу для анализа случайных данных. С помощью теории вероятностей формализуются статистические методы, описываются распределения случайных величин и обосновываются выводы. Благодаря этому исследователи могут строить достоверные прогнозы и оценивать неопределённость [6]. Интеграция результатов. Важнейший аспект статистического анализа – корректная интерпретация полученных результатов. Это подразумевает не только математическую обработку данных, но и их осмысление в контексте решаемой задачи. Грамотный вывод должен учитывать как теоретические основы статистики, так и специфику исследуемой предметной области [6]. Одной из сфер применения математической статистики является исследование социально – экономических явлений. С ее помощью можно анализировать данные о доходах населения, уровне безработицы, инфляции и других показателях, чтобы выявить закономерности и тенденции развития. На основе статистических данных можно принимать решения о разработке и реализации социально – экономической политики [6]. Математическая статистика имеет широкий спектр применения в различных сферах жизнедеятельности человека.

Для проверки теории было сгенерировано 100 экспериментальных значений в количестве 3 экспериментов с нормальным распределением. Генерация потока данных генерировалась при помощи написанного кода на языке программирования Python использован метод Бокса-Мюллера для генерации нормально распределенных данных.

$$z = \sqrt{-2 \ln(u_i)} * \cos(2\pi u_i), x = \mu + \sigma. \quad (1)$$

В качестве основных параметров было взято среднее 500 и среднее значение 50.

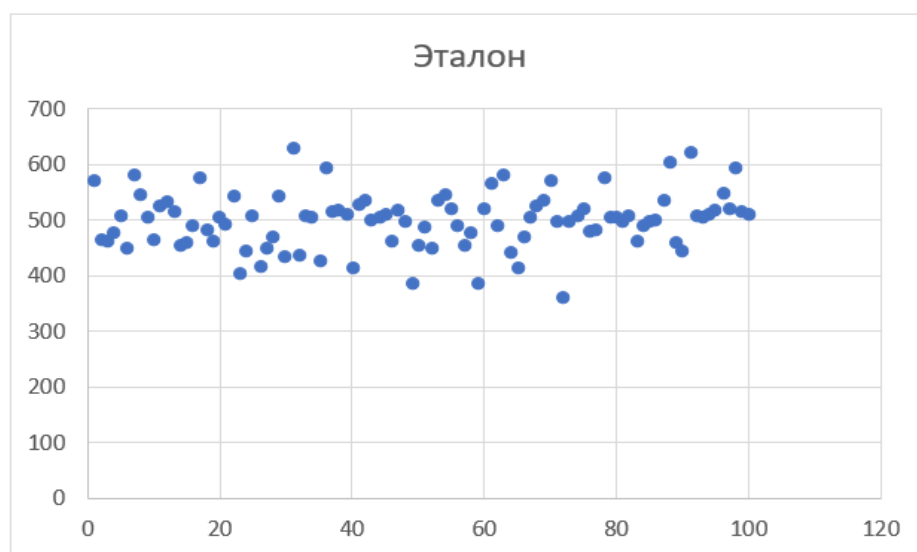


Рис. 1 Спектр эталонного сигнала.



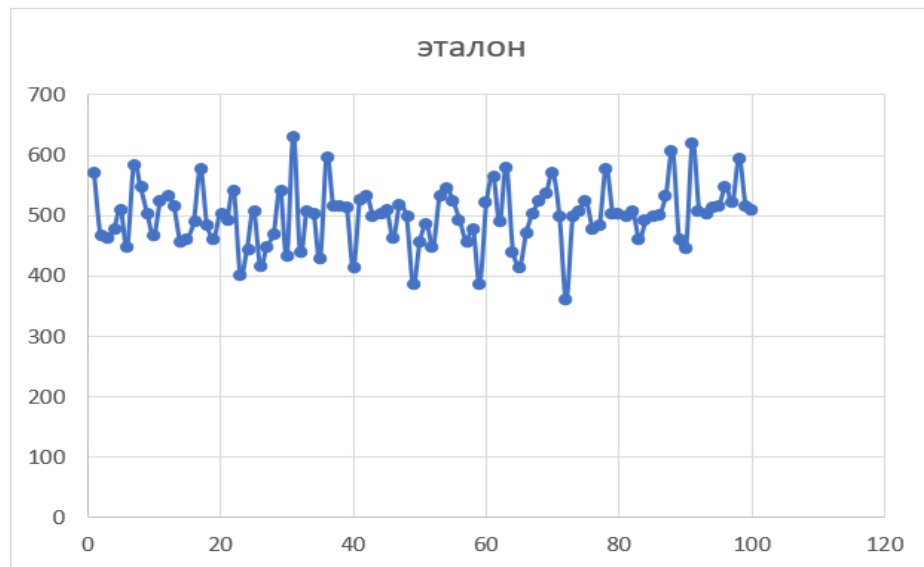


Рис. 2 Спектр эталонного шума с сигналом.

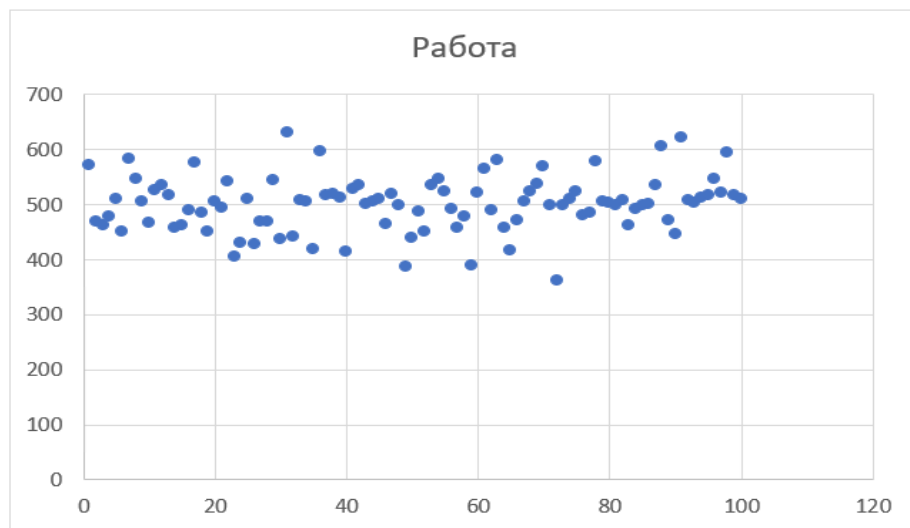


Рис. 3 Спектр рабочего шума с сигналом.

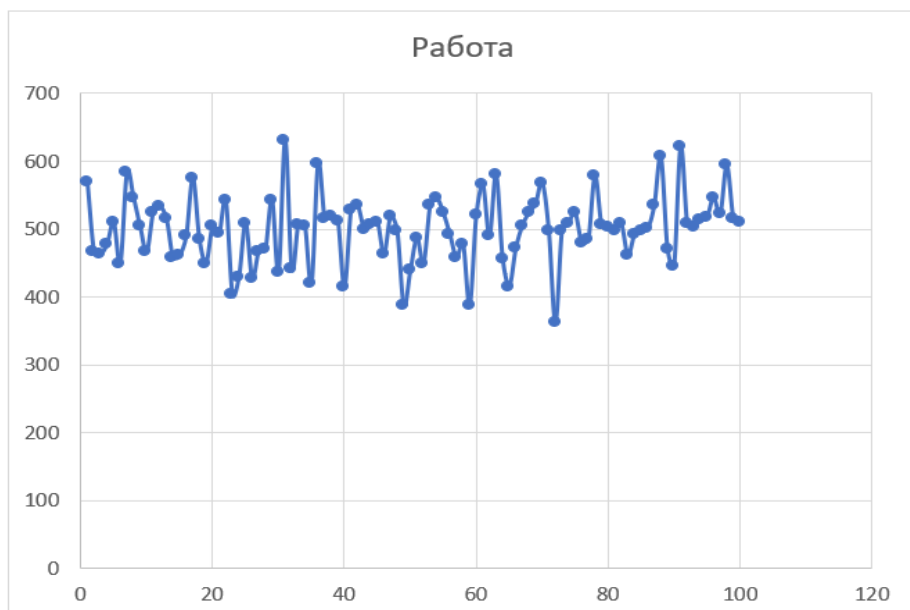


Рис. 4 Спектр рабочего сигнала.



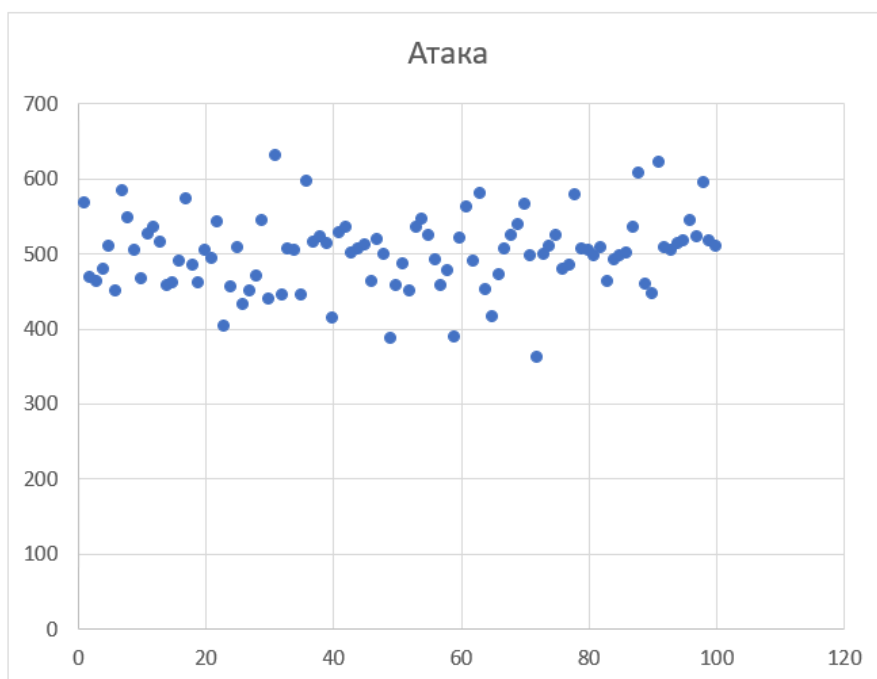


Рис. 5 Спектр сигнала атаки.

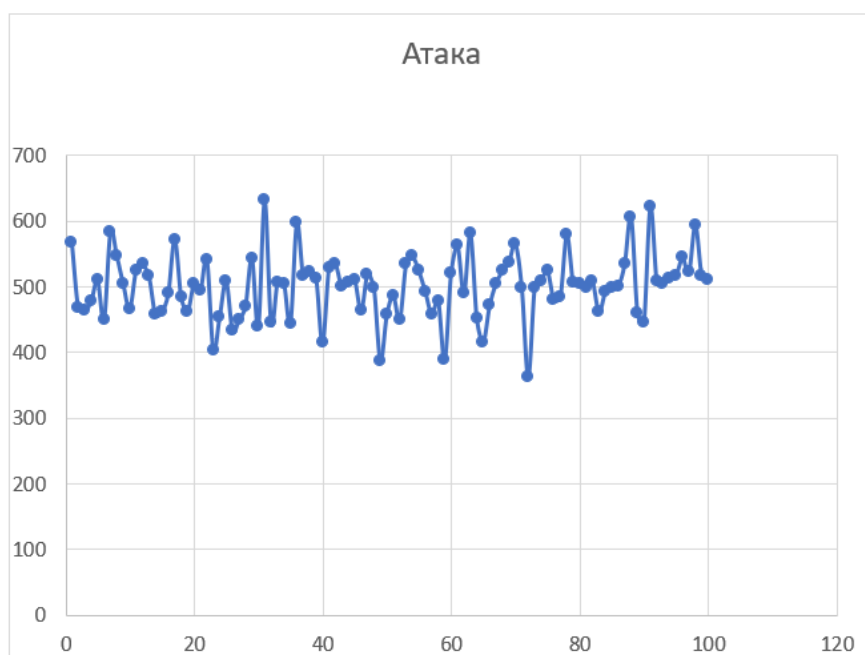


Рис. 6 Спектр сигнала атаки.

В таблице 1 приведена часть изначально полученных данных, для дальнейшей обработки.

Таблица 1

Изначальные данные			
0	Эталон	Работа	Атака
1	572	570	567
2	467,58	467,58	467,58
3	462,62	462,62	462,62



Продолжение таблицы 1

4	477,89	477,89	477,89
5	509,55	509,55	509,55
6	449,35	449,35	449,35
7	583,01	583,01	583,01
9	503,93	503,93	503,93
10	466,34	466,34	466,34
11	525,23	525,23	525,23
12	533,86	533,86	533,86
13	515,66	515,66	515,66
14	457,15	457,15	457,15
15	460,88	460,88	460,88
16	489,6	489,6	489,6
17	576,9	574,9	571,9
18	484,48	484,48	484,48
19	461,51	449,51	461,51
20	504,42	504,42	504,42
21	493,88	493,88	493,88
22	541,58	541,58	541,58
23	403,75	403,75	403,75
24	444,46	429,46	454,46
25	508,54	508,54	508,54
26	417,59	427,59	432,59
27	449,38	467,38	449,38
28	469,52	469,52	469,52
29	543,23	543,23	543,23
30	433,61	435,61	438,61
31	631,22	631,22	631,22
32	439,58	441,58	444,58
33	506,67	506,67	506,67
34	504,54	504,54	504,54
35	429,34	419,34	444,34
36	596,94	596,94	596,94
37	515,78	515,78	515,78
38	517,19	519,19	522,19



Продолжение таблицы 1

39	512,49	512,49	512,49
40	414,07	414,07	414,07
41	528,27	528,27	528,27
42	534,79	534,79	534,79
43	499,94	499,94	499,94
44	505,53	505,53	505,53
45	510,56	510,56	510,56
46	463,29	463,29	463,29
47	519,32	519,32	519,32
48	497,87	497,87	497,87
49	387,28	387,28	387,28
50	456,95	438,95	456,95
51	486,62	486,62	486,62
54	546,19	546,19	546,19
55	523,74	523,74	523,74
56	492,19	492,19	492,19
57	457,36	457,36	457,36
58	477,69	477,69	477,69
59	387,85	387,85	387,85
60	520,81	520,81	520,81
61	567,11	565,11	562,11
62	489,64	489,64	489,64
63	580,58	580,58	580,58
64	441,02	456,02	451,02
65	415,22	415,22	415,22
66	471,51	471,51	471,51
67	505,15	505,15	505,15
68	524,34	524,34	524,34
69	537,58	537,58	537,58
70	570,36	568,36	565,36
71	497,71	497,71	497,71
72	361,98	361,98	361,98
73	498,19	498,19	498,19
74	508,65	508,65	508,65
75	523,58	523,58	523,58
76	478,9	478,9	478,9



Продолжение таблицы 1

77	484,15	484,15	484,15
78	578,63	578,63	578,63
79	505,72	505,72	505,72
80	503,63	503,63	503,63
81	497,46	497,46	497,46
82	507,49	507,49	507,49
83	461,6	461,6	461,6
84	491,89	491,89	491,89
85	497,7	497,7	497,7
86	500,54	500,54	500,54
87	534,86	534,86	534,86
88	606,45	606,45	606,45
89	459,22	471,22	459,22
90	445,48	445,48	445,48
91	621,49	621,49	621,49
92	507,91	507,91	507,91
93	503,28	503,28	503,28
94	512,8	512,8	512,8
95	517,22	517,22	517,22
96	548,85	546,85	543,85
97	521,94	521,94	521,94
98	594,01	594,01	594,01
99	515,86	515,86	515,86
100	510,33	510,33	510,33

Расчет СКО происходит по формуле 2.

$$S_x = \sqrt{D}, \quad (2)$$

где S_x – среднеквадратичное отклонение,

D – дисперсия.

Среднее арифметическое значение рассчитывается по формуле 3.

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^r x_i \cdot P_i = \sum_{i=1}^r x_i \cdot \frac{1}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r x_i, \quad (3)$$

где x_i – текущий результат измерений.

В таблице 2 приведено среднее значение данных и процентное соотношение которое демонстрирует разницу между двумя сигналами по сравнению с эталонными.

Таблица 2

Среднее значение			
Среднее значение			
500,0246	500,0246	500,0246	
Эталон	Работа	Атака	
	0	0	%



Таблица 3

Рассчитанные значения дисперсии и СКО			
Дисперсия для каждого эксперимента			
0	Эталон	Работа	Атака
1	2536,352	2556,839	2358,836
2	50,36221	50,56519	48,56785

Закон трех сигм гласит, что данные, имеющие нормальное распределение, имеют вероятность 0,9972 попадания в отрезок не больше трех сигм в каждой из сторон от математического ожидания, то есть значения расположены в диапазоне $[\mu-3\sigma; \mu+3\sigma]$. На изображении 7, представлен график правила трех сигм и процентное попадания данных в диапазон.

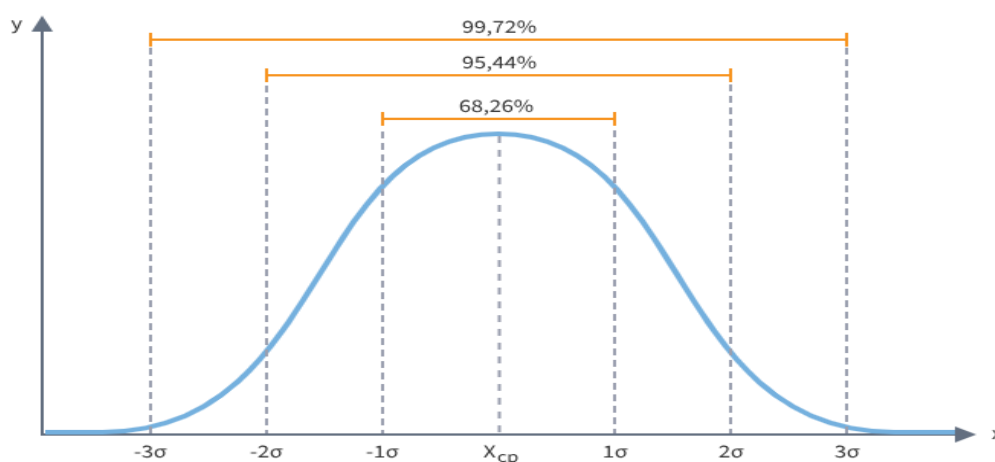


Рис. 7 Правило распределения 3σ.

В таблице 3.3 приведены результаты расчета критерия Пирсона, позволяет проверить гипотезу о том, что экспериментальные данные подчиняются НЗРСВ (нормальному закону распределения случайных величин). Расчет производится по формуле 4.

$$\chi^2 = \sum \frac{(m_i - m_3)^2}{m_3}, \quad (4)$$

где m_3 – эталонные данные,

m_i – тестовые данные.

В таблице 3.2. приведены рассчитанные критерия Пирсона

Таблица 4

Критерий Пирсона

Разбиение на 5 интервалов				Сред			
0	Эталон	Работа	Атака	Эталон	Работа	Атака	
1	53,848	53,848	53,848	134,62	134,62	134,62	
0	Эталон		0	Работа		0	Атака
1	415,828	6	1	415,828	6	1	415,828
2	469,676	22	2	469,676	22	2	469,676
3	523,524	45	3	523,524	45	3	523,524
4	577,372	19	4	577,372	19	4	577,372
5	631,22	8	5	631,22	8	5	631,22
	Итог	100		Итог	100		Итог



Также после разбиения на сегменты данные и расчета частоты получаем гистограммы распределения для каждого эксперимента представлены на рисунке 8 – 9.

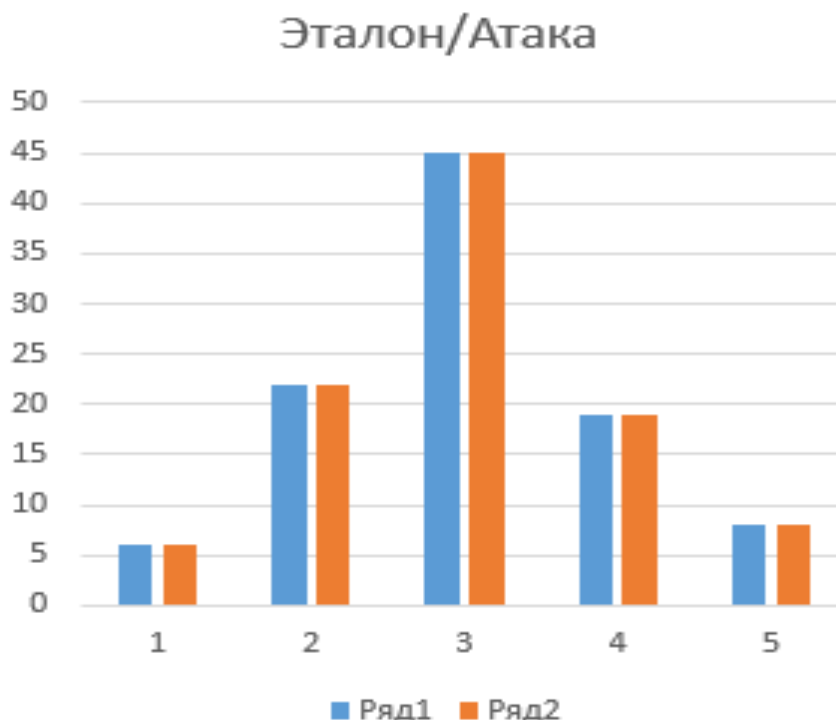


Рис. 8 Гистограммы распределения.

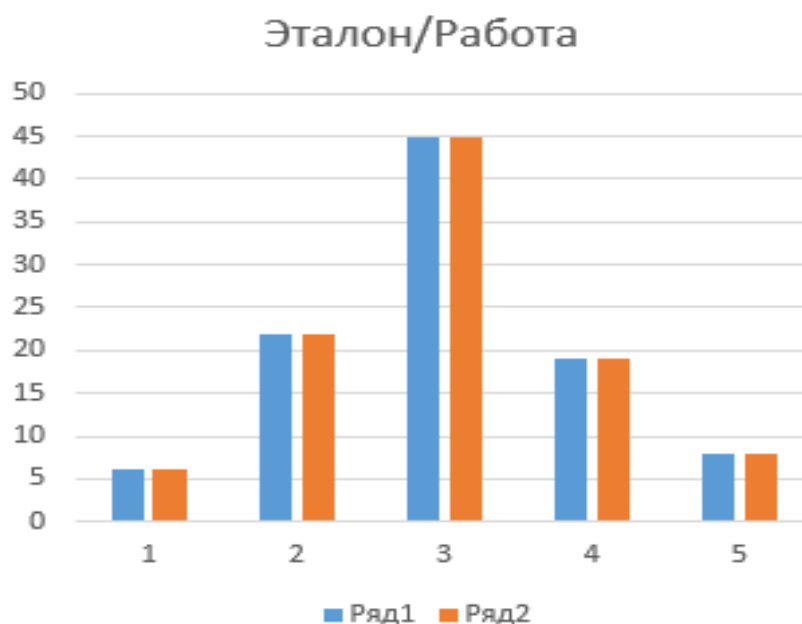


Рис. 9 Гистограммы распределения.

Гистограммы по критерию Фишера совпали, значит данный метод не подходит для нашего случая.

Далее рассмотрим критерий Фишера.

Критерий Фишера (или F-тест) – это статистический критерий, который используется для сравнения дисперсий двух независимых выборок или для оценки значимости регрессионных моделей. По формуле 5 рассчитывается значение критерия

$$F_{\phi} = \frac{\sigma_{\text{большая}}^2}{\sigma_{\text{меньшая}}^2}. \quad (5)$$



Таблица 5

Рассчитанные значения критерия Фишера

	Критерий Фишера						
	Дисперсия				Изменение Критерия Фишера в %		
0	Эталон	Работа	Атака	Эталон	Работа	Атака	
1	410,0227	410,0227	410,0227		0	<u>0</u>	
2	181,8604	225,6852	130,2898		19,4185388	<u>39,58141438</u>	
3	156,8635	156,8635	156,8635		0	<u>0</u>	
4	296,0148	357,5637	334,9777		17,21340617	<u>11,63148183</u>	
5	376,9249	376,9249	376,9249		0	<u>0</u>	

Для расчета СКО необходимо возвести в квадрат значения остаточного отклонения. После рассчитаем среднее значение и коэффициент асимметрии.

Таблица 6

Коэффициент асимметрии

Кас			
0	Эталон	Работа	Атака
1	-2630620,91	-2630621	-2630621
2	-1433135,49	-1433135	-1433135
3	-1411508,8	-1411509	-1411509
4	-892349,878	-892350	-892350
5	-635049,196	-635049	-635049
6	-609899,434	-609899	-609899
7	-560181,297	-380048	-306654
8	-353162,363	-525257	-172665
9	-292948,099	-292948	-292948
10	-220837,348	-220837	-220837
11	-205427,042	-85210,7	-117682
12	-171551,523	-351367	-94598,2
13	-162276,37	-162276	-162276
14	-130128,07	-130128	-67293
15	-129897,094	-34788,4	-129897
16	-129205,808	-129206	-44945,6
17	-79921,5245	-227815	-79921,5
18	-78813,4328	-78813,4	-35528,9
19	-77661,0101	-77661	-77661
20	-67940,2866	-23899,3	-67940,3
21	-59981,2592	-59981,3	-24755,6
22	-57131,5722	-128899	-57131,6
23	-56731,9963	-56732	-37342,1



Продолжение таблицы 6

24	-52332,9293	-52332,9	-52332,9
25	-49570,802	-49570,8	-49570,8
26	-38220,3081	-38220,3	-38220,3
27	-34152,8753	-34152,9	-34152,9
28	-28385,4644	-28385,5	-28385,5
29	-23184,7198	-23184,7	-23184,7
30	-11141,2658	-11141,3	-11141,3
31	-10844,6374	-10844,6	-10844,6
32	-9426,82582	-9426,83	-9426,83
33	-4000,44564	-4000,45	-4000,45
34	-3756,11303	-3756,11	-3756,11
35	-2408,58278	-2408,58	-2408,58
36	-1132,8651	-1132,87	-1132,87
37	-1119,8744	-1119,87	-1119,87
38	-538,28045	-538,28	-538,28
39	-480,895247	-480,895	-480,895
40	-231,996188	-231,996	-231,996
41	-16,8678183	-16,8678	-16,8678
42	-12,5615925	-12,5616	-12,5616
43	-12,4001759	-12,4002	-12,4002
44	-10,0023021	-10,0023	-10,0023
45	-6,17481809	-6,17482	-6,17482
46	-0,0006055	-0,00061	-0,00061
47	0,136909392	0,136909	0,136909
48	34,49952197	34,49952	34,49952
49	46,86626709	46,86627	46,86627
50	59,56574333	59,56574	59,56574
51	84,91711121	84,91711	84,91711
52	92,06375531	92,06376	92,06376
53	134,6428493	134,6428	134,6428
54	166,8655313	166,8655	166,8655
55	184,7449997	184,745	184,745
56	293,4697765	293,4698	293,4698
57	416,0631447	416,0631	416,0631
58	490,3104908	490,3105	490,3105
59	617,4690012	617,469	617,469
60	641,7084135	641,7084	641,7084
61	864,2704534	864,2705	864,2705



Продолжение таблицы 6

62	1094,446559	1094,447	1094,447
63	1169,373069	1169,373	1169,373
64	1936,951102	1936,951	1936,951
65	2085,083831	2085,084	2085,084
66	3822,319524	3822,32	3822,32
67	3911,004365	3911,004	3911,004
68	3970,883212	3970,883	3970,883
69	5057,80154	5057,802	5057,802
70	5084,3665	5084,366	5084,366
71	7183,917863	7183,918	7183,918
45	-6,17481809	-6,17482	-6,17482
46	-0,0006055	-0,00061	-0,00061
47	0,136909392	0,136909	0,136909
48	34,49952197	34,49952	34,49952
49	46,86626709	46,86627	46,86627
50	59,56574333	59,56574	59,56574
51	84,91711121	84,91711	84,91711
52	92,06375531	92,06376	92,06376
53	134,6428493	134,6428	134,6428
54	166,8655313	166,8655	166,8655
55	184,7449997	184,745	184,745
56	293,4697765	293,4698	293,4698
57	416,0631447	416,0631	416,0631
58	490,3104908	490,3105	490,3105
60	641,7084135	641,7084	641,7084
61	864,2704534	864,2705	864,2705
62	1094,446559	1094,447	1094,447
63	1169,373069	1169,373	1169,373
64	1936,951102	1936,951	1936,951
65	2085,083831	2085,084	2085,084
66	3822,319524	3822,32	3822,32
67	3911,004365	3911,004	3911,004
68	3970,883212	3970,883	3970,883
69	5057,80154	5057,802	5057,802
70	5084,3665	5084,366	5084,366
71	7183,917863	7183,918	7183,918
81	42025,61099	42025,61	15189,24
82	42272,93532	78597,45	26558,01



Продолжение таблицы 6

83	52968,4392	25817,28	11474,97
84	71759,99523	71760	71760
85	80651,80487	80651,8	36612,23
86	98389,73901	98389,74	47302,03
87	102736,0115	236434,9	102736
88	116395,8322	38701,59	38701,59
89	301914,5483	275708,9	301914,5
90	347954,0413	378488,5	219642,6
91	372865,5515	372865,6	372865,6
92	454320,3242	454320,3	454320,3
93	485687,7458	485687,7	485687,7
94	522737,8839	522737,9	522737,9
95	571485,3149	571485,3	571485,3
96	830197,0433	830197	830197
97	910287,0779	910287,1	910287,1
98	1205413,007	1205413	1205413
99	1792081,49	1792081	1792081
100	2258165,791	2258166	2258166
Сумма	161056,34	156095,2	561183
	0,012800024	0,012257	0,049728
%		-4,24291	288,503

Для нахождения E_{x1} и E_{x2} возведём каждое значение остаточного отклонения в 4 степень, после чего находим сумму полученных результатов. Находим E_x по формуле 6.

$$E_x = \frac{\text{Сумма значений}/100}{\text{СКО}^4} - 3. \quad (6)$$

Таблица 7

Рассчитанные значения эксцесса

Ех			
0	Эталон	Работа	Атака
1	363143011,4	363143011,4	363143011,4
2	161578287,4	161578287,4	161578287,4
3	158335434,5	158335434,5	158335434,5
4	85910627,58	85910627,58	85910627,58
5	54585399,66	54585399,66	54585399,66
6	51722277,52	51722277,52	51722277,52
7	46178321,15	27528608,83	20679076,65
8	24963140,37	42380160,9	9614803,599
9	19456030,81	19456030,81	19456030,81



Продолжение таблицы 7

10	13348425,19	13348425,19	13348425,19
11	12121140,42	3749663,631	5766966,046
12	9532191,73	24794053,63	4310327,292
13	8851299,678	8851299,678	8851299,678
14	6594187,885	6594187,885	2737115,745
15	6578586,377	1135652,355	6578586,377
16	6531947,929	6531947,929	1598023,598
17	3442587,7	13913696,48	3442587,7
18	3379094,405	3379094,405	1167997,489
19	3313375,931	3313375,931	3313375,931
20	2772276,219	688410,3558	2772276,219
21	2347942,399	2347942,399	721493,4564
22	2200399,65	6511299,522	2200399,65
23	2179904,263	2179904,263	1248144,521
24	1957492,286	1957492,286	1957492,286
25	1820963,584	1820963,584	1820963,584
26	1287435,79	1287435,79	1287435,79
27	1108076,379	1108076,379	1108076,379
28	865887,2369	865887,2369	865887,2369
29	661103,0106	661103,0106	661103,0106
30	248835,7159	248835,7159	248835,7159
31	240041,7104	240041,7104	240041,7104
32	199137,9247	199137,9247	199137,9247
33	63505,47429	63505,47429	63505,47429
34	58387,27468	58387,27468	58387,27468
35	32286,08872	32286,08872	32286,08872
36	11809,66556	11809,66556	11809,66556
37	11629,44773	11629,44773	11629,44773
38	4378,696152	4378,696152	4378,696152
39	3767,621902	3767,621902	3767,621902
40	1425,523779	1425,523779	1425,523779
41	43,25920678	43,25920678	43,25920678
42	29,2006779	29,2006779	29,2006779
43	28,70144718	28,70144718	28,70144718
44	21,55096006	21,55096006	21,55096006
45	11,32832126	11,32832126	11,32832126
46	5,12249E-05	5,12249E-05	5,12249E-05
47	0,070563101	0,070563101	0,070563101



Продолжение таблицы 7

48	112,3097438	112,3097438	112,3097438
49	168,9716393	168,9716393	168,9716393
50	232,628054	232,628054	232,628054
51	373,2446706	373,2446706	373,2446706
52	415,7046807	415,7046807	415,7046807
55	1052,196672	1052,196672	1052,196672
56	1950,224053	1950,224053	1950,224053
57	3106,0778	3106,0778	3106,0778
58	3866,294344	3866,294344	3866,294344
59	5257,995533	5257,995533	5257,995533
60	5534,99175	5534,99175	5534,99175
61	8232,521777	8232,521777	8232,521777
62	11278,70957	11278,70957	11278,70957
63	12319,81303	12319,81303	12319,81303
64	24144,87027	24144,87027	24144,87027
65	26637,77998	26637,77998	26637,77998
66	59763,49469	59763,49469	59763,49469
67	61619,43818	61619,43818	61619,43818
68	62880,52402	62880,52402	62880,52402
69	86819,18656	86819,18656	86819,18656
70	87427,71571	87427,71571	87427,71571
71	138616,5687	138616,5687	138616,5687
72	186652,3862	186652,3862	186652,3862
73	230673,448	230673,448	230673,448
74	307866,1453	307866,1453	307866,1453
75	316316,4782	316316,4782	316316,4782
76	349563,1734	1386616,177	349563,1734
77	403621,5777	53455,37709	403621,5777
78	636489,0223	636489,0223	636489,0223
79	1310645,559	5687730,329	125863,38
80	1417582,245	144750,2903	360617,8198
81	1460793,819	1460793,819	376167,6012
82	1472594,611	3366753,396	792368,9687
83	1989250,922	763040,1065	258822,5629
84	2982015,306	2982015,306	2982015,306
85	3484593,49	3484593,49	1215723,649
86	4542201,657	4542201,657	1710696,991
87	4811682,192	14620044,62	4811682,192



Продолжение таблицы 7

89	20254058,24	17944621,94	20254058,24
90	24473486,68	27378115,38	13252224,52
91	26837147,22	26837147,22	26837147,22
92	34926056,65	34926056,65	34926056,65
93	38177679,54	38177679,54	38177679,54
94	42109359,33	42109359,33	42109359,33
95	47424937,45	47424937,45	47424937,45
96	78026401,19	78026401,19	78026401,19
97	88220836,27	88220836,27	88220836,27
98	128286561,4	128286561,4	128286561,4
99	217675895	217675895	217675895
100	296260964,2	296260964,2	296260964,2
	2132504606	2155906174	2040088044
	0,382209997	0,364749822	0,740960481
%		-4,56821519	93,86214024

Таблица 8

Рассчитанные значения Кас 5, Ех 6

	К (5)			К (6)		
Эталон	Работа	Атака	0	Эталон	Работа	Атака
-50129931749	-50129931749	-50129931749	1	6,92017E+12	6,92017E+12	6,92017E+12
-18217079378	-18217079378	-18217079378	2	2,05388E+12	2,05388E+12	2,05388E+12
-17761214035	-17761214035	-17761214035	3	1,99236E+12	1,99236E+12	1,99236E+12
-8271011306	-8271011306	-8271011306	4	7,96288E+11	7,96288E+11	7,96288E+11
-4691866194	-4691866194	-4691866194	5	4,03287E+11	4,03287E+11	4,03287E+11
-4386287056	-4386287056	-4386287056	6	3,71977E+11	3,71977E+11	3,71977E+11
-3806691433	-1994023770	-1394485262	7	3,13803E+11	1,44436E+11	94036555873
-1764509592	-3419426330	-535396492,5	8	1,24724E+11	2,75895E+11	29813339524
-1292164504	-1292164504	-1292164504	9	85818588656	85818588656	85818588656
-806840220,9	-806840220,9	-806840220,9	10	48769134419	48769134419	48769134419
-715203041,8	-165002448,2	-282607864,3	11	42200269398	7260866734	13849085348
-529652420,6	-1749582477	-196398338,9	12	29429924889	1,23459E+11	8948811754
-482790600,4	-482790600,4	-482790600,4	13	26333620255	26333620255	26333620255
-334157833,4	-334157833,4	-111331088,1	14	16933314543	16933314543	4528347475
-333169875,7	-37072916,88	-333169875,7	15	16873255085	1210230542	16873255085
-330220014,8	-330220014,8	-56817089,82	16	16694140759	16694140759	2020108902
-148288088,1	-849773447	-148288088,1	17	6387450082	51899573367	6387450082
-144877321	-144877321	-38397450,25	18	6211557186	6211557186	1262300818
-141363858,7	-141363858,7	-141363858,7	19	6031232488	6031232488	6031232488
-113121622,2	-19829384,93	-113121622,2	20	4615882546	571177501,3	4615882546



Продолжение таблицы 8

-73219215,96	-73219215,96	-73219215,96	24	2738735485	2738735485	2738735485
-66892368,88	-66892368,88	-66892368,88	25	2457264414	2457264414	2457264414
-43366759,61	-43366759,61	-43366759,61	26	1460791951	1460791951	1460791951
-35951094,88	-35951094,88	-35951094,88	27	1166418893	1166418893	1166418893
-26413543,81	-26413543,81	-26413543,81	28	805734588,4	805734588,4	805734588,4
-18851087,91	-18851087,91	-18851087,91	29	537531231,2	537531231,2	537531231,2
-5557646,18	-5557646,18	-5557646,18	30	124127804,4	124127804,4	124127804,4
-5313227,242	-5313227,242	-5313227,242	31	117606159,7	117606159,7	117606159,7
-4206709,004	-4206709,004	-4206709,004	32	88865045,03	88865045,03	88865045,03
-1008124,002	-1008124,002	-1008124,002	33	16003565,28	16003565,28	16003565,28
-907606,83	-907606,83	-907606,83	34	14108385,13	14108385,13	14108385,13
-432782,1048	-432782,1048	-432782,1048	35	5801271,002	5801271,002	5801271,002
-123111,0396	-123111,0396	-123111,0396	36	1283383,344	1283383,344	1283383,344
-120767,1629	-120767,1629	-120767,1629	37	1254118,68	1254118,68	1254118,68
-35618,94172	-35618,94172	-35618,94172	38	289745,8433	289745,8433	289745,8433
-29517,81055	-29517,81055	-29517,81055	39	231260,2386	231260,2386	231260,2386
-8759,273412	-8759,273412	-8759,273412	40	53822,23141	53822,23141	53822,23141
-110,9425617	-110,9425617	-110,9425617	41	284,5232937	284,5232937	284,5232937
-67,87989586	-67,87989586	-67,87989586	42	157,7936059	157,7936059	157,7936059
-66,43236963	-66,43236963	-66,43236963	43	153,7643628	153,7643628	153,7643628
-46,43369855	-46,43369855	-46,43369855	44	100,0460469	100,0460469	100,0460469
-20,78293818	-20,78293818	-20,78293818	45	38,12837839	38,12837839	38,12837839
-4,33363E-06	-4,33363E-06	-4,33363E-06	46	3,66625E-07	3,66625E-07	3,66625E-07
0,036368222	0,036368222	0,036368222	47	0,018744182	0,018744182	0,018744182
365,61314	365,61314	365,61314	48	1190,217016	1190,217016	1190,217016
609,2103485	609,2103485	609,2103485	49	2196,446991	2196,446991	2196,446991
908,5056021	908,5056021	908,5056021	50	3548,077778	3548,077778	3548,077778
1640,559625	1640,559625	1640,559625	51	7210,915777	7210,915777	7210,915777
1877,072915	1877,072915	1877,072915	52	8475,735042	8475,735042	8475,735042
3537,030647	3537,030647	3537,030647	53	18128,69688	18128,69688	18128,69688
5057,599	5057,599	5057,599	54	27844,10554	27844,10554	27844,10554
5992,680923	5992,680923	5992,680923	55	34130,71493	34130,71493	34130,71493
12960,01892	12960,01892	12960,01892	56	86124,50975	86124,50975	86124,50975
23188,11321	23188,11321	23188,11321	57	173108,5404	173108,5404	173108,5404
30487,27742	30487,27742	30487,27742	58	240404,3774	240404,3774	240404,3774
44773,93516	44773,93516	44773,93516	59	381267,9675	381267,9675	381267,9675
47741,51784	47741,51784	47741,51784	60	411789,688	411789,688	411789,688



Продолжение таблицы 8

78418,06294	78418,06294	78418,06294	61	746963,4167	746963,4167	746963,4167
116231,6136	116231,6136	116231,6136	62	1197813,271	1197813,271	1197813,271
129794,1582	129794,1582	129794,1582	63	1367433,374	1367433,374	1367433,374
300975,4658	300975,4658	300975,4658	64	3751779,572	3751779,572	3751779,572
340308,2943	340308,2943	340308,2943	65	4347574,583	4347574,583	4347574,583
934426,1449	934426,1449	934426,1449	66	14610126,55	14610126,55	14610126,55
970838,8963	970838,8963	970838,8963	67	15295955,15	15295955,15	15295955,15
995738,25	995738,25	995738,25	68	15767913,48	15767913,48	15767913,48
1490286,065	1490286,065	1490286,065	69	25581356,42	25581356,42	25581356,42
1503354,543	1503354,543	1503354,543	70	25850782,7	25850782,7	25850782,7
2674662,14	2674662,14	2674662,14	71	51608675,86	51608675,86	51608675,86
3879644,508	3879644,508	3879644,508	72	80639962,96	80639962,96	80639962,96
5055300,881	5055300,881	5055300,881	73	110788940,9	110788940,9	110788940,9
7251910,198	7251910,198	7251910,198	74	170821645,5	170821645,5	170821645,5
7501571,806	7501571,806	7501571,806	75	177902776	177902776	177902776
8499768,386	47582288,76	8499768,386	76	206675268,2	1632805272	206675268,2
10173443,31	812810,3907	10173443,31	77	256425708,1	12359107,12	256425708,1
17977887,03	17977887,03	17977887,03	78	507792610,4	507792610,4	507792610,4
44346216,74	277762585,7	2370687,108	79	1500471982	13564646978	44652839,95
48914242,4	2823412,313	8837083,922	80	1687805500	55071786,53	216556276,3
50785081,42	50785081,42	9315941,111	81	1765563670	1765563670	230713008
51298422,32	144216228,4	23640645,13	82	1787001061	6177559832	705328103,6
74707114,06	22551955,56	5837846,435	83	2805655551	666532067,5	131674961,5
123918838,8	123918838,8	123918838,8	84	5149496915	5149496915	5149496915
150553255,6	150553255,6	40368590,05	85	6504713628	6504713628	1340455180
209692556,4	209692556,4	61868040,97	86	9680540743	9680540743	2237482449
225357060,1	904036306,9	225357060,1	87	10554688054	55901446649	10554688054
277478315,6	44280723,19	44280723,19	88	13547989753	1497813174	1497813174
1358751599	1167932897	1358751599	89	91152394504	76015379778	91152394504
1721352475	1980406927	799578267,3	90	1,21072E+11	1,43254E+11	48242874590
1931614406	1931614406	1931614406	91	1,39029E+11	1,39029E+11	1,39029E+11
2684954575	2684954575	2684954575	92	2,06407E+11	2,06407E+11	2,06407E+11
3000971771	3000971771	3000971771	93	2,35893E+11	2,35893E+11	2,35893E+11
3392136285	3392136285	3392136285	94	2,73255E+11	2,73255E+11	2,73255E+11
3935577404	3935577404	3935577404	95	3,26595E+11	3,26595E+11	3,26595E+11
7333342527	7333342527	7333342527	96	6,89227E+11	6,89227E+11	6,89227E+11
8549957636	8549957636	8549957636	97	8,28623E+11	8,28623E+11	8,28623E+11
13652948617	13652948617	13652948617	98	1,45302E+12	1,45302E+12	1,45302E+12



Продолжение таблицы 8

26440089655	26440089655	26440089655	99	3,21156E+12	3,21156E+12	3,21156E+12
38868075702	38868075702	38868075702	100	5,09931E+12	5,09931E+12	5,09931E+12
-746419671,4	-1043135071	2743353390		2,60342E+13	2,61684E+13	2,55281E+13
-0,023038771	-0,031556017	0,101516703		15,95569059	15,65553649	19,45029211
0	36,96918918	-421,7031532	%	0	-1,881172764	24,23906471

В таблице представлены графики автокорреляции между столбцами данных, на которых видны расхождения. Синего цвета представлена ломаная (Атака), коричневого (работа).

Таблица 9

Автокорреляция

	Автокорреляция				Отличие кореллограм	
	эталон	Работа	Атака	(Э-Р)%	(Э-А)%	
1		1	1	0	0	
2		0,819438	0,898628	18,05622442	10,13716634	
3		1	1	0	0	
4		0,915743	0,953422	8,42573021	4,657757504	
5		1	1	0	0	

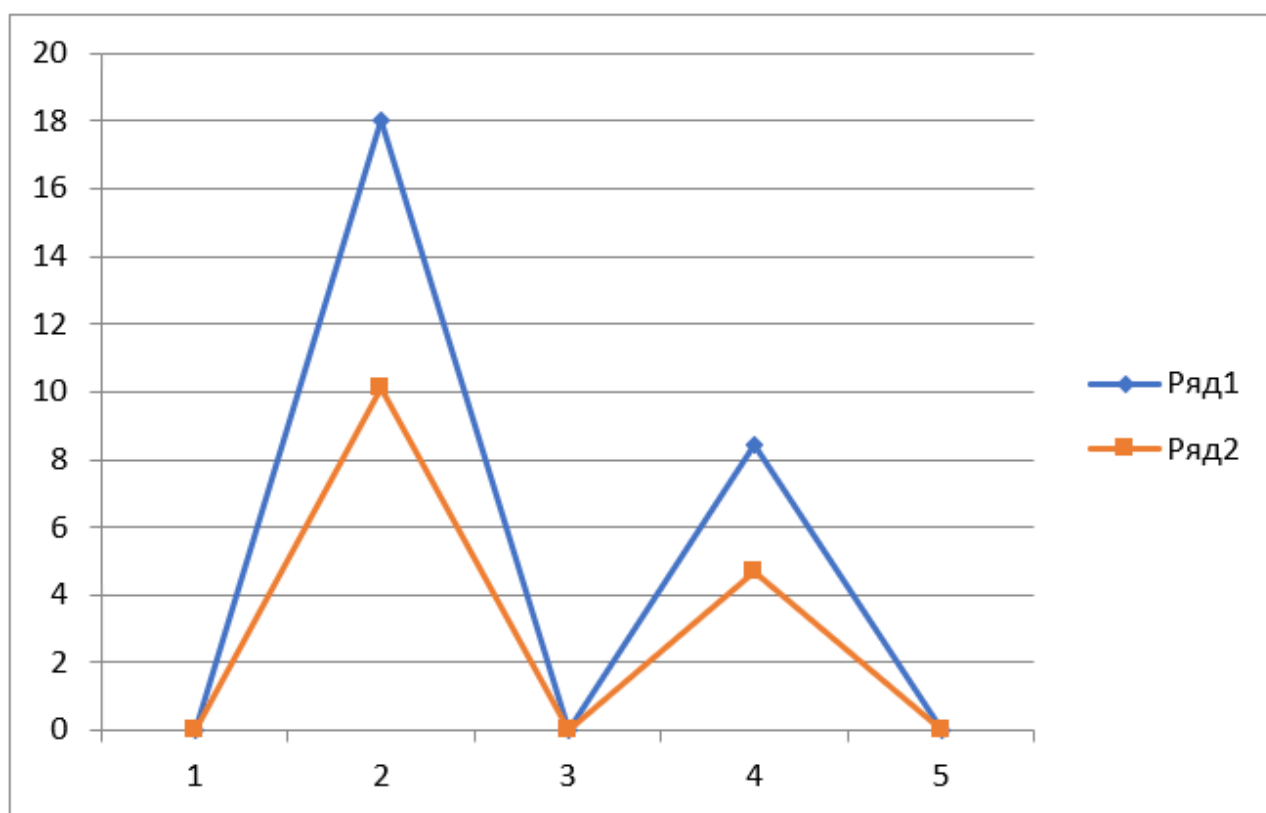


Рис. 3.10 График автокорреляции.



Как можно увидеть из проанализированных методов коэффициент асимметрии и эксцесс оказались самыми эффективными методами по поиску аномалий в БСС по шуму, а критерии Фишера и Пирсона в данном случае оказались не эффективными. В данном примере генерированных данных атаки реализован вброс информации в канал связи.

Список литературы:

1. Framingham, Mass. IDC Forecasts Worldwide Spending on the Internet of Things to Reach \$745 Billion in 2019, Led by the Manufacturing, Consumer, Transportation, and Utilities Sectors.
2. Jabbar, M. A. Cyber Physical Systems for Smart Cities Development / M. A. Jabbar, S. Samreen, R. A. D. K. K. Reddy // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Т. 7. – №. 4.6. – С. 36-38.
3. Долгосрочный прогноз научно – технологического развития РФ до 2030 года.
4. Huang, H. A Remote Home Security System Based on Wireless Sensor Network and GSM Technology / H. Huang, S. Xiao, X. Meng, Y. Xiong // NSWCTC 2010 – The 2nd International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing. – IEEE.2010. – Pp. 535 – 538.
5. Математическая статистика.
6. Основные принципы математической статистики.

