



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)**

Факультет «Безопасность жизнедеятельности и инженерная экология»

Кафедра «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды»

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК

Методические указания

по выполнению контрольной работы

Ростов-на-Дону
ДГТУ
2023

УДК 519.248

Составители: Темирканов А.Р.

Безопасность жизнедеятельности в техносфере. Метод. указания для выполнения контрольной работы по дисциплине «Надежность технических систем и техногенный риск» / Темирканов А.Р., ФГБОУ ВО ДГТУ – Ростов н/Д, 2023. – 20 с.

Методические указания разработаны в соответствии с учебными программами дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск» для обучающихся направления подготовки 20.03.01 и 20.05.01 всех форм обучения для выполнения контрольной работы. Приведены методики и примеры расчетов, а также формы представления полученных результатов расчётов.

Рекомендуются для студентов всех форм обучения направления подготовки 20.03.01 и 20.05.01 всех форм обучения.

УДК 519.248

© Издательский центр ДГТУ, 2023

1 Алгоритм выбора варианта к работе

Номер варианта для выполнения контрольной работы (КР) по теме: «Расчет надежности работы технической системы при отказе нескольких элементов» соответствует порядковому номеру в групповом журнале. Численные значения исходных данных для решения приведены в таблице 1 и 2.

Таблица 1

Среднее значение наработки до отказа, час

№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10	№11	№12	№13	№14	№15	№16	№17	№18	№19	№20	№21	№22	№23	№24
210	205	200	195	190	215	185	180	175	220	225	170	230	235	240	165	200	215	165	210	220	180	190	175

Таблица 2

Наработка до отказа, час

Варианты											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10	№11	№12
494	353	346	398	328	263	426	371	300	314	320	475
429	319	321	361	291	321	510	228	374	375	365	291
442	305	398	295	315	346	411	264	443	378	277	365
458	324	360	350	454	363	338	336	410	346	392	389
350	315	340	334	420	357	377	318	370	312	328	307
267	352	358	351	299	316	272	361	305	322	393	374
302	319	330	310	306	341	318	298	374	564	546	281
402	323	323	358	328	311	281	394	408	297	483	267
245	337	403	331	339	429	385	383	354	352	378	339
433	351	441	232	326	301	214	374	377	367	352	379
381	492	381	289	428	328	217	450	342	398	332	288
366	295	291	205	482	327	261	387	205	373	381	326
293	334	364	290	434	328	395	361	408	359	381	367
341	366	383	286	292	354	366	247	305	266	410	354
330	322	389	316	311	329	382	294	257	256	289	368
343	335	294	210	291	430	357	287	424	414	279	441
442	323	272	326	332	368	282	394	410	277	319	328
438	412	356	346	297	350	218	480	274	369	338	249
431	401	339	336	294	351	204	440	344	369	294	344
492	330	338	335	398	292	398	359	281	363	402	331
350	319	329	344	361	319	228	420	339	362	273	316
377	382	353	346	295	374	296	390	390	418	307	378
430	299	319	331	350	403	292	282	339	433	294	396
302	418	305	329	334	187	373	320	363	368	488	404
403	221	324	214	351	289	336	208	330	334	326	481
396	290	315	338	310	389	350	497	290	450	375	395
278	334	352	333	358	313	294	381	354	319	421	389
271	328	319	344	331	323	370	395	293	477	360	332
433	290	323	350	232	249	315	338	222	263	458	222
390	375	337	332	289	397	295	441	295	303	478	429
318	353	351	423	205	391	334	401	387	307	380	441
195	287	364	346	290	358	319	385	246	299	376	501
380	327	295	375	286	415	287	335	366	328	368	425
358	324	334	367	316	489	374	337	258	433	340	489
353	300	366	340	210	414	374	305	311	556	366	556
273	205	322	342	326	399	341	402	287	295	388	262

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
341	419	335	357	346	374	355	323	284	439	456	384
333	319	323	340	336	399	375	377	347	517	370	358
293	287	412	349	335	420	276	337	269	371	306	247
319	339	401	390	344	421	424	378	354	424	381	305
377	340	330	312	346	261	388	420	408	383	393	363
441	356	319	387	331	242	295	401	388	293	331	292
335	319	382	317	329	303	420	282	364	337	379	340
271	332	299	308	214	313	298	333	325	417	272	410
312	346	338	331	338	237	424	402	408	243	333	300
435	314	221	294	333	307	266	481	463	354	415	288
347	449	290	351	344	318	410	346	407	412	312	268
357	402	334	295	350	401	441	400	424	396	316	380
326	429	328	340	332	368	362	397	267	400	299	367
375	418	290	342	423	251	300	314	272	453	291	337
359	356	375	310	295	442	374	375	420	329	372	460
312	379	353	328	375	333	443	378	388	378	355	352
377	338	287	342	367	347	410	346	398	406	325	307
361	267	327	334	340	310	370	312	389	508	346	439
352	369	324	331	342	325	305	322	290	325	317	240
382	443	300	342	357	334	374	564	281	397	312	248
367	340	299	323	328	336	408	297	299	394	376	306
368	293	419	354	349	325	354	352	265	482	399	453
355	337	319	331	390	331	377	367	319	378	415	331
459	205	287	341	312	337	342	398	406	349	459	423
396	377	339	343	387	357	205	373	426	343	413	421
273	330	340	440	317	336	408	359	319	359	463	262
296	354	356	335	308	261	305	266	443	350	385	250
334	339	319	296	331	342	257	256	339	304	279	231
330	319	332	352	294	399	424	414	356	417	353	280
361	322	346	324	351	365	410	277	316	359	364	169
363	401	314	330	295	333	274	369	397	350	426	408
346	449	330	346	340	352	344	369	227	259	299	349
330	415	402	309	415	347	281	363	424	347	425	237
317	385	429	332	310	405	339	362	437	449	270	414
372	376	418	344	328	385	390	418	371	341	233	337
354	205	356	331	342	379	339	433	228	351	432	295
395	337	379	332	334	346	363	368	264	443	376	356
326	330	338	344	331	331	330	334	336	323	481	276
339	354	267	361	354	335	205	450	318	257	422	279
388	339	369	301	323	328	354	319	361	287	294	326
368	319	443	486	354	379	293	477	298	391	337	387
362	351	340	331	331	389	222	263	394	264	307	485
290	267	293	315	341	359	295	303	383	324	334	426
260	328	337	366	343	313	387	307	374	356	373	280
330	291	205	333	291	263	339	299	450	417	281	475
326	315	377	413	335	321	366	371	387	365	442	291
505	454	330	398	296	346	258	228	361	366	318	365
274	420	354	361	352	363	311	264	247	314	321	389
445	299	339	295	324	357	287	336	294	375	330	307
383	306	319	350	330	316	284	318	287	378	417	374
227	328	322	334	320	341	347	361	394	346	414	281
326	339	401	351	309	311	269	298	480	312	191	267

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
347	326	449	310	332	359	354	394	440	322	309	339
364	353	415	358	344	301	408	383	359	564	291	379
321	319	385	331	331	328	388	374	420	297	335	288
334	305	376	232	332	327	364	450	390	352	401	326
291	324	205	289	296	328	325	387	282	367	311	367
319	315	337	205	361	354	408	361	320	398	361	354
381	352	330	290	301	329	463	247	208	373	469	368
334	319	354	286	486	430	407	294	497	359	476	441
296	323	339	316	340	368	424	287	381	266	408	328
330	337	319	210	205	350	267	394	395	256	398	249
346	351	351	326	321	351	272	480	338	414	348	344
321	290	267	346	333	292	420	440	441	277	377	331
398	295	328	336	413	319	388	359	401	369	373	316
360	334	291	335	373	374	398	420	385	369	325	378
340	366	315	344	337	403	389	390	335	363	446	396
358	322	454	346	333	187	290	282	337	362	456	404
330	335	420	331	373	289	281	320	305	418	440	481
323	323	299	329	320	389	299	208	402	433	374	395
403	412	306	214	340	313	265	497	323	368	427	389
441	401	328	338	322	323	319	381	377	334	348	332
381	330	339	333	320	249	406	395	337	450	341	240
291	319	326	344	340	397	426	338	378	319	293	429
364	382	428	350	300	391	319	441	420	477	334	441
383	299	482	332	297	358	443	401	401	263	278	501
389	325	434	423	336	415	339	385	282	303	309	425
294	221	292	335	180	489	356	335	333	307	365	489
272	290	311	375	285	414	316	337	402	299	339	299
Варианты											
№13	№14	№15	№16	№17	№18	№19	№20	№21	№22	№23	№24
326	356	371	417	354	330	330	398	450	257	373	370
375	319	228	359	339	317	323	361	387	287	281	335
359	332	264	350	319	372	403	295	361	391	442	333
312	346	336	259	322	354	441	350	247	264	318	348
377	314	318	249	401	395	381	334	294	324	321	335
361	299	361	449	449	326	291	351	287	356	330	348
352	402	298	341	415	339	364	310	394	417	417	236
382	429	394	351	385	388	383	358	480	365	414	333
367	418	383	443	376	368	389	331	440	366	191	319
330	356	374	323	205	362	294	232	359	320	309	300
355	379	450	257	337	290	272	289	420	365	291	273
459	338	387	287	330	260	356	205	390	277	335	216
396	267	361	391	354	330	339	290	282	392	401	222
273	369	247	264	339	326	338	286	320	328	311	293
296	443	294	324	319	505	329	316	208	393	376	371
272	340	287	356	351	274	353	210	497	546	469	349
330	293	394	417	267	445	319	326	381	483	476	317
361	337	480	365	328	383	305	346	395	378	408	174
363	205	440	366	291	227	324	336	338	352	398	361
346	377	359	320	315	326	315	335	441	332	348	519
330	330	420	365	454	347	352	344	401	381	377	438
317	354	390	277	420	364	319	346	385	381	373	426
372	339	282	392	299	321	323	331	335	410	325	510

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
354	319	320	328	306	334	337	329	337	289	446	411
395	322	208	393	328	291	352	214	305	279	456	338
326	401	497	546	339	319	352	338	402	319	440	377
339	449	381	483	326	381	295	333	323	338	374	272
388	415	395	378	428	334	334	344	377	294	427	318
368	385	338	352	482	296	366	350	337	402	348	281
362	376	441	332	434	330	322	332	378	273	341	385
290	205	401	381	292	346	335	423	420	307	293	214
260	337	385	381	311	321	323	327	401	294	334	217
330	330	335	410	470	398	412	375	282	488	278	261
326	354	337	289	332	360	401	367	333	326	309	395
505	339	305	279	297	340	330	340	402	375	365	366
274	319	402	319	294	358	319	342	481	421	339	382
445	351	323	338	398	330	382	357	346	360	324	357
383	267	377	294	361	323	299	350	400	458	299	282
227	328	337	402	295	403	305	349	397	478	269	218
326	291	378	273	350	441	221	390	314	380	505	204
347	315	420	307	334	381	290	312	375	376	475	398
364	454	401	294	351	291	334	387	378	368	291	228
321	420	282	488	310	364	328	317	346	340	365	296
334	299	333	326	358	383	290	308	312	366	389	292
291	306	402	375	331	389	375	331	322	388	307	373
319	328	481	421	232	294	353	294	564	456	374	336
381	339	346	360	289	272	287	351	297	370	281	350
334	326	400	458	205	356	327	295	352	306	267	294
296	428	397	478	290	339	324	340	367	381	339	370
330	482	314	380	286	338	300	331	398	393	379	315
346	434	375	376	316	329	205	310	373	331	288	295
321	292	378	368	210	353	419	328	359	379	326	334
398	311	346	340	326	319	319	342	266	272	367	319
360	564	312	366	346	305	287	334	256	333	354	287
340	332	322	388	336	324	339	331	414	415	368	374
358	297	564	456	335	315	340	463	277	312	441	374
330	294	297	370	344	352	356	323	369	316	328	341
323	398	352	306	346	319	319	354	369	299	249	355
403	361	367	381	331	323	332	331	363	291	344	375
441	295	398	393	329	337	346	341	362	372	331	276
381	350	373	331	214	351	314	343	418	355	316	424
291	334	359	379	338	454	328	405	433	325	378	388
364	351	266	272	333	295	402	335	368	346	396	295
383	310	256	333	344	334	429	296	334	317	404	420
389	358	414	415	350	366	418	352	450	312	481	298
294	331	277	312	332	322	356	324	319	376	395	424
272	232	369	316	423	335	379	330	477	399	389	266
356	289	369	299	374	323	338	234	263	415	332	410
339	205	363	291	375	412	267	309	303	459	328	441
338	290	362	372	367	401	369	332	307	413	429	362
329	286	418	355	340	330	443	344	299	463	441	300
353	316	433	325	342	319	340	331	328	385	501	374
319	210	368	346	357	382	293	332	433	279	425	443
305	326	334	317	367	299	337	378	556	353	489	410
324	346	450	312	349	398	205	361	295	364	390	370

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
315	336	319	376	390	221	377	301	439	426	262	305
352	335	477	399	312	290	330	486	517	299	384	374
319	344	263	415	387	334	354	334	371	425	358	408
323	346	303	459	317	328	339	321	424	270	247	354
337	331	307	413	308	290	319	226	383	233	305	377
351	329	299	463	331	375	322	333	293	432	363	342
315	214	328	385	294	353	401	413	337	376	292	205
295	338	433	279	351	287	449	373	417	481	340	408
334	333	556	353	295	327	415	405	243	422	410	305
366	344	295	364	340	324	385	305	354	294	300	257
322	350	439	426	339	300	376	228	412	337	288	424
335	332	517	299	310	350	205	320	396	307	268	410
323	423	371	425	328	419	337	340	400	334	380	274
412	356	424	417	354	319	330	398	453	257	367	344
401	319	383	359	339	287	354	361	329	287	337	281
330	332	293	350	319	339	339	295	378	391	460	339
319	346	337	259	322	340	319	350	406	264	352	390
382	314	417	463	401	356	351	334	508	324	307	339
299	258	243	449	449	319	267	351	325	356	439	363
319	402	354	341	415	332	328	310	397	417	240	330
221	429	412	351	385	346	291	358	394	365	248	370
290	418	396	443	376	314	315	331	482	366	306	335
334	356	400	323	205	420	454	232	378	320	453	333
328	379	453	257	337	402	420	289	349	365	429	348
290	338	329	287	330	429	299	205	343	277	423	335
375	267	378	391	354	418	306	290	359	392	373	348
353	369	406	264	339	356	328	286	350	328	281	236
287	443	508	324	319	379	339	316	304	393	442	333
327	340	325	356	351	338	326	210	417	546	318	319
324	293	397	417	267	267	428	326	359	483	321	300
300	337	394	365	328	369	482	346	350	378	330	273
322	205	482	366	291	443	434	336	259	352	417	216
419	377	378	320	315	340	292	335	368	332	414	222
319	330	349	365	454	293	311	344	449	381	191	293
287	354	343	277	420	337	228	346	341	381	309	371
339	339	359	392	299	205	332	331	351	410	291	349
340	319	350	328	306	377	297	329	443	289	335	317
326	322	304	393	328	330	294	214	323	279	401	174
375	401	371	546	339	330	330	338	450	319	311	361
359	449	228	483	326	317	323	333	387	338	387	519

2 Содержание и оформление контрольной работы

Работа оформляется в соответствии с Приказом ДГТУ № 242 от 16.12.2020 г. «О введении документов в действие».

Объем контрольной работы рекомендуется выполнять в пределах 25 – 30 печатных страниц.

Работа должна содержать:

- титульный лист;
- содержание;

- введение;
- разделы основной части;
- заключение;
- перечень использованных информационных ресурсов;
- приложения (при необходимости пояснений разделов).

Титульный лист установленного образца.

Содержание КР – отражается перечень вопросов, содержащихся в работе.

Текст должен быть оформлен в текстовом редакторе Word for Windows версии не ниже 6.0. Тип шрифта: Times New Roman Cyr. Шрифт основного текста: обычный, размер 14 пт. Шрифт заголовков разделов: полужирный, размер 16 пт. Шрифт заголовков подразделов: полужирный, размер 14 пт. Межсимвольный интервал: обычный. Межстрочный интервал: полуторный.

Иллюстрации должны быть вставлены в текст. Текст отчета выполняется на листах формата А4 (210х297 мм) с рамкой. Страницы следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту.

3 Порядок и пример выполнения работы

3.1 Задание 1: рассчитать максимально возможное количество элементов в технической системе при следующих условиях:

- гамма-процентная наработка технической системы равна 90 %;
- средняя наработка до отказа составляет 248,2 часа;
- исходные данные по наработке до отказа элементов в системе представлены в таблице 3.
- номограмма вероятности надежной работы элементов для нормального закона распределения представлена в Приложении 1.

Таблица 3

Данные по наработке элементов системы

Наработка до отказа, час	Наработка до отказа, час	Наработка до отказа, час	Наработка до отказа, час
346	324	326	349
346	325	327	350
335	326	328	351
342	329	330	352
353	330	331	352
357	331	331	354
330	331	331	354
338	332	331	354
339	333	332	358
363	334	332	359
371	334	334	359
383	341	334	364
429	347	334	366
323	351	335	368
332	351	336	377
342	352	337	378
347	359	337	381
352	359	338	383
361	364	339	388
363	365	340	401
366	379	340	409
374	401	340	411
374	402	340	412
382	410	341	413
417	417	343	418
424	419	344	423
426	439	344	424
433	439	344	441

442	323	346	441
319	323	346	319

Дано: Данные по наработке до отказа составных элементов системы представлены в табл.3.

Решение:

1.1. Определяем среднее значение наработки до отказа составных элементов системы

В данном случае имеется 120 экспериментальных значений.

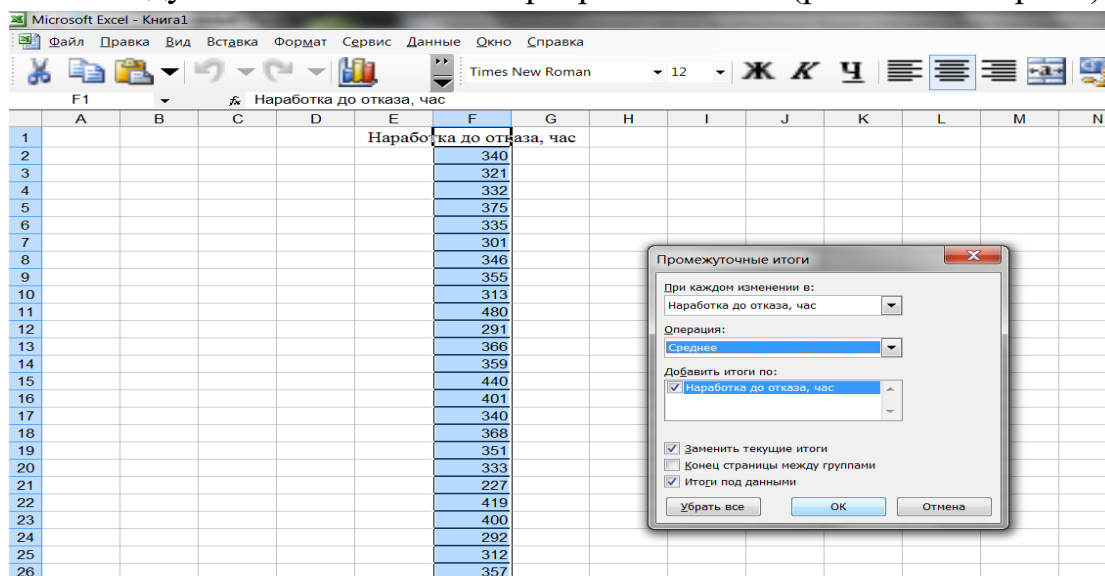
Типичной мерой для представления центра данных служит *среднее арифметическое* или *математическое ожидание* (ожидаемое значение)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (1)$$

где x_i – результат отдельного измерения; n – число выполненных измерений.

Используя исходные данные, рассчитываем среднее арифметическое значение наработки до отказа по формуле (1).

Рекомендуется использование программы Excel (различные версии).



Полученное значение *математического ожидания* составляет:

$$\bar{x} = 360,658 \text{ часа}$$

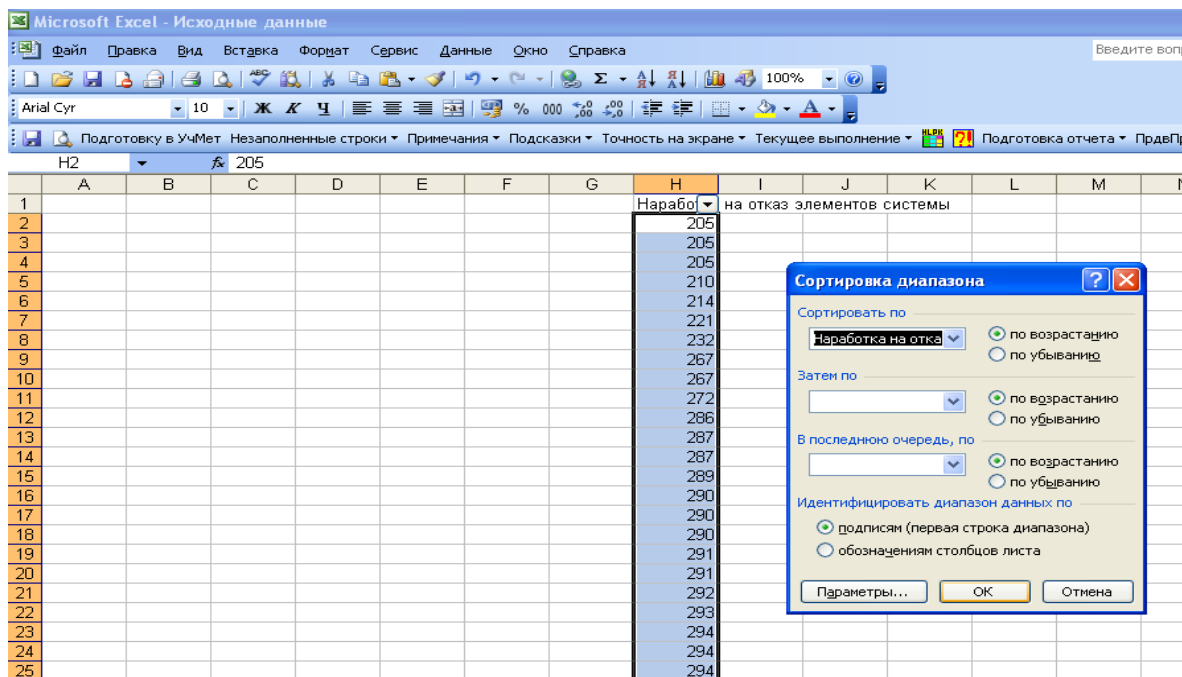
1.2. Строим гистограмму распределения:

Гистограммы – один из вариантов столбчатой диаграммы, дающей наглядное изображение того, с какой частотой повторяется то или иное

значение или группа значений. Гистограмма показывает размах изменчивости процесса, помогает понять его вариабельность и положение относительно границ допуска. Она строится в следующей последовательности:

1.2.1. Определяются наибольшее и наименьшее значения показателя.

В программе Excel используется опция «Сортировка». В данном случае наибольшее значение показателя составит 486 часов. Наименьшее значение показателя составит 205 часов.



1.2.2. Определяется диапазон гистограммы как разность между наибольшим и наименьшим значениями указанного показателя. В данном случае разность между наибольшим и наименьшим значениями составит 281 час:

1.2.3. Определяется число интервалов гистограммы. Для расчета рекомендуемого числа интервалов можно пользоваться приближенной формулой: $K = 1 + 3,3 \lg n$ (где K - число интервалов; n - число значений показателей). Например, если $n = 50$, то рекомендуемое число интервалов гистограммы – 7. Если же n приближается к 1000, то число интервалов – 11. В данном случае $K = 8$

1.2.4. Определяется ширина интервала гистограммы путем деления диапазона гистограммы на число интервалов. В случае, когда ширина интервала не превышает двукратной цены деления измерительного средства, необходимо уменьшить число интервалов K , чтобы не получить полигон частот вместо гистограммы распределения. В данном случае ширина интервала гистограммы равна $281 \text{ час} / 8 = 35 \text{ час}$:

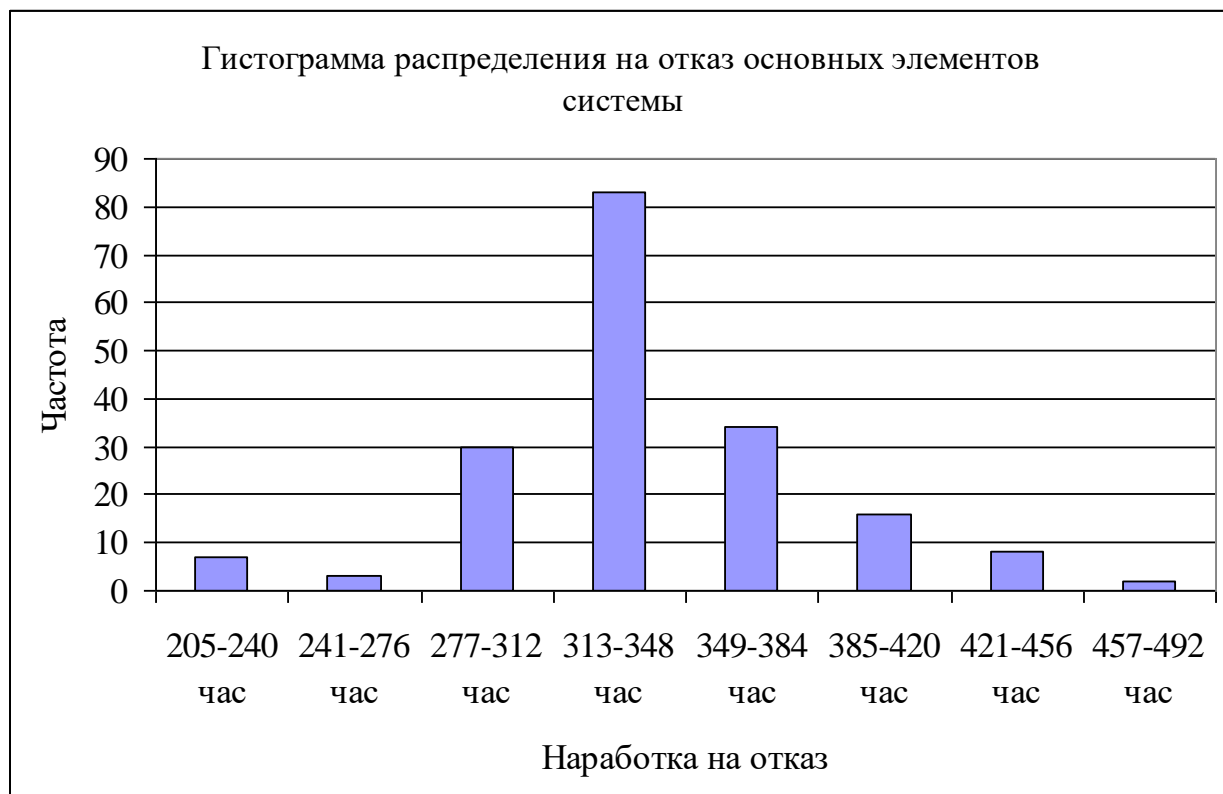
1.2.5. Диапазон гистограммы разбивается на интервалы.

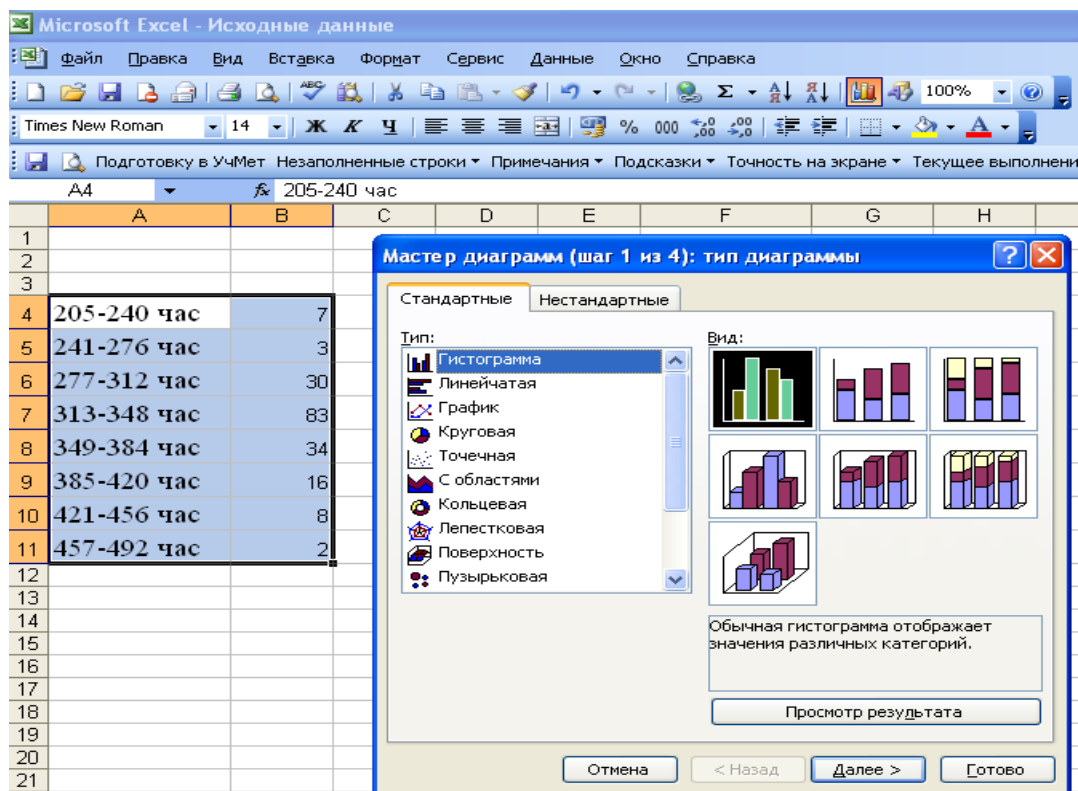
Первый интервал гистограммы $205+35=240$ час. (205-240 час)
 Второй интервал гистограммы $241+35=276$ час. (241-276 час)
 Третий интервал гистограммы $277+35=312$ час. (277-312 час)
 Четвертый интервал гистограммы $313+35=348$ час. (313-348 час)
 Пятый интервал гистограммы $349+35=384$ час. (349-384 час)
 Шестой интервал гистограммы $385+35=420$ час. (385-420 час)
 Седьмой интервал гистограммы $421+35=456$ час. (421-456 час)
 Восьмой интервал гистограммы $457+35=492$ час. (457-492 час)

1.2.6. Подсчитывается число попаданий результатов в каждый интервал:

Первый интервал гистограммы (205-240 час), 7 попаданий
 Второй интервал гистограммы (241-276 час) 3 попадания
 Третий интервал гистограммы (277-312 час) 30 попаданий
 Четвертый интервал гистограммы (313-348 час) 83 попадания
 Пятый интервал гистограммы (349-384 час) 34 попаданий
 Шестой интервал гистограммы (385-420 час) 16 попаданий
 Седьмой интервал гистограммы (421-456 час) 8 попаданий
 Восьмой интервал гистограммы (457-492 час) 2 попадания

1.2.7. Строится столбчатая диаграмма.





Исходя из гистограммы, мы видим, что распределение наработки на отказ элементов системы подчиняется **нормальному** закону.

Функция распределения нормального закона

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx,$$

a – математическое ожидание,

x – текущее значение случайной величины,

σ - среднеквадратическое отклонение.

Вероятность безотказной работы

$$P(x) = 1 - F(x)$$

Плотность распределения $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}$

Коэффициент вариации $V = \frac{\sigma}{a}$

Для нормально распределенной случайной величины все рассеивание укладывается со следующей точностью:

$$a = \pm \sigma P(x) = 0,682$$

$$a = \pm 2 \sigma P(x) = 0,954$$

$$a = \pm 3 \sigma P(x) = 0,9973$$

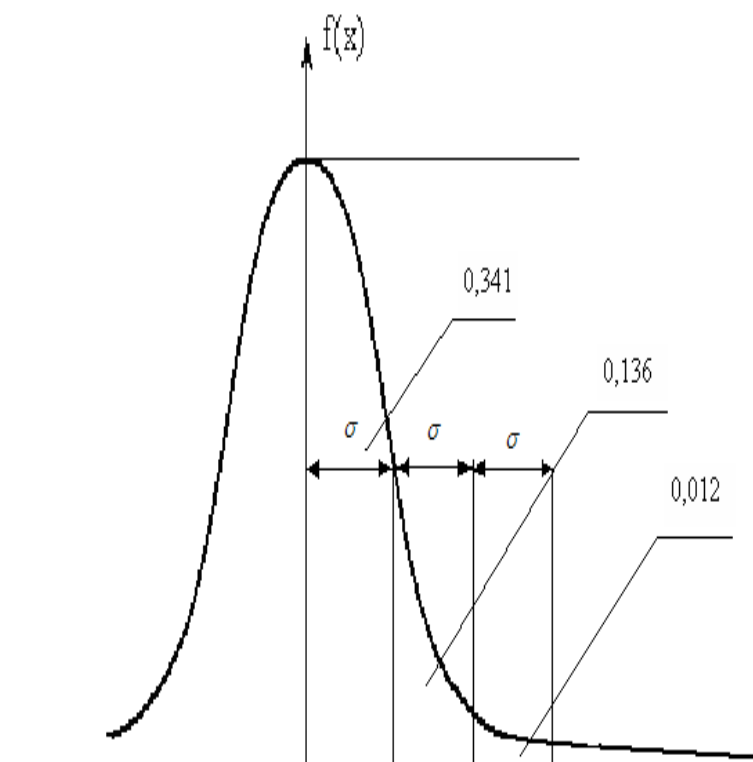


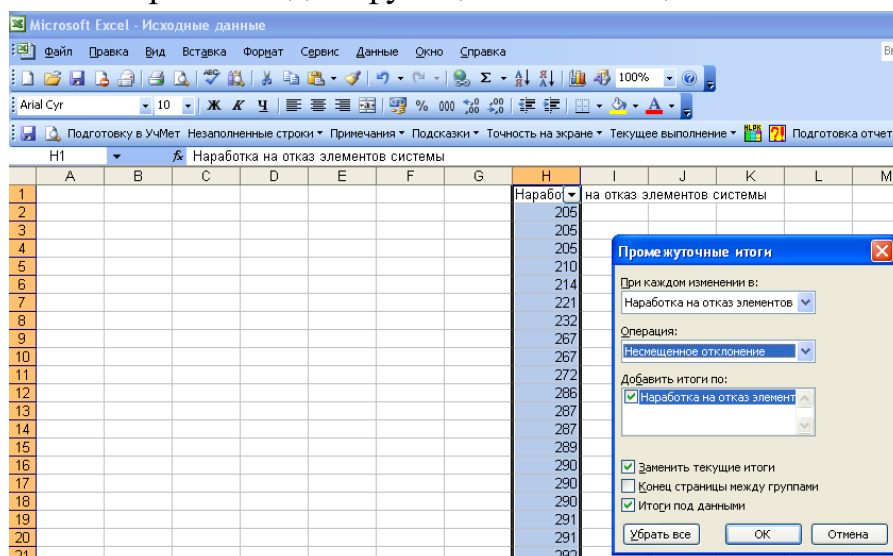
Рисунок 1 – Кривая нормального распределения

Для оценки рассеяния данных относительно центра служит *стандартное отклонение* σ

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} . \quad (2)$$

1.3. Вычисляем стандартное отклонение по формуле (2). В данном случае: $\sigma = 33,662$ час

Рекомендуется использование программы Excel. Используется опция «Итоги», в окне которой находим функцию «Несмещённое отклонение».



Теперь нужно определить вероятность выхода из строя одного элемента системы в случае его использования в технической системе со средним значением наработки до отказа 248,2 часа (см. исходные условия).

1.4. Определяем, сколько значений σ укладывается в интервал от 360,66 часа (расчетное значение *математического ожидания*) до 248,2 часа (см.рис.2.)

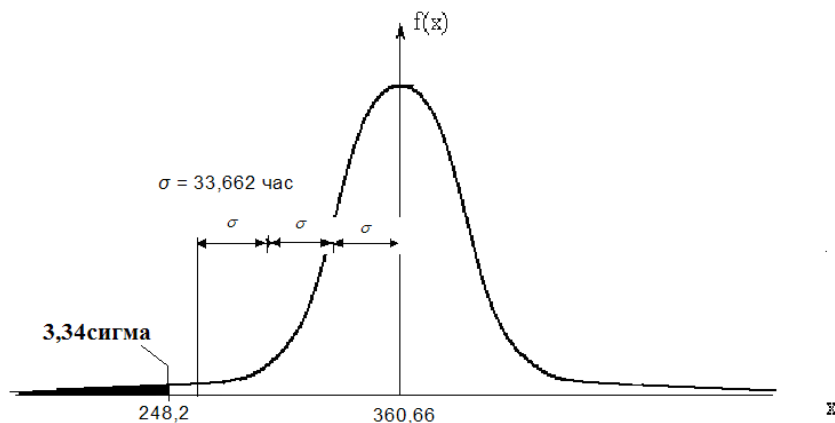


Рисунок 2 – К определению вероятности выхода из строя одного элемента системы

$$\Delta = (360,658 - 248,2) / 33,662 = 3,34$$

1.5. По номограмме находим процент вероятности выхода из строя одного элемента системы в случае его использования в течение 248,2 часа $\sim 0,085\%$

1.6. Составляем таблицу вероятности бездефектной работы технической системы в случае использования нескольких элементов системы.

Для случая одного элемента вероятность дефектности при использовании одного элемента со средним значением наработки до отказа 248,2 часа равен 0,085. Вероятность надежной (безотказной) работы в этом случае равна:

$$(100\% - 0,085\%) / 100 = 0,99915$$

Теперь требуется рассчитать максимально возможное количество элементов в технической системе при следующих условиях:

- гамма-процентная наработка технической системы равна 90 %;
- вероятность надежной (безотказной) работы элемента - 0,99915

Поскольку в исходных условиях не указывается схема соединения элементов, то определим вероятности безотказной работы технической системы при основном соединении элементов. При основном соединении элементов отказ технической системы наступает при отказе любого из ее элементов.

При расчете надежности таких систем предполагают, что отказ элемента является событием случайным и независимым.

Вероятность безотказной работы такой системы $P_c(t)$ в течение времени t

определяется как произведение вероятностей безотказной работы составляющих ее элементов:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_{gi}(t), \quad (3)$$

$$\text{Если } P_{gi}(t) = P_g(t), \text{ то } P_c(t) = (P_g(t))^n \quad (4)$$

Для двух элементов системы = вероятность равна:

$$P_2(t) = 0,99915^2 = 0,9983$$

Для трех элементов системы = вероятность равна:

$$P_3(t) = 0,99915^3 = 0,9975$$

В условиях вероятности надежной (безотказной) работы каждого элемента 0,99915 увеличение количества элементов до трех при их основном соединении снижается, но всё ещё превышает заданный гамма-процентный ресурс. Изменение вероятности бездефектной работы технической системы по мере увеличения количества элементов при их основном соединении представлено в Таблице 4.

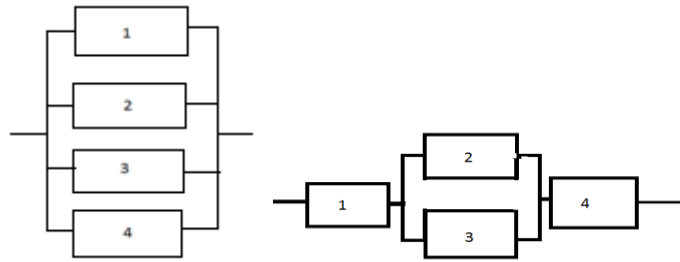
Таблица 4

Вероятность бездефектной работы технической системы
в случае использования нескольких элементов системы

Количество элементов системы	Вероятность надежной работы	Заданный Гамма-процентный ресурс
1	0,99915	
2	$0,99915^2 = 0,9983$	
3	$0,99915^3 = 0,9975$	
4	$0,99915^4 = 0,9966$	
5	$0,99915^5 = 0,9958$	
6	$0,99915^6 = 0,995$	
7	$0,99915^7 = 0,994$	
8	$0,99915^8 = 0,9932$	
9	$0,99915^9 = 0,9923$	
10	$0,99915^{10} = 0,9915$	
....	
....	
124	$0,99915^{124} = 0,9$	0,9

Ответ: максимально возможное количество элементов в технической системе при заданных условиях для обеспечения гамма-процентного ресурса, равного 90%, не должно превышать 124

3.2 Задание 2: найти вероятность надежной работы устройства технической системы при следующих условиях соединения элементов:



Исходные условия:

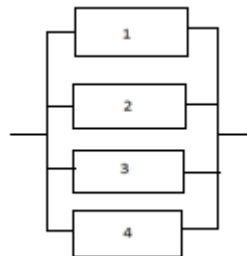
- количество используемых элементов в конструкции технической системы составляет 4;
- вероятность надежной работы одного элемента равна 0,96;

Дано: Найти вероятность надежной работы устройства технической системы при различных условиях соединения элементов.

Исходные условия:

- Количество используемых элементов в конструкции технической системы составляет 4;
- Вероятность надежной работы одного элемента равна 0,96;

А. Схема соединения элементов системы параллельное:



Решение:

Параллельное соединение элементов такое, при котором отказ системы наступает при отказе всех элементов. В этом случае определяют вероятность отказа системы $F_c(t)$ (вероятность риска) за время t , как произведение вероятностей отказов $F_i(t)$ всех ее элементов, то есть:

$$F_c(t) = \prod_{i=1}^n F_i(t) \quad (5)$$

Тогда вероятность безотказной работы системы $P_c(t) = 1 - F_c(t)$.

Вероятность выхода из строя каждого элемента F_1 равна: $1 - 0,996 = 0,004$

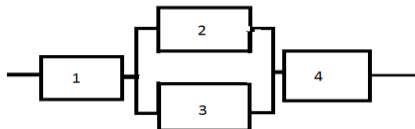
Произведение вероятностей отказов $F_i(t)$ всех ее элементов:

$$F_4 = 0,04^4 = 0,00000256$$

Вероятность надежной работы устройства технической системы при заданном условии соединения элементов:

$$P = 1 - F_4 = 0,99999744$$

Б. Схема соединения элементов системы сложное:



Решение:

Рассчитаем вероятность выхода из строя узла системы, состоящего из 2 и 3 элемента, соединённых параллельно:

$$P_{2,3} = (1 - F_2 * F_3)$$

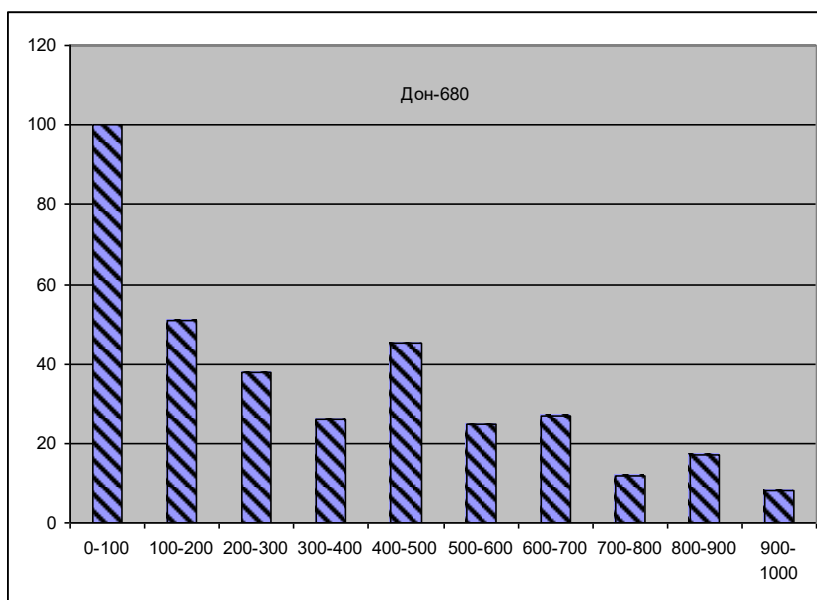
Далее вероятность безотказной работы определяется как произведение вероятностей безотказной работы составляющих ее элементов:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_{\text{эл}}(t), \text{ т.е.}$$

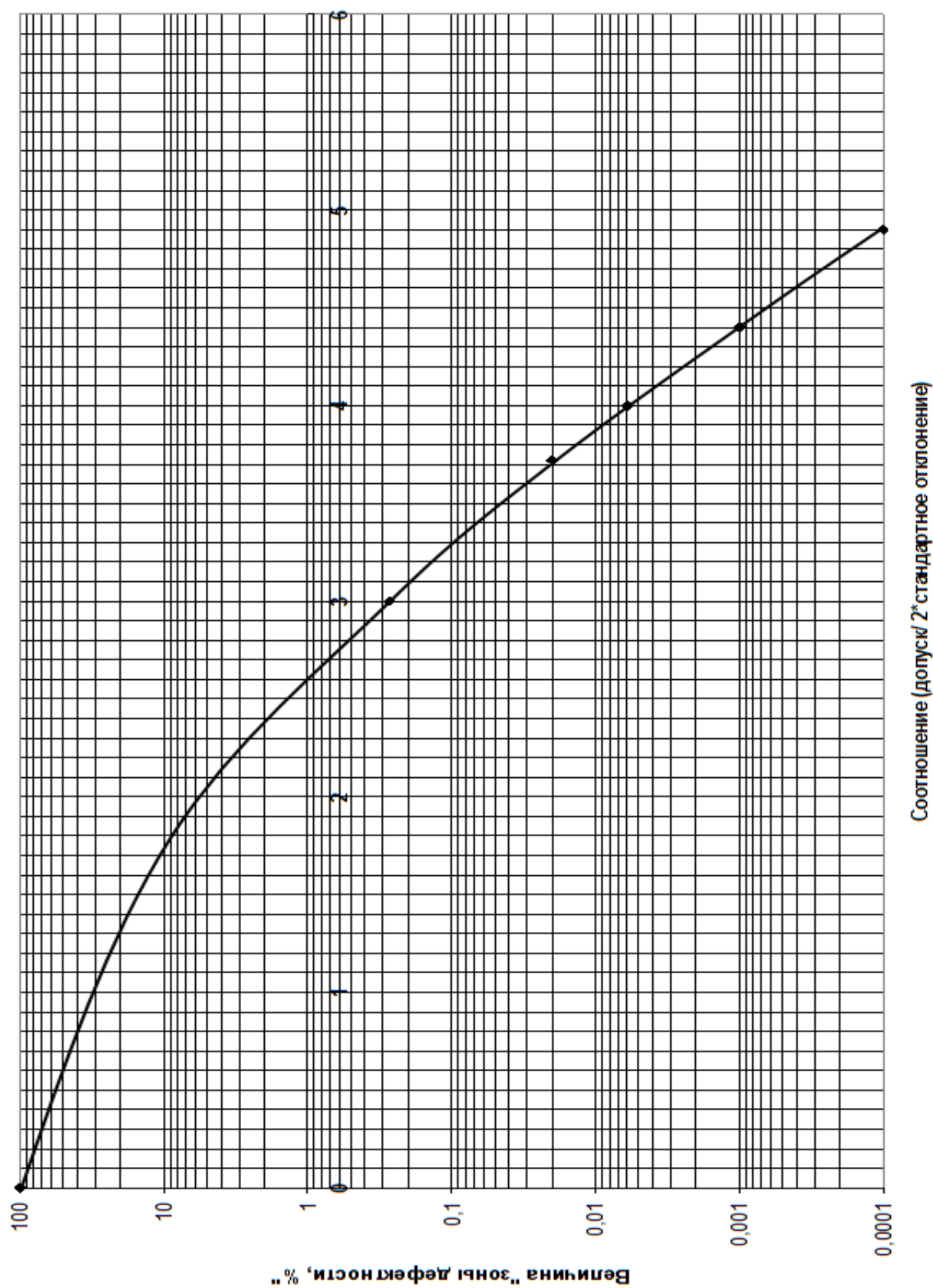
$$P = P_1 * (1 - F_1 * F_1) * P_4$$

$$P = 0,996 * (1 - 0,004 * 0,004) * 0,996 = 0,992$$

3.3 Задание 3: построить гистограммы наработки до отказа технической системы, и сделать вывод о характере закона распределения.



Вывод: распределение до отказа подчиняется экспоненциальному закону



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Трушкова Е. А. Надежность технологических систем и техногенный риск: методические указания (практикум) для подготовки бакалавров направления 280700.62 «Техносферная безопасность», профиль подготовки «Безопасность технологических процессов и производств». – Ростов н/Д.: Ростовский государственный строительный университет, 2014.
2. Хенли Э. Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска – М.: Машиностроение, 1984.
3. Белов С. В., Девисилов В. А. Безопасность жизнедеятельности: Учеб.для студентов учреждений. – М.: Высшая школа, 2000.
4. Гурова О. С. Надежность технических систем и техногенный риск: Методические указания по выполнению практической работы на тему «Определение основных количественных параметров, характеризующих надежность инженерно-экологической системы» для бакалавров направления подготовки 280700 «Техносферная безопасность» – Ростов н/Д.: Ростовский государственный строительный университет, 2014.
5. Занько Н.Г., Корсаков Г.А. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие для студентов всех специальностей – СПб.: , 1997.
6. Трушкова Е. А. Методические указания к выполнению курсового проекта “Анализ техногенного риска и обеспечение безопасности технологического процесса производства полиэтилена” по курсу “Надежность технических систем и техногенный риск”: Для студентов специальностей: “Безопасность технологических процессов ” всех форм обучения, Ростов н/Д.: Ростовский государственный строительный университет, 2007.
7. Ефремов, И.В., Рахимова, Н.Н. Надежность технических систем и техногенный риск: учебное пособие Оренбург: ОГУ, 2013.
8. Малафеев С.И., Копейкин А.И. Надежность технических систем. Примеры и задачи – Лань, 2016.
9. Юркевич В. В., Схиртладзе А. Г. Надежность и диагностика технологических систем: Учебник – М.: Высшая школа, 2011.
10. Кузнецов В. А. Надежность и эффективность в технике: Справочник в десяти томах. Т.10 Справочные данные по условиям эксплуатации и характеристикам надежности – М.: Машиностроение, 1990.
11. Алымов В. Т., Тарасова Н. П. Техногенный риск: Анализ и оценка: Учебное пособие для студентов вузов, обуч. по спец. "Охрана окружающей среды и рац. использов. природ. ресурсов" направл. подготовки диплом. спец. "Защита окруж. среды" – М.: ИКЦ "Академкнига", 2006.