ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»

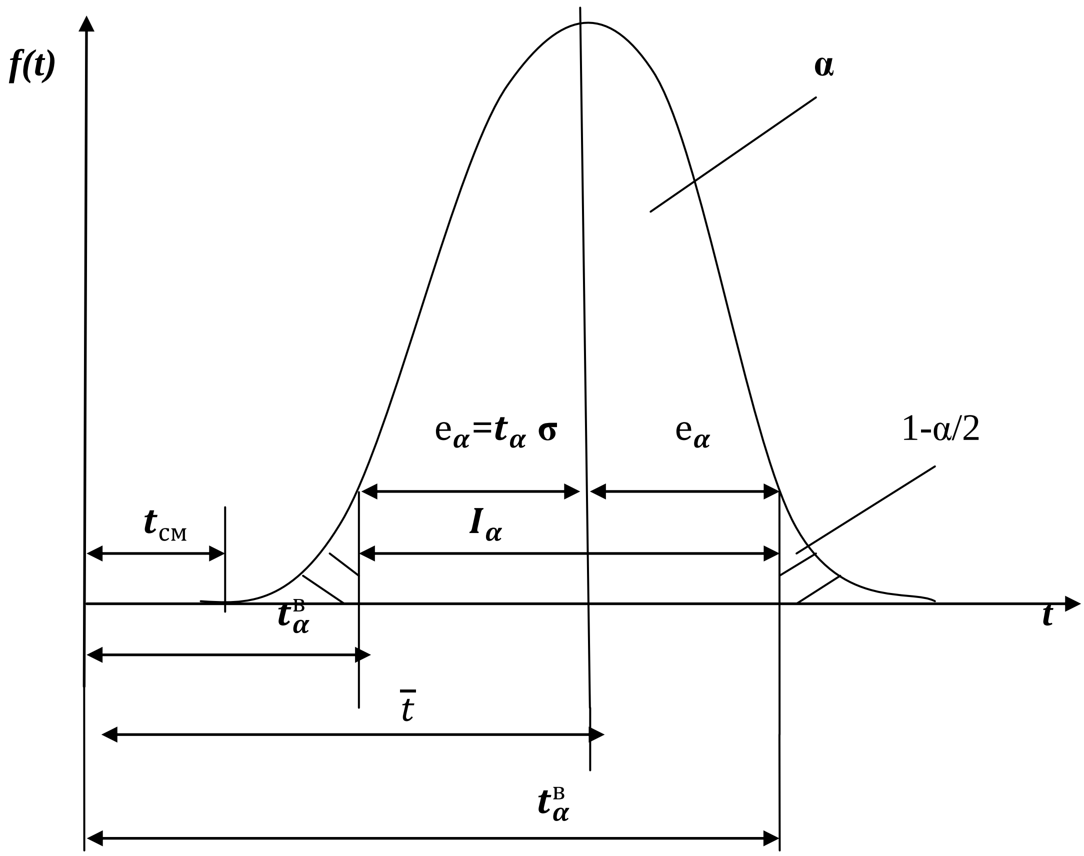
Кафедра технологии материалов, надёжности, ремонта машин и оборудования

Бардадын Н.А.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЗАДАНИЯ №1

«Полная математическая обработка опытной информации по показателям надёжности»

Методическое указание для студентов очной и заочной форм обучения, направления подготовки 36.03.06 Агроинженерия, профиль - Технический сервис в АПК



Брянск 2015

УДК 51:62-192(07)

ББК 22.1:30.14

Б 24

Бардадын Н.А., «Полная математическая обработка опытной информации по показателям надёжности»/ методические указания по выполнению индивидуального задания №1 / Н.А. Бардадын. – Брянск: Издательство Брянский ГАУ, 2015. - 32 с.

Рецензент: Рецензент: доктор технических наук, профессор Купреенко А.И.

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно - технологического факультета от 22 октября 2015 г., протокол №3.

Содержание

1. ЦЕЛЬ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЗАДАНИЯ

Целью данного индивидуального задания является привитие навыков самостоятельного решения конкретных инженерных задач, связанных с методикой обработки первичной и полной опытной информации о надежности машин; решение ряда инженерных задач, связанных с оценкой надёжности исследуемого объекта, а также закрепление, углубление знаний, полученных студентом на лекциях и лабораторных занятиях по дисциплине «Основы надёжности технических систем».

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Статистическая обработка информации о показателях надежности объекта имеет конкретное прикладное значение, так как позволяет планировать сроки постановки в ремонт отдельных машин и их агрегатов, прогнозировать их ресурс, расход запасных частей, ГСМ, планировать работу машинно-тракторного парка, оценить качество ремонта машин и др. В самостоятельной работе студент на основании выданного преподавателем индивидуального варианта задания, производит математическую обработку полной информации по доремонтным ресурсам двигателя А-41. В результате определяется количество двигателей, которые потребуют ремонта с начала эксплуатации и до конца третьего интервала статистического ряда, выбирается теоретический закон распределения (ТЗР) до ремонтного ресурса, определяются его параметры, определяются доверительные границы рассеивания, а также абсолютная и относительная погрешности.

ЗМЕТОДИКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Обработка полной информации включает в себя следующие этапы [1].

1. Составление сводной таблицы исходной информации в порядке возрастания показателя надёжности.
2. Построение статистического ряда исходной информации.
3. Определение среднего значения показателя надёжности$\bar{t}$ и среднего квадратического отклонения σ.

4. Проверка информации на выпадающие точки.

5. Графическое изображение опытного распределения показателя надёжности. Построение гистограммы, полигона и кривой накопленных опытных вероятностей.

6. Определение относительной характеристики рассеивания показателя надёжности - коэффициента вариации *V*.

7. Выбор теоретического закона распределения, определение его параметров.

8. Проверка вероятности совпадения опытных и теоретических законов распределения показателей надёжности по критерию согласия, графическое изображение дифференциальной fƒ(t) и интегральной F(t) кривых.

9. Определение доверительных границ рассеивания одиночного и среднегозначений показателя надёжности, а также и наибольших возможных абсолютной и относительной погрешностей переноса.

Задание: Определить средний до ремонтный ресурс двигателя А–41 и количество двигателей, которое потребуют ремонта с начала эксплуатации и до конца третьего интервала статистического ряда. Выбрать теоретический закон распределения (ТЗР) до ремонтного ресурса, определить его параметры, определить доверительные границы рассеивания, а также абсолютную и относительную погрешности.

Последовательность выполнения работы

1. Составить сводную таблицу исходной информации в порядке возрастания показателя надёжности (ПН) до ремонтного ресурса двигателя А–41 (варианты 1–30).

Вариант 1			
3150	2930	4000	3420
6000	3180	3690	4500
5350	4270	1140	2390
4200	4880	2800	3850
4840	5840	3680	2450
2010	4010	3890	2145
1830	4330	4620	3570
2450	3680	3740	3750

Вариант 2			
3020	4120	5100	6000
4710	4450	4300	4000
3900	3950	2860	3430
4180	4240	5890	5660
3840	2210	3250	4150
4900	4600	3990	4200
5520	4290	3840	1180
5890	5780	4080	4820
5600	5800	4120	3080
4310	4390	4570	4660

Вариант 3			
4760	5840	3430	2830
1230	2340	3450	4100
5190	3650	4110	3320
4250	5730	4230	3890
4270	4290	4320	4430
4540	5640	5550	4220
3510	5370	4150	3920
3900	4130	5280	4650

Вариант 4			
3640	3530	5600	3120
2680	2410	2270	4680
5600	9100	1530	3220
5450	6620	8610	2800
2900	2500	3220	7590
6630	8410	4850	2160
1940	4840	3050	4230
4240	5940	2690	3640

Вариант 5			
1010	2280	3550	2180
2000	2820	3830	4520
2880	2000	3250	2640
2730	1460	2280	2190
1190	1280	3000	5090
2370	1370	2910	3330
1540	2460	3110	4860
3420	2890	3670	2110
2350	2370	3760	2550
2230	1630	4850	

Вариант 6			
4860	3200	3540	3210
3660	9120	2420	4700
3500	5160	2500	2800
5910	2900	8410	7610
5600	6660	4850	4550
2300	1950	3000	2150
1500	4240	2700	2700
8600	6640	3150	5600

Вариант 7			
4000	4000	4930	6180
3110	2830	3290	4880
5390	4450	3180	3150
2440	3500	4770	3690
3390	2460	3400	4440
1920	3590	2560	4540
2880	3500	4550	3510
2870	3520	2790	4970

Вариант 8			
2440	3590	4930	2460
4440	4550	3290	2830
1540	2880	3400	4770
4450	5920	6180	2870
3390	3500	2500	3110
3000	3510	4540	4390
4970	4880	3150	4000
3690	4000	3520	3180
2790	1920	2560	5000

Вариант 9			
6000	5570	4850	4950
3120	3000	3850	4450
6830	4050	4150	4350
2500	2500	3140	4250
3860	3280	5060	5170
5270	4550	4650	5370
5460	5450	6840	4750
4180	3390	3480	3560
4280	4380	4480	5000

Вариант 10			
2450	1830	2010	4840
4200	5350	6000	3150
2930	3180	4270	4880
5840	4010	4330	3680
3740	4620	3890	3680
2800	1140	3690	4000
3240	4500	2390	3850
2450	2145	3570	3750
3780	4000		

Вариант 11			
2950	2210	7630	2490
5650	6710	4290	6700
3700	3710	2870	4900
9190	2760	3290	4290
3200	5210	2740	2010
2360	6050	3110	5650
4730	4910	8470	8670
3590	3290	2570	1590

Вариант 12			
2460	2830	4770	2870
3110	5390	4000	3180
5000	4930	3290	4540
3400	6180	3500	3150
3520	2560	3590	4550
2880	5920	3500	3510
4880	4000	1920	2440
4440	1540	4450	3390
3000	4970	3690	2790
3500	3500		

Вариант 13			
2440	4440	1540	4450
3390	3000	4970	3690
2790	3590	4550	2880
5920	3500	3510	4880
4000	1920	4930	3290
3400	6180	3500	4540
3150	3520	2560	2460
2830	4770	2870	3110
5390	4000	3180	5000
3520			

Вариант 14			
1000	3110	5390	4440
2440	3390	1920	2880
2870	4000	2830	4450
3500	2460	3590	3500
3520	4930	3290	3180
4770	3400	2560	4550
2790	6180	4880	3150
3690	4540	4440	3510
4970			

Вариант 15			
3480	4550	4450	6840
4950	3560	5570	4480
4180	4750	3250	4250
5450	4650	4350	4050
3140	4850	5270	3120
2500	5060	4380	5370
4280	3280	5460	4130
6830	3390	2500	

Вариант 16			
4480	5570	3560	4950
6840	4450	4550	3880
4050	4350	4650	4250
3250	4750	4180	3140
4850	5270	3120	5060
4380	5170	2500	3390
6830	4150	5460	3280
4280	5370		

Вариант 17			
1100	2000	2880	2730
1190	2370	1540	8420
2350	2230	2280	2820
2000	1460	1280	1370
2460	2890	2370	1630
3550	3830	3250	2280
3000	2910	3110	3670
4850	2180	4520	4860
2640	2190	5090	3330
2110	2550		

Вариант 18			
2550	3760	2370	2350
2230	1630	4850	2110
3670	2890	3420	3420
1540	2370	1190	2730
2880	2000	1010	2280
2820	2000	1460	1280
1370	2910	3000	2280
3250	3830	5090	3550
2180	4520	2640	2190

Вариант 19			
2150	2350	2550	1010
4850	2370	3460	3000
3830	2000	1370	2280
3420	2730	3760	4860
1630	2190	3550	2370
2280	2820	2640	5090
3670	3330	2230	1460
2910	1280		

Вариант 20			
1280	2910	1190	1460
2230	3340	3670	5050
2640	2820	2280	2370
3550	2190	1630	4860
1540	3760	2730	3420
2280	1370	2000	3830
3000	2460	2370	4850
1010	2550	2350	

Вариант 21			
3900	3510	4540	4270
4250	5190	1230	4760
4130	5370	5640	4290
5730	3650	2340	5840
3430	3450	4110	4230
4320	5550	4150	5280
2830	4250	3420	4110
4430	4220	3920	3750

Вариант 22			
4130	4150	5370	4370
5640	4290	5370	3650
2340	5840	3430	3450
4110	4230	4320	5560
4260	5280	3940	3510
4540	4270	4250	5190
1220	4770	2820	4150
3340	3890	4430	4230
3960	4570		

Вариант 23			
6000	4000	3430	5670
4000	4140	4200	1880
4720	3080	4660	5100
4300	2860	5890	3250
3900	3840	4080	4120
4570	4390	5810	5880
4290	4600	2210	4240
3950	4450	4120	4310
5890	5520	4920	3840
4180	3900	4710	3620

Вариант 24			
3670	4430	4020	5850
4870	4280	3280	2930
3150	5990	5350	4210
4740	2210	1830	2450
4000	3690	1150	2810
3680	3890	4520	3740
3420	4500	2390	3850
2450	2145	3570	3750
4000	3990	2970	3110

Вариант 25			
2610	3440	4090	4090
2180	2700	3540	4160
2210	2820	3560	4280
2300	2910	3610	4310
2320	2960	3670	4390
2380	3060	3700	4410
2420	3120	3780	4490
2460	3240	3860	4500

Вариант 26			
500	890	1240	1460
580	900	1260	1520
610	920	1270	1560
680	970	1294	1600
690	990	1306	1610
700	1000	1340	1640
720	1020	1390	
760	1080	1400	

Вариант 27			
1180	2240	2710	3180
1240	2320	2800	3200
1610	2380	2840	
1860	2440	2860	
1910	2500	2920	
2000	2580	2980	
2040	2620	3000	
2080	2650	ЗОЮ	
2110	2670	3080	
2112	2690	3110	

Вариант 28			
2400	4100	5600	7840
2550	4270	5840	7930
2670	4390	5960	8060
3000	4510	6010	8400
3110	4630	6080	
3240	4810	6280	
3560	4990	6460	
3680	5200	6900	
3800	5320	7200	
3930	5480	7600	

Вариант 29			
950	1750	2400	2910
1300	1850	2420	3000
1320	1880	2420	3150
1410	1900	2450	3220
1410	1940	2500	3280
1520	1960	2520	3300
1600	1960	2540	3310
1710	1980	2570	3380
1730	2000	2650	3420
1750	2000	2700	3500
2200	2200	2750	3520
2020	2020	2780	3580
2070	2260	2820	3600
2150	2280	2870	3650
2180	2290	2900	3680

Вариант 30			
4020	6010	8660	
4110	6240	9000	
4600	6720	9010	
4860	6990	9230	
5000	7060	9480	
5230	7200	9600	
5560	7530		
5860	7980		,
5940	8110		
5980	8340		

Математическая обработка опытной информации начинается с составления сводной таблицы исходной информации. Данная операция заключается в том, что показатели надёжности, полученные в результате опыта или наблюдения за группой однотипных машин расставляются в прядке возрастания. Поэтому в ряде литературных источников эта операция называется ранжированием опытных данных.

2. Как правило, статистический ряд составляют, если количество испытываемых объектов или объем выработки $N \geq 25$. Основная цель это упрощение дальнейших расчетов и представление информации в более наглядной форме. Составление статистического ряда начинается с разбивки имеющейся опытной информации на определённое количество интервалов. Рекомендуемое

количество интервалов статистического ряда n = 6…12. Из практики инженерных расчётов известно, что чем больше количество интервалов, тем точнее расчёт, но выше трудоёмкость.

Количество интервалов статистического ряда n определяют исходя из следующего уравнения

$$n = \frac{t_{max} - t_{см}}{А}.$$

где t_{max} и $t_{см}$–максимальное значение показателя надёжности и величина смещения соответственно, мотто-ч.

Все показатели надёжности относятся к категории «существенно положительных» величин. В этой связи у многих из них начало рассеивания может быть существенно смещено вправо относительно их нулевого значения (ресурс, стоимость, и др.) на величину смещения $t_{см}$. Величина смещения и величина интервала статистического ряда в данном случае выбирают из тех соображений, чтобы первая точка опытной информации находилась приблизительно на середине первого интервала статистического ряда. Интервалы должны быть одинаковыми по величине, плотно прилегать друг к другу, не иметь разрывов и охватывать всю имеющуюся совокупность.

Существует и другая методика. Для определения количества интервалов используют следующее уравнение

$$n = \sqrt{N} \pm 1$$

Полученный таким образом результат округляют до ближайшего целого числа.

Длину интервала статистического ряда *А* рассчитывают по формуле

$$А = (t_{max} - t_{min})/n,$$

где $t_{max} - t_{min}$ – максимальное и минимальное значение показателя надёжности соответственно, мото-ч.

Смещение начала рассеивания $t_{\text{см}}$ определяют по формуле

$$t_{\text{см}} = t_{1\text{н}} - 0{,}5\text{А},$$

где $t_{1\text{н}}$ — начало первого интервала, моточ.

Значение опытной вероятности в i-м интервале статистического ряда$P_{\text{оп}\ i}$ определяют по формуле

$$\text{P}_{\text{оп}\ i} = \frac{m_{\text{оп}\ i}}{N}$$

где $m_{\text{оп}\ i}$- опытная частота i-того интервала статистического ряда.

Полученные данные вносят в статистический ряд

Статистический ряд по до ремонтным ресурсам двигателя А-41

Интервал мото-ч.							
Середина интервала t_{ic} мото-ч.							
Опыт.частота i-того интервала $m_{\text{оп}\ i}$							
Опыт.вероятность i-того интервала $P_{\text{оп}\ i}$							
$\sum$ Вероятность i-того интервала $P_{\text{оп}\ i}$							

2. При наличии статистического ряда среднее значение показателя надёжности $\bar{t}$ рассчитывают по формуле

$$\bar{t} = \sum_{1}^{n} t_{ic} \cdot P_{\text{оп}\ i}$$

где t_{ic} – значение середины i-того, интервала статистического ряда, мотто-ч;
$P_{\text{оп}\ i}$ – опытная вероятность i-того интервала статистического ряда.

При наличии статистического ряда среднее квадратическое отклонение σ рассчитывают по формуле

$$\sigma = \sqrt{\sum_{1}^{n} (t_{ic} - \bar{t})^2 \cdot P_{\text{оп } i}}$$

3. Каким бы тщательным образом ни собиралась опытная информация по показателям надёжности, в ней по разным причинам могут быть ошибочные точки, выпадающие из общего закона распределения. Поэтому перед окончательной математической обработкой информацию необходимо проверить на достоверность или на выпадающие точки либо по правилу $\bar{t} \pm 3\,\sigma,$ или по критерию Ирвина

$$\lambda_{on} = (t_{i+1} - t_i)/\sigma,$$

где λ_{on}- опытное значение критерия Ирвина;

t_i, t_{i+1} – смежные точки опытной информации, мото-ч.

Правило $\bar{t} \pm 3\,\sigma$ является достаточно грубым способом, поскольку даёт возможность проверить только крайние точки опытной информации. Критерий Ирвина даёт возможность проверить практически любую точку опытной информции независимо от места расположения в водной таблице исходной информации.

Теоретический коэффициент Ирвина λ_{on} определяют по значениям объема выборки N и доверительной вероятности α, используя таблицу 1 приложения.

Точка информации является достоверной, если выполняется условие $\lambda_{on} \leq \lambda_m$, в противном случае точка является недостоверной, т.е. выпадающей. Она подлежит удалению из сводной таблицы исходной информации, а также из статистического ряда и пересчёту подлежат среднее значение показателя надёжности и среднее квадратическое отклонение.

4. По результатам первичной обработки опытной информации строятся: гистограмма, полигон и кривая накопленных опытных вероятностей. Графическое изображение опытного распределения показателя надёжности даёт более наглядную картину в целом и позволяет решать графическим способом ряд инженерных задач, связанных с оценкой надёжности исследуемого объекта.

Гистограмма и полигон являются дифференциальными, а кривая накопленных опытных вероятностей, полученная путем последовательного сложения площадей под гистограммой или полигоном– интегральным статистическими законами распределения опытного показателя надёжности (рис. 1).

При построении гистограммы по оси абсцисс поинтервально откладывают в определённом масштабе значение показателя надёжности в его размерности (мото-ч) , а по оси ординат – опытную вероятность $P_{\text{оп } i}$для данного i-того интервала.

Соединив между собой середины интервалов статистического ряда t_{ic}, получают полигон. Таким образом точкой полигона является точка пересечения ординаты, равной опытной вероятности интервала, и абсциссы, равной середине этого интервала.

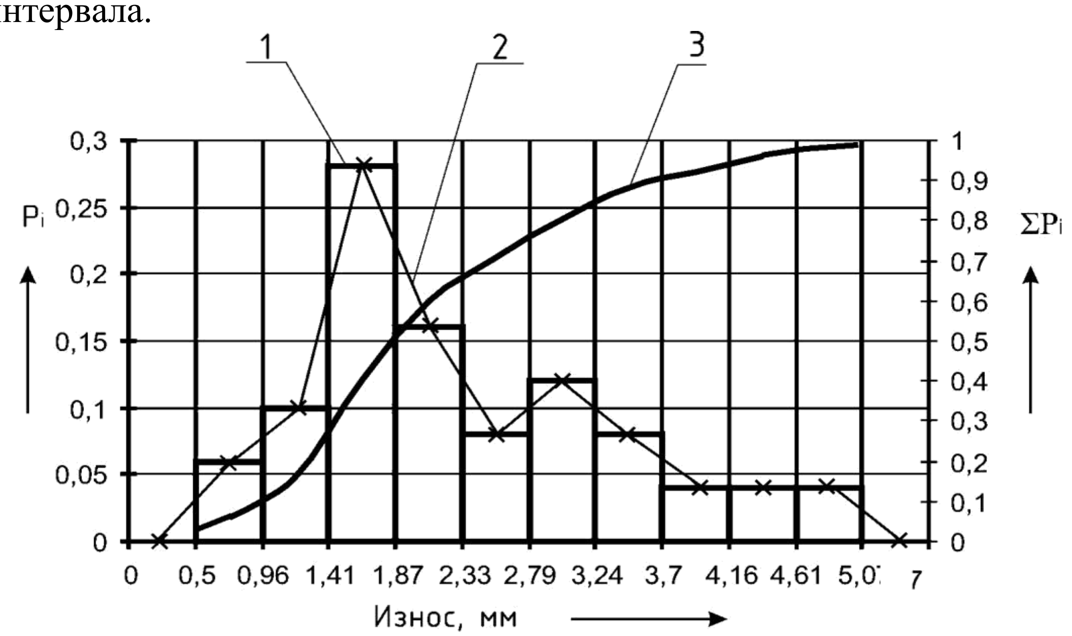


Рисунок 1 – Графическое изображение опытного распределения показателя надёжности (распределение до ремонтного ресурса двигателя А-41):
1 – гистограмма; 2- полигон; 3 – кривая накопленных опытных вероятностей

Площадь каждого прямоугольника гистограммы, площадь под полигоном в пределах интервала равны количеству объектов в долях единицы, у которых значения показателя надёжности находятся в границах этого интервала. Точку кривой накопленных опытных вероятностей в i-том интервале получают при пересечении ординаты, равной сумме вероятностей i-интервалов (см. правую ось ординат) $\sum_1^n P_i$ и абциссы конца данного i − того интервала − t_{ik}.

Полученные точки соединяют прямыми линиями, первую точку соединяют с началом первого интервала.

6. Коэффициент вариации V является относительной безразмерной характеристикой рассеивания показателя надёжности и используется при предварительном выборе теоретического закона распределения.

С учётом величины смещения уравнение для определения коэффициента вариации имеет вид

$$V = \sigma/(\bar{t} - t_{\text{см}})$$

В первом приближении теоретический закон распределения выбирают по величине коэффициента вариации. При $V < 0{,}3$ предпочтение отдают закону нормального распределения (ЗНР), если $V > 0{,}5$ – закон распределения Вейбулла (ЗРВ). Если значение коэффициента вариации находится в интервале 0,3…0,5, то выбирают тот закон, который лучше совпадает с распределением опытной информации, т.е расчёт ведут параллельно по двум законам распределения и в конечном итоге предпочтение одному из них отдают по величине критерия согласия.

7. Каждый теоретический закон распределения характеризуется двумя функциями – функцией плотности вероятностей $f_0(t)$ или дифференциальной функцией и функцией распределения $F_0(t)$ или интегральной функцией.

Для определения дифференциальной функции через центрированную нормированную функцию используют уравнение

$$f(t_{ic}) = \frac{\text{А}}{\sigma} f_0 \left[\frac{t_{ic} - \bar{t}}{\sigma}\right]$$

где $f_0\left[(t_{ic} - \bar{t})/\sigma\right]$ – центрированная дифференциальная функция ЗНР, определяемая по отношению $(t_{ic} - \bar{t})/\sigma$ в таблице 2 приложения.

Следует учитывать, что $f_0(-t) = f_0(+t)$.

Для определения интегральной функции $F(t)$ ЗНР через $F_0(t)$ применяют уравнение

$$F(t_{ik}) = F_0\left[(t_{ik} - \overline{t})/\sigma\right],$$

где $F_0\left[(t_{ik} - \overline{t})/\sigma\right]$ – центрированная и нормированная интегральная функция, определяемая по таблице 3 приложения.

Следует учитывать, что

$$F_0(-t) = 1 - F_0(+t)$$

Рассчитанные таким образом значения дифференциальной и интегральной функций по всем интервалам статистического ряда заносятся в статистический ряд.

В случае если для выравнивания распределения опытной информации выбор пал на закон распределения Вейбулла, то дифференциальную функцию или функцию плотности вероятностей определяют по уравнению

$$f(t) = \frac{b}{a}\left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} \mathrm{e}^{-\left(\frac{t}{a}\right)^{b}}$$

где a и b –параметры распределения Вейбулла; e – основание натурального логарифма; $t-$ показатель надёжности. Однако пользоваться данным уравнением не представляется возможным поскольку в уравнении два неизвестных - a и b – параметры распределения Вейбулла.

Определяем параметры Вейбулла методом моментов. Параметр b, а также коэффициенты K_b и C_bопределяем из таблицы 4 приложения по известной величине коэффициента вариации V. Зная величину среднего значения показателя надёжности $\overline{t}$, среднего квадратического отклонения σ и величину смещения $t_{\text{см}}$, рассчитывают недостающий параметр a. Параметр a рассчитывают по одному из уравнений

$$a = (\overline{t} - t_{\text{см}})/K_b$$

или

$$a = \sigma/C_b$$

Дифференциальную функцию ЗРВ определяют по таблице 5 приложения.При этом используют уравнение

$$f(t) = \frac{A}{a} f\left[\frac{t_{ic} - t_{см}}{a}\right],$$

где A – величина интервала статистического ряда;

t_{ic} – середина интервала статистического ряда, $t_{см}$ - величина смещения.

Интегральную функцию или функцию распределения закона Вейбулла определяют по таблице 6 приложения. При этом используют уравнение

$$F(t) = F\left[\frac{t_{ik} - t_{см}}{a}\right],$$

где t_{ik} - значение конца i- того интервала статистического ряда.

По ним строятся графики дифференциальной и интегральной функций. При этом дифференциальная кривая заменяет собой полигон распределения, а интегральная - кривую накопленных опытных вероятностей. Построение производится в том же масштабе, что и опытное распределение показателя надёжности. Совмещение опытного и теоретического распределений в одном масштабе позволяет в первом приближении, чисто визуально судить о степени их совпадения или согласия.

При построении дифференциальной и интегральной кривых по оси абсцисс берутся значения интервалов статистического ряда, а по оси ординат – значения $f(t)$ или $F(t)$. Точки на графике дифференциальной функции находят на пересечении абсцисс, равных серединам интервалов статистического ряда, и ординат, равных $f(t)$, а на графике интегральной функции – на пересечении абсцисс, равных концам интервалов статистического ряда, и ординат, равных $F(t)$.

8. Производим проверку совпадения опытных и теоретических законов распределения показателя надёжности производят по критерию согласия. Суть оценки вероятности совпадения заключается в определении степени совпадения или расхождения опытной вероятности и дифференциальной функции или же накопленной опытной вероятности и интегральной функции. При обработке опытной информации по показателям надёжности сельскохозяйственной техники

наиболее часто применяют критерий согласия Пирсона χ^2 , который представляет собой сумму квадратов отклонений опытных и теоретических частот в каждом интервале укрупненного статистического ряда информации и определяется по уравнению

$$\chi^2 = \sum_{1}^{n} (m_{\text{оп}i} - m_{\text{т}i})^2 / m_{\text{т}i}$$

где $n_\text{у}$ – число интервалов в укрупненном статистическом ряду;

$m_{\text{оп}i}$ – опытная частота в i-ом интервале укрупненного статистического ряда;

$m_{\text{т}i}$ – теоретическая частота в i-ом интервале укрупненного статистического ряда;

На данный момент обработки информации остаётся неизвестной теоретическая частота в i-ом интервале статистического ряда, которая рассчитывается для каждого интервала статистического ряда по формуле

$$m_{\text{т}i} = N[F(t_{i+1}) - F(t_i)]$$

где $F(t_{i+1})$ и $F(t_i)$ – интегральные функции $i+1$ и i-*го* интервала укрупненного статистического ряда.

Укрупненный статистический ряд составляют исходя из условий:

$$n_\text{у} \geq 4; \ m_i \geq 5.$$

Допускается объединение тех интервалов, в которых $m_i < 5$.

После выбора количества интервалов укрупненного статистического ряда необходимо заполнить таблицу 1.

Таблица 1 – Информация об интервалах укрупненного статистического ряда

Интервал, мото-ч.					
Опытная частота $m_{\text{оп}i}$					
При законе нормального распределения $m_{\text{т}i}$					
$f(t)$					
$F(t)$					
При законе распределения Вейбулла $m_{\text{т}i}$					
$f(t)$					
$F(t)$					

Наиболее приемлемым в итоге окажется тот закон распределения, совпадение которого с опытным распределением будет характеризоваться наименьшим значением расхождения, т.е. у которого меньше критерий Пирсона χ^2.

Рассчитав таким образом значения критерия согласия Пирсона χ^2 для ЗНР и ЗРВ, по таблице 7 приложения, определяют вероятность совпадения опытных и теоретических данных *P*, выраженную в процентах. Для входа в таблицу необходимо определить число «степеней свободы» *r* по формуле

$$r = n_{\text{у}} - \text{К},$$

где $n_{\text{у}}$ – число интервалов в укрупнённом статистическом ряду; *К*– число обязательных связей. Для ЗНР и ЗРВ число обязательных связей *К=3*: две связи это два параметра распределения, а третья связь – $\sum_{\text{Pi}} = 1{,}0$. Число степеней свободы указывает на номер строки таблицы 7 по которой ищут вероятность совпадения. Сама вероятность совпадения *P* определяется по заглавной строке.

Вероятность совпадения является критический при *P=10%*, то есть если *P≤10%,* данный теоретический закон распределения непригоден. Из двух ТЗР выбирают тот, который обеспечивает большее совпадение опытных и теоретических данных.

9. Определение доверительных границ рассеивания одиночного и среднего значений показателя надёжности. Значения характеристик показателя надежности изменяются в зависимости от условий эксплуатации машин и объема выборки. Оценивают эти изменения доверительными границами рассеивания. Определение границ рассеивания показателя надёжности и возможной ошибки их переноса является одной из основных задач теории надежности. Границы в которых может колебаться значение одиночного показателя надёжности при заданной доверительной вероятности α называют нижней доверительной границей $t_{\alpha}^{\text{Н}}$ и верхней доверительной границей рассеивания $t_{\alpha}^{\text{в}}$. Доверительная вероятность α это площадь охвата, характеризующая степень доверия расчёту и гарантирующая вероятность попадания показателя надёжности в соответствующий интервал его значений. При расчёте доверительных границ рассеивания показателей

надёжности в зависимости от конечных целей расчёта рекомендуется принимать следующие значения доверительных вероятностей α = 0,80; 0,90; 0,95; 0,99.

На рисунке 2 показана зависимость между доверительной вероятностью α, доверительными границами рассеивания $t_\alpha^{\text{н}}$ и $t_\alpha^{\text{в}}$одиночного значения показателя надёжности и возможной максимальной ошибкой е_α для ЗНР.

Максимальную абсолютную ошибку для одиночного значения показателя надёжности определяют по формуле

$$\text{е}_\alpha = t_\alpha \sigma$$

где t_α – коэффициент Стьюдента, определяемый по значению доверительной вероятности α и объему выборки N/α из таблицы 8 приложения.

Нижнюю и верхнюю доверительные границы рассеивания при ЗНР рассчитывают соответственно по формулам

$$t_\alpha^{\text{н}} = \bar{t} \text{ - } t_\alpha \sigma;$$

$$t_\alpha^{\text{в}} = \bar{t} + t_\alpha \sigma;$$

Доверительный интервал I_α это интервал, в который при заданной доверительной вероятности α попадает 100 α % от N показателей надежности. Его определяют по формуле

$$I_\alpha = t_\alpha^{\text{в}} - t_\alpha^{\text{н}}$$

При решении практических задач чаще приходится определять доверительные границы рассеивания среднего значения показателя надежности. Расчётная схема и физический смысл доверительных границ среднего значения показателя надёжности те же, что и для одиночного (см. рис.2). Разница заключается в значении среднего квадратического отклонения.

Среднее квадратическое отклонение $\sigma_{\bar{t}}$ рассеивания среднего значения показателя надёжности определяют по формуле

$$\sigma_{\bar{t}} = \sigma / \sqrt{N}$$

При законе нормального распределения и заданной доверительной вероятности показатели рассеивания среднего значения показателя надежности определяют по аналогии с одиночным.

Абсолютную ошибку по формуле

$$\mathrm{e}_{\alpha} = t_{a}\sigma/\sqrt{N}$$

Нижнюю и верхнюю доверительные границы рассеивания по формулам

$$\bar{t}_{\alpha}^{\text{н}} = \bar{t} - t_{a}\sigma/\sqrt{N}; \quad \bar{t}_{\alpha}^{\text{в}} = \bar{t} + t_{a}\sigma/\sqrt{N};$$

Доверительный интервал $\bar{I}_{\alpha}$ по формуле

$$\bar{I}_{\alpha} = \bar{t}_{\alpha}^{\text{в}} - \bar{t}_{\alpha}^{\text{н}}$$

В случае если в ходе обработки информации предпочтение отдано закону распределения Вейбулла, то нижнюю и верхнюю доверительные границы рассеивания определяют соответственно по уравнениям

$$t_{\alpha}^{\text{н}} = \text{Н}_{\text{к}}^{b}\left(\frac{1-\alpha}{2}\right)\alpha + t_{см}; \qquad t_{\alpha}^{\text{в}} = \text{Н}_{\text{к}}^{b}\left(\frac{1+\alpha}{2}\right)\alpha + t_{см}$$

где – квантиль ЗРВ, определяемый по таблице 9 приложения по параметру b и величинам (1- $\alpha)/2$ и (1+ $\alpha)/2$.

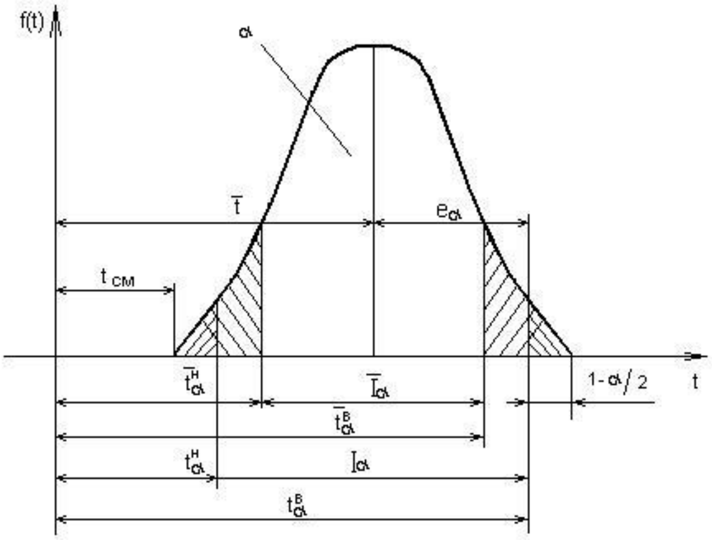


Рисунок 2 –Зависимость между величиной доверительной вероятности α, возможной максимальной ошибкой e_{α}, доверительными границами рассеивания одиночного ($t_{\alpha}^{\text{Н}}$ и $t_{\alpha}^{\text{в}}$) и среднего ($\bar{t}_{\alpha}^{\text{н}}$ и $\bar{t}_{\alpha}^{\text{в}}$) значений показателя надёжности для ЗНР.

При законе распределения Вейбулла нижнюю и верхнюю доверительные границы рассеивания определяют по формулам

$$\overline{t}_{\alpha}^{\text{н}} = (\overline{t} - t_{\text{см}})\sqrt[b]{r_{\text{з}}} + t_{\text{см}}$$

$$\overline{t}_{\alpha}^{\text{в}} = (\overline{t} - t_{\text{см}})\sqrt[b]{r_1} + t_{\text{см}}$$

где r_1 и $r_{\text{з}}$ – коэффициенты распределения Вейбулла, которые определяют по таблице 8 приложения в зависимости от заданной доверительной вероятности α и объема выборки N.

Отличительной особенностью закона распределения Вейбулла является то, что доверительные границы рассеивания, в отличие от закона нормального распределения, ассиметричны среднему значению показателя надежности.

Определение абсолютной и относительной предельных ошибок переноса характеристик показателя надёжности. При расчете характеристик показателей надёжности и переносе их на другие группы машин той же марки необходимо оценить наибольшую возможную ошибку этого переноса. Из рисунка 2 следует, что наибольшая абсолютная ошибка переноса опытных характеристик показателя надёжности при заданной доверительной вероятности α будет равна значению e_{α} в обе стороны от среднего значения показателя надёжности - $\overline{t}$. Иными словами доверительному интервалу рассеивания среднего значения показателя надёжности

$$\overline{I}_{\alpha} = \overline{t}_{\alpha}^{\text{в}} - \overline{t}_{\alpha}^{\text{н}}$$

Относительную предельную ошибку переноса δ_0(в процентах) независимо от ТЗР определяют по формуле

$$\delta_0 = 100\frac{\overline{t}_{\alpha}^{\text{в}} - \overline{t}}{\overline{t} - t_{\text{см}}}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1 - Значения коэффициентов Ирвина $\boldsymbol{\lambda}$

N	α**= 0,95**	**α= 0,99**	**N**	**α = 0,95**	**α =0,99**
2	2,8	3,7	30	1,2	1,7
3	2,2	2,9	50	1,1	1,6
10	1,5	2,0	100	1,0	1,5
20	1,3	1,8	400	0,9	1,3

Таблица 2 – Центрированная дифференциальная функция (функция плотности вероятности) $f_0(t)$ закона нормального распределения

$(\boldsymbol{t_{ic}} - \bar{\boldsymbol{t}})/\boldsymbol{\sigma}$	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
0,0	0,399	0,399	0,399	0,399	0,399	0,398	0,398	0,398	0,398	0,397
0,1	0,397	0,397	0,396	0,396	0,395	0,395	0,394	0,393	0,393	0,392
0,2	0,391	0,390	0,389	0,388	0,388	0,387	• 0,386	0,385	0,384	0,383
0,3	0,381	0,380	0,379	0,378	0,377	0,375	0,374	0,372	0,371	0,370
0,4	0,368	0,367	0,365	0,364	0,62	0,361	0,359	0,357	0,355	0,354
0,5	0,352	0,350	0,349	0,347	0,345	0,343	0,341	0,339	0,337	0,335
0,6	0,333	0,331	0,329	0,327	0,325	0,323	0,321	0,319	0,317	0,314
0,7	0,312	0,310	0,308	0,306	0,303	0,301	0,299	0,297	0,294	0,292
0,8	0,290	0,287	0,285	0,283	0,280 ^	0,278	0,276	0,273	0,271	0,269
0,9	0,266	0,264	0,261	0,259	0,257	0,254	0,252	0,249	0,247	0,244
1,0	0,242	0,240	0,237	0,225	0,232	0,230	0,228	0,225	0,223	0,220
1,1	0,218	0,216	0,213	0,211	0,208	0,206	0,204	0,201	0,199	0,197
1,2	0,194	0,192	0,190	0,187	0,185	0,183	0,180	0,178	0,176	0,174
1,3	0,171	0,169	0,167	0,165	0,163	0,160	0,158	0,156	0,154	0,152
1,4	0,150	0,148	0,146	0,144	0,145	0,139	0,137	0,135	0,133	0,132
1,5	0,130	0,128	0,126	0,124	0,122	0,120	0,118	0,116	0,115	0,113
1,6	0,111	0,109	0,107	0,106	0,104	0,102	0,101	0,099	0,097	0,096
1,7	0,094	0,092	0,091	0,089	0,088	0,086	0,085	0,083	0,082	0,080
1,8	0,079	0,078	0,076	0,075	0,073	0,072	0,071	0,069	0,068	0,067
1,9	0,066	0,064	0,063	0,062	0,061	0,060	0,58	0,057	0,056	0,055
2,0	0,054	0,053	0,052	0,051	0,050	0,049	0,048	0,047	0,046	0,045
2,1	0,044	0,043	0,042	0,041	0,040	0,040	0,039	0,038	0,037	0,036
2,2	0,035	0,035	0,034	0,033	0,032	0,032	0,031	0,030	0,030	0,029
2,3	0,029	0,028	0,027	0,026	0,026	0,025	0,025	0,024	0,023	0,023
2,4	0,022	0,022	0,021	0,021	0,020	0,020	0,019	0,019	0,018	0,018
2,5	0,018	0,017	0,017	0,016	0,016	0,015	0,015	[h]0,015	0,014	0,014
2,6	0,014	0,013	0,013	0,013	0,012	0,012	0,012	0,011	0,011	0,011
2,8	0,008	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,006	0,006	0,006
3,0	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003

Таблица 3 – Интегральная функция (функция распределения) $F_0(t)$ закона нормального распределения

$(t_{ik}-\bar{t})/\sigma$	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
0,0	0,500	0,504	0,508	0,512	0,516	0,520	0,524	0,528	0,532	0,536
0,1	0,540	0,544	0,548	0,552	0,556	0,560	0,564	0,568	0,571	0,575
0,2	0,579	0,583	0,587	0,591	0,595	0,599	0,603	0,606	0,610	0,614
0,3	0,618	0,622	0,626	0,629	0,633	0,637	0,641	0,644	0,648	0,652
0,4	0,655	0,659	0,663	0,666	0,670	0,674	0,677	0,681	0,684	0,688
0,5	0,691	0,695	0,699	0,702	0,705	0,709	0,712	0,716	0,719	0,722
0,6	0,726	0,729	0,732	0,736	0,739	0,742	0,745	0,749	0,752	0,755
0,7	0,758	0,761	0,764	0,767	0,770	0,773	0,776	0,779	0,782	0,785
0,8	0,788	0,791	0,794	0,797	0,800	0,802	0,805	0,808	0,811	0,813
0,9	0,816	0,819	0,821	0,824	0,826	0,829	0,831	0,834	0,837	0,839
1,0	0,841	0,844	0,846	0,849	0,851	0,853	0,855	0,858	0,860	0,862
1,1	0,864	0,867	0,869	0,871	0,873	0,875	0,877	0,879	0,881	0,883
1,2	0,885	0,887	0,889	0,891	0,893	0,894	0,896	0,898	0,900	0,902
1,3	0,903	0,905	0907	0,908	0,910	0,911	0,913	0,915	0,916	0,918
1,4	0,919	0,921	0,922	0,924	0,925	0,926	0,928	0,929!	0,931	0,932
1,5	0,933	0,934	0,936	0,937	0,938	0,939	0,941	0,942	0,943	0,944
1,6	0,945	0,946	0,947	0,948	0,950	0,951	0,952	0,953	0,954	0,955
1,7	0,955	0,956	0,957	0,958	0,959	0,960	0,961	0,962	0,962	0,963
1,8	0,964	0,965	0,966	0,966	0,967	0,968	0,969	0,969	0,970	0,971
1,9	0,971	0,972	0,973	0,973	0,974	0,974	0,975	0,976	0,976	0,977
2,0	0,977	0,978	0,978	0,979	0,979	0,980	0,980	0,981	0,981	0,982
2,1	0,982	0,983	0,983	0,983	0,984	0,984	0,985	0,985	0,985	0,986
2,2	0,986	0,986	0,987	0,987	0987	0,988	0,988	0,988	0,989	0,989
2,3	0,989	0,990	0,990	0,990	0,990	0,991	0,991	0,991	0,991	0,992
2,4	0,992	0,992	0,992	0,992	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,994
2,5	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995
2,6	0,995	0,995	0,995	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
2,8	0,997	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998
3,0	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999

Таблица 4 - Параметры и коэффициенты распределения Вейбулла

V	b	K_b	C_b	V	b	K_b	C_b	V	b	K_b	C_b
1	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**
1,26	0,80	1,13	1,43	0,55	1,90	0,89	0,49	0,36	3,00	0,89	0,33
1,11	0,90	1,07	1,20	0,52	2,00	0,89	0,46	0,35	3,10	0,89	0,32
1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	2,10	0,89	0,44	0,34	3,20	0,90	0,31
0,91	1,10	0,97	0,88	0,48	2,20	0,89	0,43	0,33	3,30	0,90	0,30
0,84	1,20	0,94	0,79	0,46	2,30	0,89	0,41	0,33	3,40	0,90	0,29
0,78	1,30	0,92	0,72	0,44	2,40	0,89	0,39	0,32	3,50	0,90	0,29
0,72	1,40	0,91	0,66	0,43	2,50	0,89	0,38	0,31	3,60	0,90	0,28
0,68	1,50	0,90	0,61	0,41	2,60	0,89	0,37	0,30	3,70	0,90	0,27
0,64	1,60	0,90	0,57	0,40	2,70	0,89	0,35	0,29	3,80	0,90	0,27
0,61	1,70	0,89	0,54	0,39	2,80	0,89	0,34	0,29	3,90	0,91	0,26
0,58	1,80	0,89	0,51	0,38	2,90	0,89	0,34	0,28	4,00	0,91	0,25

$$\bar{t} = a\,K_b; \qquad \sigma = a\,C_b$$

Таблица 5 – Дифференциальная функция (функция плотности вероятности) $af_0(t)$ закона распределения Вейбулла

$\dfrac{t_{ic} - t_{см}}{a}$	**Параметр b**						
	1,0	**1,2**	**1,4**	**1,6**	**1,8**	**2,0**	**3,0**
0,1	0,905	0,711	0,536	0,392	0,281	0,198	0,030
0,2	0,819	0,752	0,662	0,565	0,470	0,384	0,119
0,3	0,741	0,745	0,719	0,672	0,613	0,548	0,263
0,4	0,670	0,716	0,735	0,733	0,714	0,682	0,450
0,5	0,607	0,676	0,726	0,759	0,776	0,779	0,662
0,6	0,549	0,630	0,700	0757	0,803	0,837	0,870
0,7	0,497	0,582	0,662	0,734	0,800	0,858	1,043
0,8	0,449	0,534	0,516	0,695	0,771	0,844	1,151
0,9	0,407	0,487	0,566	0,645	0,728	0,801	1,172
1,0	0,368	0,442	0,515	0,589	0,662	0,736	1,104
1,1	0,333	0,399	0,464	0,520	0,593	0,656	0,959
1,2	0,301	0,359	0,414	0,468	0,520	0,569	0,767
1,3	0,273	0,321	0,367	0,409	0,447	0,480	0,564
1,4	0,247	0,287	0,323	0,353	0,377	0,394	0,378
1,5	0,223	0,256	0,282	0,304	0,313	0,316	0,231
1,6	0,202	0,227	0,245	0,254	0355	0,247	0,128
1,7	0,183	0,202	0,212	0,213	0,205	0,189	0,064
1,8	0,165	0,178	0,182	0,176	0,162	0,141	0,029
1,9	0,150	0,157	0,155	0,144	0,126	0,103	0,011
2,0	0,135	0,139	0,132	0,117	0,096	0,073	0,004
2,1	0,123	0,122	0,112	0,094	0,073	0,051	0,001
2,2	0,111	0,107	0,094	0,075	0,054	0,035	-
2,3	0,100	0,094	0,079	0,060	0,040	0,023	-
2,4	0,091	0,082	0,066	0,047	0,029	0,015	-
2,5	0,082	0,072	0,055	0,036	0,021	0,010	-

Таблица 6 – Интегральная функция (функция распределения) $F(t)$ закона Вейбулла (ЗРВ)

$\frac{t_{i\text{к}} - t_{c\text{м}}}{a}$	b										
	0,9	**1,0**	**1,1**	**1,2**	**1,3**	**1,4**	**1,5**	**1,6**	**1,7**	**1,8**	**1,9**
0,1	0,12	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01
0,2	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07	0,06	0,05	0,05
0,3	0,29	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10
0,4	0,35	0,33	0,31	0,28	0,26	0,24	0,22	0,21	0,19	0,18	0,16
0,5	0,41	0,39	0,37	0,35	0,33	0,32	0,30	0,28	0,27	0,25	0,24
0,6	0,47	0,45	0,43	0,42	0,40	0,39	0,37	0,36	0,34	0,33	0,32
0,7	0,52	0,50	0,49	0,48	0,47	0,46	0,44	0,43	0,43	0,41	0,40
0,8	0,56	0,55	0,54	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,50	0,49	0,48
0,9	0,60	0,59	0,59	0,59	0,58	0,58	0,57	0,57	0,57	0,56	0,56
1,0	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,60	0,63	0,63
1,1	0,66	0,67	0,67	0,67	0,68	0,68	0,68	0,69	0,69	0,70	0,70

Продолжение

$\frac{t_{i\text{к}} - t_{c\text{м}}}{a}$	b										
	0,9	**1,0**	**1,1**	**1,2**	**1,3**	**1,4**	**1,5**	**1,6**	**1,7**	**1,8**	**1,9**
1,2	0,69	0,70	0,71	0,71	0,72	0,73	0,73	0,74	0,74	0,75	0,76
1,3	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81
1,4	0,74	0,75	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85
1,5	0,76	0,78	0,79	0,80	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,89
1,6	0,78	0,80	0,81	0,83	0,84	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91
1,7	0,80	0,82	0,83	0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,92	0,93	0,94
1,8	0,82	0,84	0,85	0,87	0,88	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95
1,9	0,83	0,85	0,87	0,89	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97
2,0	0,85	0,87	0,88	0,90	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98
2,1	0,86	0,88	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98
2,2	0,87	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99
2,3	0,88	0,90	0,92	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99
2,4	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00
2,5	0,90	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00
2,6	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00
2,7	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
2,8	0,92	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
2,9	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
3,0	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
3,5	0,95	0,96	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
4,0	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Продолжение

$\frac{t_{i\text{к}} - t_{c\text{м}}}{a}$	b									
	2,0	**2,1**	**2,2**	**2,3**	**2,4**	**2,5**	**2,6**	**2,7**	**2,8**	**2,9**
0,1	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,2	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
0,3	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03
0,4	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07
0,5	0,22	0,21	0,20	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13
0,6	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20
0,7	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30
0,8	0,47	0,47	0,46	0,45	0,44	0,44	0,43	0,42	0,41	0,41
0,9	0,56	0,55	0,55	0,54	0,54	0,54	0,53	0,53	0,53	0,52
1,0	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
1,1	0,70	0,71	0,71	0,71	0,72	0,72	0,72	0,73	0,73	0,73
1,2	0,76	0,77	0,78	0,78	0,79	0,79	0,80	0,81	0,81	0,82
1,3	0,82	0,82	0,83	0,84	0,85	0,85	0,86	0,87	0,88	0,88
1,4	0,86	0,87	0,88	0,89	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93
1,5	0,90	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,96	0,96
1,6	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98
1,7	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99
1,8	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00
1,9	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
2,0	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,1	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,2	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Продолжение

$\frac{t_{i\text{к}} - t_{c\text{м}}}{a}$	b										
	3,0	**3,1**	**3,2**	**3,3**	**3,4**	**3,5**	**3,6**	**3,7**	**3,8**	**3,9**	**4,0**
0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,2	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,3	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
0,4	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
0,5	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06
0,6	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12
0,7	0,29	0,28	0,27	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,22	0,21
0,8	0,40	0,39	0,39	0,38	0,37	0,37	0,36	0,35	0,35	0,34	0,34
0,9	0,52	0,51	0,51	0,51	0,50	0,50	0,50	0,49	0,49	0,48	0,48
1,0	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
1,1	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76	0,76	0,77	0,77
1,2	0,82	0,83	0,83	0,84	0,84	0,85	0,85	0,86	0,86	0,87	0,87
1,3	0,89	0,90	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94
1,4	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98
1,5	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
1,6	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
1,7	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблица 7 - Критерий согласия Пирсона χ^2

r	Вероятность P,%							
	95	90	80	70	50	30	20	10
1	0,00	0,02	0,06	0,15	0,45	1,07	1,64	2,71
2	0,10	0,21	0,45	0,71	1,39	2,41	3,22	4,60
3	0,35	0,58	1,00	1,42	2,37	3,66	4,64	6,25
4	0,71	1,06	1,65	2,20	3,36	4,88	5,99	7,78
5	1,14	1,61	2,34	3,00	4,35	6,06	7,29	9,24
6	1,64	2,20	3,07	3,83	5,35	7,23	8,56	10,6
7	2,17	2,83	3,82	4,67	6,34	8,38	9,80	12,6
8	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,52	11,0	13,4
9	3,32	4,17	5,38	6,39	8,34	10,7	12,2	14,7
10	3,94	4,86	6,18	7,27	9,34	11,8	13,4	16,0

Таблица 8 – Коэффициенты t_α, r_1 и r_3 для двухсторонних доверительных границ

α	0,80			0,90			0,95			0,99		
N	t_a	r_1	r_3	t_a	r_1	r_3	t_a	r_1	r_3	t_a	r_1	r_3
3	1,89	1,95	0,70	2,92	2,73	0,57	4,30	3,66	0,48	9,92	6,88	0,36
4	0,64	1,74	0,73	2,35	2,29	0,60	3,18	2,93	0,52	5,84	4,85	0,40
5	1,53	1,62	0,75	2,13	2,05	0,62	2,78	2,54	0,55	4,60	3,91	0,43
6	1,48	1,54	0,76	2,02	1,90	0,65	2,57	2,29	0,57	4,03	3,36	0,46
7	1,44	1,48	0,77	1,94	1,80	0,67	2,45	2,13	0,59	3,71	3,00	0,48
8	1,42	1,43	0,78	1,90	1,72	0,68	2,36	2,01	0,61	3,50	2,75	0,50
9	1,40	1,40	0,79	1,86	1,66	0,69	2,31	1,91	0,63	3,36	2,56	0,52
10	1,38	1,37	0,80	1,83	1,61	0,70	226	1,83	0,64	3,25	2,42	0,553
11	1,37	1,35	0,80	1,81	1,57	0,70	2,23	1,78	0,64	3,17	2,31	0,54
12	1,36	1,33	0,81	1,80	1,53	0,71	2,20	1,73	0,65	3,11	2,21	0,56
13	1,36	1,31	0,81	1,78	1,50	0,73	2,18	1,69	0,66	3,06	2,13	0,57
14	1,35	1,29	0,83	1,77	1,48	0,74	2,16	1,65	0,67	3,01	2,06	0,58
15	1,34	1,28	0,83	1,76	1,46	0,74	2,15	1,62	0,68	2,98	2,01	0,59
20	1,33	1,54	0,85	1,73	1,37	0,77	2,09	1,51	0,72	2,85	1,81	0,63
25	1,32	1,21	0,86	1,71	1,33	0,79	2,06	1,44	0,74	2,80	1,68	0,66
30	1,31	1,18	0,87	1,70	1,29	0,80	2,04	1,39	0,76	2,75	1,60	0,68
40	1,30	1,16	0,88	1,68	1,24	0,83	2,02	1,32	0,78	2,7	1,50	0,71
50	1,30	1,14	0,89	1,68	1,21	0,84	2,01	1,28	0,80	2,68	1,43	0,74
60	1,30	1,12	0,90	1,67	1,19	0,86	2,00	1,25	0,82	2,66	1,38	0,76
80	1,29	1,10	0,91	1,66	1,16	0,87	1,99	1,21	0,84	2,64	1,32	0,78
100	1,29	1,09	0,92	1,66	1,14	0,88	1,98	1Д9	0,86	2,63	1,28	0,80

Таблица 9 – Квантили закона распределения Вейбулла (ЗРВ) $H_{к}^{в}$

(1±α)/2	**Параметр *b***															
	0,9	**1,0**	**1,1**	**1,2**	**1,3**	**1,4**	**1,5**	**1,6**	**1,7**	**1,8**	**1,9**	**2,0**	**2,5**	**3,0**	**3,5**	**4,0**
0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,16	0,22	0,27	0,32
0,03	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,11	0,11	0,13	0,14	0,16	0,18	0,25	0,34	0,37	0,42
0,05	0,04	0,05	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,17	0,19	0,21	0,23	0,31	0,37	0,43	0,48
0,07	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,35	0,42	0,47	0,52
0,10	0,08	0,11	0,13	0,15	0,18	0,20	0,22	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,41	0,47	0,53	0,57
0,15	0,14	0,17	0,19	0,23	0,25	0,29	0,30	0,33	0,35	0,38	0,40	0,42	0,50	0,56	0,60	0,63
0,20	0,19	0,22	0,26	0,29	0,32	0,34	0,37	0,39	0,41	0,44	0,45	0,47	0,55	0,61	0,65	0,69
0,25	0,25	0,29	0,33	0,36	0,39	0,41	0,44	0,45	0,48	0,50	0,52	0,54	0,61	0,66	0,70	0,73
0,30	0,32	0,36	0,39	0,42	0,45	0,48	0,50	0,53	0,55	0,56	0,58	0,60	0,66	0,71	0,75	0,77
0,35	0,40	0,44	0,47	0,50	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,62	0,64	0,66	0,71	0,75	0,79	0,81
0,40	0,47	0,51	0,54	0,57	0,60	0,62	0,64	0,66	0,67	0,69	0,70	0,72	0,76	0,80	0,83	0,85
0,45	0,57	0,60	0,63	0,66	0,68	0,69	0,71	0,73	0,74	0,75	0,76	0,76	0,81	0,84	0,86	0,88
0,50	0,67	0,69	0,72	0,74	0,75	0,77	0,78	0,80	0,81	0,82	0,83	0,83	0,86	0,89	0,90	0,91
0,55	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,91	0,93	0,94	0,95
0,60	0,91	0,92	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98
0,65	1,07	1,06	1,05	1,05	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02	1,02
0,70	1,23	1,20	1,18	1,17	1,15	1,14	1,13	1,12	1,12	1,11	1,10	0,10	1,08	1,06	1,05	1,05
0,75	1,45	1,40	1,36	1,33	1,30	1,27	1,25	1,23	1,22	1,21	1,20	0,18	1,14	1,11	1,10	1,09
0,80	1,70	1,61	1,54	1,49	1,44	1,41	1,37	1,35	1,32	1,30	1,29	1,27	1,21	1,17	1,15	1,13
0,85	2,11	1,96	1,84	1,74	1,67	1,61	1,55	1,51	1,47	1,45	1,32	1,39	1,31	1,25	1,21	1,18
0,90	2,53	2,30	2,13	2,00	1,90	1,81	1,74	1,68	1,63	1,59	1,55	1,52	1,40	1,32	1,27	1,23
0,93	2,96	2,66	2,43	2,25	2,12	2,01	1,92	1,84	1,78	1,72	1,67	1,63	1,48	1,39	1,32	1,28
0,95	3,38	3,00	2,71	2,49	2,33	2,19	2,08	1,99	1,91	1,84	1,78	1,73	1,55	1,44	1,37	1,32
0,97	4,03	3,51	3,13	2,84	2,63	2,45	2,31	2,19	2,09	2,01	1,94	1,87	1,65	1,52	1,43	1,37
0,99	5,46	4,60	4,01	3,57	3,24	2,98	2,77	2,60	2,46	2,34	2,23	2,15	1,84	1,66	1,55	1,46

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лисунов Е.А. Практикум по надёжности технических систем.-СПб. :Лань, 2015.
2. Тюрева А.А., Козарез И.В. Восстановление типовых поверхностей и деталей сельскохозяйственной техники. Брянск: Издательство БГСХА, 2013. – 151 с.

2 Малафеев С.И. Надёжность технических систем, Примеры и задачи.-СПб.:Лань,2012.

3 Беленький Д.М. Теория надёжности машин и металлоконструкций. Ростов н/Д.:Феникс, 2011

4 Надёжность технических систем.-М:Академия,2010

5 И.М.Жарский Технологические методы обеспечения надёжности деталей машин.-Мн.:Вышэйшая школа, 2005

6 Лисунов Е.А. Сборник задач и упражнений по надёжности технических систем. Н.Новгород: НГСХА, 2003

7 Курчаткин В.В., Тельнов Н.Ф., Ачкасов К.А. и др. Надежность и ремонт машин. Колос, 2000

8 Серый И.С., Смелов А.П., Черкун В.Е. Курсовое и дипломное проектирование по надежности и ремонту машин: учеб. Пособие для вузов М.: Агропромиздат, 1991

9 Решетов Д.Н., Исанов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин: учеб. Для вузов. М.: Высш. шк., 1988

10 Артемьев Ю.Н. Основы надежности сельскохозяйственной техники: лекции и расчетные упражнения М.: МИИСП, 1973

11 Бардадын Н.А. Восстановление и упрочнение прецизионных деталей топливной аппаратуры диффузионным бороникелированием: автореф. на соиск. уч. степени к.т.н./ Н.А. Бардадын. – Москва, 1995. – 20 с.

Учебное издание

Бардадын Николай Александрович

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЗАДАНИЯ №1

«Полная математическая обработка опытной информации по показателям надёжности»

Редактор Павлютина И.П.

Подписано в печать 27. 10.2015 г. Формат 60х84 1/16.
Бумага типографская офсетная. Усл. печ. л. 1,80. Тираж 25 экз.
Изд. № 3736. Издательство Брянского ГАУ.

243365 Брянская обл., Выгоничский р-он, с. Кокино,
Брянский ГАУ