

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»

Кафедра «Наземные транспортно-технологические комплексы»

НАДЕЖНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Учебное пособие по выполнению контрольной работы
студентами заочной формы обучения специальности
23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства»,
специализация «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные средства
и оборудование»

Санкт-Петербург
2024

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ	3
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ЯМЗ-236.....	12
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ (НА ПРИМЕРЕ ЯМЗ-236).....	18
4. СБОР, ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ О НАДЁЖНОСТИ МАШИН.....	22

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы: ознакомиться с количественными показателями безотказности объекта, определить показатели надежности дизельного двигателя ЯМЗ-236 в условиях рядовой эксплуатации.

Теоретические сведения

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения.

Наиболее важные показатели надежности невосстанавливаемых объектов – показатели безотказности, к которым относятся: *вероятность безотказной работы; плотность распределения отказов; интенсивность отказов; средняя наработка до отказа.*

В общем случае техническая система может пребывать в различных состояниях. Число состояний зависит от количества элементов системы, ее функционального назначения, пределов изменения показателей работоспособности. Момент времени, в который происходит переход системы из одного состояния в другое, является случайной величиной.

Поскольку состояние технической системы определяется состоянием ее конструктивных элементов, надежность функционирования системы в целом будет также зависеть от надежности составляющих ее деталей и от количества возможных состояний каждой из них. Каждая деталь может пребывать в одном из двух состояний: работоспособном или неработоспособном. Отказ сборочной единицы наступает в случае перехода любой из деталей в неработоспособное состояние. При увеличении числа n составляющих систему элементов вероятность безотказной ее работы уменьшается, а число n возможных состояний системы резко возрастает и уже при $n_k = 10$ составляет 1000.

Таким образом, чем сложнее система, тем ниже (при прочих равных условиях) уровень ее надежности и тем больше возможных причин и форм проявления ее отказа. Состояние системы можно с определенной точностью охарактеризовать совокупностью значений величин, определяющих ее поведение. Эти величины позволяют сравнивать состояния системы между собой и судить об их различии, а также об изменении состояния системы во времени.

Вероятность безотказной работы по статистическим данным об отказах оценивается выражением

$$P \approx \frac{N(t)}{N} = \frac{N - \sum_1^n n_i(\Delta t)}{N},$$

где N – общее количество машин;

$N(t)$ – количество исправно работающих машин к наработке t ;

n – количество отказавших машин;

Δt – величина рассматриваемого интервала наработки.

Для вероятности отказа по статистическим данным справедливо соотношение

$$Q \approx \frac{n}{N}.$$

Частота отказов по статистическим данным об отказах определяется выражением

$$f(t) = \frac{n(\Delta t)}{N \cdot \Delta t},$$

Интенсивность отказов по статистическим данным об отказах определяется формулой

$$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp}(t) \cdot \Delta t},$$

где $n(\Delta t)$ – количество отказавших изделий за время от t до $t + \Delta t$;

$N_{cp}(t)$ – среднее количество безотказно работающих изделий.

Для восстанавливаемой техники, помимо вышеприведённых показателей, добавляются ещё несколько:

Количество отказов машин для i -ого интервала наработки

$$\sum_{j=1}^k n_{ij},$$

где k – количество видов отказов, зарегистрированных за период наблюдений ($j = 1, 2, \dots, k$);

n_{ij} – количество отказов j -ого вида в i -м интервале наработки.

Количество отказов для одной сборочной единицы, детали:

$$\sum_{i=1}^m n_{ij},$$

где m – количество интервалов наработки ($i = 1, 2, \dots, m$).

Среднее число отказов, приходящихся на одну машину в i -м интервале наработки:

$$\bar{n}_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^k n_{ij}}{N}.$$

Параметр потока отказов в i -м интервале:

$$\omega_i = \frac{\bar{n}_{ij}}{\Delta t}.$$

Средний параметр потока отказов:

$$\bar{\omega} = \frac{\sum_{i=1}^m \omega_i}{m}.$$

Среднее квадратичное отклонение параметра потока отказов:

$$\sigma_{\bar{\omega}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\omega_i - \bar{\omega})^2}{m}}.$$

Стандарт среднего квадратичного отклонения параметра потока отказов:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_{\bar{\omega}}}{\sqrt{N-1}}.$$

Средняя наработка на отказ:

$$\bar{t} = \frac{1}{\bar{\omega}}.$$

Вероятность безотказной работы:

$$P(t) = e^{-\bar{\omega}t}.$$

Коэффициент отказа сборочной единицы, детали:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^m n_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k n_{ij}}.$$

Среднее время безотказной работы:

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m n_i \cdot t_i.$$

Решение типовых задач

Задача 1.

На испытание поставлено 1000 однотипных изделий, за 3000 ч. отказало 80 изделий. Требуется определить $P(t)$, $Q(t)$ при $t = 3000$ ч.

Решение.

В данном случае $N = 1000$; $N(x) = 1000 - 80 = 920$; $n = 80$. Тогда:

$$P(3000) = \frac{N(t)}{N} = \frac{920}{1000} = 0,92;$$

$$Q(3000) = \frac{n}{N} = \frac{80}{1000} = 0,08.$$

Задача 2.

На испытание было поставлено 1000 изделий. За первые 3000 ч. отказало 80 изделий, а за интервал времени 3000-4000 ч. отказало еще 50 изделий. Требуется определить статистическую оценку частоты и интенсивности отказов изделий в промежутке времени 3000-4000 ч.

Решение.

В данном случае $N = 1000$; $t = 3000$ ч; $\Delta t = 1000$ ч; $n(\Delta t) = 50$; $N(t) = 920$, $N(t + \Delta t) = 870$, $N_{cp}(3000) = \frac{N(t) + N(t + \Delta t)}{2} = \frac{920 + 870}{2} = 895$.

$$f(3000) = \frac{n(\Delta t)}{N\Delta t} = \frac{50}{1000 \cdot 1000} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч};$$

$$\lambda(3000) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp}(t)\Delta t} = \frac{50}{895 \cdot 1000} = 5,6 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч}.$$

Задача 3.

На испытание поставлено $N = 400$ изделий. За время $t = 3000$ ч отказало 200 изделий, т.е. $N(t) = 200$. За интервал времени $(t, t + \Delta t)$, где $\Delta t = 100$ ч, отказало 100 изделий, т.е. $N(t + \Delta t) = 100$. Требуется определить $P(3000)$, $P(3100)$, $f(3000)$, $\lambda(3000)$.

Решение.

$$P(3000) = \frac{N(t)}{N} = \frac{200}{400} = 0,5;$$

$$P(3100) = \frac{N(t + \Delta t)}{N} = \frac{100}{400} = 0,25.$$

$$f(3000) = \frac{n(\Delta t)}{N\Delta t} = \frac{100}{400 \cdot 100} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч};$$

$$\lambda(3000) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp}(t)\Delta t} = \frac{100}{\frac{200 + 100}{2} \cdot 100} = 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч}.$$

Задание №1

Расчет количественных показателей безотказности двигателя ЯМЗ-236

Расчет показателей безотказности проводим при следующих условиях:

- а) начало отчета наработки ведется после окончания эксплуатационной обкатки;
- б) в период эксплуатации машин выполняются технические обслуживания в строгом соответствии с инструкцией по эксплуатации, а отказавшие узлы и детали заменяются новыми;
- в) расчет количественных показателей безотказности машин проводится по схеме восстанавливаемого объекта.

Данные для расчета представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Данные к расчету показателей надежности дизельного двигателя ЯМЗ-236
в условиях рядовой эксплуатации

Наименование отказавших деталей и сборочных единиц	Интервал наработки, тыс. мото-ч.										Время простоя на один отказ, ч	Трудоем- кость устранения 1 отказа, чел.-ч.	Стоимость устранения 1 отказа, тыс. руб.
	0...0,5	0,5...1,0	1,0...1,5	1,5...2,0	2,0...2,5	2,5...3,0	3,0...3,5	3,5...4,0	4,0...4,5	4,5...5,0			
1. Трещина выпуск- ного коллектора	1	1		2		1		2		1	12	6	4,0
2. Износ клапанных гнезд			1			1	2	1	3	1	40	68	21,0
3. Трещина гильзы		2			2			1		1	27	43	35,0
4. Разрыв шатунного болта			2			3	1		1		20	61	21,0
5. Поломка лопасти турбокомпрессора	2			1	1		1			1	18	31	15,0
6. Нарушение регу- лировки форсунки		2	1	1	2	5	4	2	3	1	8	4	2,5
7. Трещина радиа- тора					2	1	1	2	1	3	12	7	3,0
8. Нарушение регу- лировки муфты сцепления		2	3	1		1	2		3		2	3	1,4
9. Срыв фрикцион- ных накладок		1		2			1	3			21	35	18,0
10. Трещина корпуса муфты сцепления				2		1			1		25	30	13,0

Для проведения расчетов все отказы двигателей систематизируем по наработке. С этой целью составляем таблицу отказов двигателя ЯМЗ-236 (таблица 1.2).

В столбце 1 записываем наименование отказавших деталей и сборочных единиц. В столбце 2 представлена наработка двигателя, разбитая на равные интервалы и количество отказов, зарегистрированных в данном интервале. В строке 11 подсчитываем количество отказов двигателя $\sum_{j=1}^k n_{ij}$ для каждого интервала наработки.

В столбце 3 подсчитываем количество отказов для каждой детали (сборочной единицы) двигателя $\sum_{i=1}^m n_{ij}$.

В конце строки 11 и столбца 3 подсчитываем сумму отказов выборочной совокупности двигателей.

В строке 12 проставляем полученную в каждом интервале выборочную совокупность двигателей. В рассматриваемом примере выборочная совокупность остается постоянной и равной $N = 32$. В случае переменной убывающей выборки каждый интервал должен содержать $N \geq 5$ двигателей. Рекомендуется увеличить шаг интервала, а таблицу 1.2 соответственно перестроить с увеличенным шагом интервала.

В строке 13 подсчитываем среднее число отказов $\bar{n}_i$, приходящийся на один двигатель в каждом интервале наработки. В строке 14 подсчитываем параметр потока отказов ω_i для каждого интервала наработки. В конце строки подсчитываем сумму $\sum_{i=1}^m \omega_i$. В строке 15 определяем средний параметр потока отказов двигателя $\bar{\omega}_{ij}$. В строках 16, 17 для каждого интервала наработки проводим подготовительные вычисления для определения среднего квадратичного отклонения параметра потока отказов.

Среднее квадратичное отклонение параметра потока отказов:

$$\sigma_{\bar{\omega}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\omega_i - \bar{\omega})^2}{m}} = \quad \text{тыс. мото-ч}^{-1}.$$

Определяем стандарт среднего квадратичного отклонения выборочного среднего параметра потока отказов:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_{\bar{\omega}}}{\sqrt{N-1}} = \quad \text{тыс. мото-ч}^{-1}.$$

Определяем коэффициент гарантии $t_{\alpha,n}$ (коэффициент Стьюдента) по приложению:

$$t_{0,8;31} = \quad .$$

Следовательно, с гарантированной вероятностью $\alpha \geq 0,8$ можно утверждать, что вычисленный средний параметр потока отказов $\bar{\omega}$ (на основании выборочной) находится в интервале:

$$\bar{\omega} - t_{0,8;31} \cdot \varepsilon \leq \bar{\omega} \leq \bar{\omega} + t_{0,8;31} \cdot \varepsilon.$$

Таблица 1.2 – Расчет показателей безотказности двигателя ЯМЗ-236

Наименование отказавших деталей и сборочных единиц	Интервал наработки, тыс. мото-ч.										$\sum_{i=1}^m n_{ij}$	K_j	Группы отказов
	0...0,5	0,5...1,0	1,0...1,5	1,5...2,0	2,0...2,5	2,5...3,0	3,0...3,5	3,5...4,0	4,0...4,5	4,5...5,0			
1	2										3	4	5
1. Трещина выпуск- ного коллектора													I
2. Износ клапанных гнезд													II
3. Трещина гильзы													III
4. Разрыв шатунного болта													III
5. Поломка лопасти турбокомпрессора													II
6. Нарушение регу- лировки форсунки													I
7. Трещина радиа- тора													I
8. Нарушение регу- лировки муфты сцепления													I
9. Срыв фрикцион- ных накладок													III
10. Трещина корпуса муфты сцепления													III
11. $\sum_{j=1}^k n_{ij}$													
12. N													

Наименование отказавших деталей и сборочных единиц	Интервал наработки, тыс. мото-ч.										$\sum_{i=1}^m n_{ij}$	K_j	Группы отказов
	0...0,5	0,5...1,0	1,0...1,5	1,5...2,0	2,0...2,5	2,5...3,0	3,0...3,5	3,5...4,0	4,0...4,5	4,5...5,0			
1	2										3	4	5
13. $\bar{n}_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^k n_{ij}}{N}$													
14. $\omega_i = \frac{\bar{n}_{ij}}{\Delta t}$													
15. $\bar{\omega} = \frac{\sum_{i=1}^m \omega_i}{m}$													
16. $\Delta\omega_i = \omega_i - \bar{\omega}$													
17. $\Delta\omega_i^2 = (\omega_i - \bar{\omega})^2$													
18. $\bar{\omega} \cdot t_{ci}$													
19. Среднее значение интервала наработки t_{ci} , тыс. мото-ч.													
20. $P(t) = e^{-\bar{\omega}t}$													

Средняя наработка дизельного двигателя на отказ:

$$\bar{t} = \frac{1}{\bar{\omega}} = \quad \text{тыс. мото-ч.}$$

С учетом выборочного среднего квадратичного отклонения средняя наработка на отказ составит:

$$\begin{aligned}\bar{t}_{\max} &= \frac{1}{\bar{\omega} - t_{0,8;31} \cdot \varepsilon} = \quad \text{тыс. мото-ч.} \\ \bar{t}_{\min} &= \frac{1}{\bar{\omega} + t_{0,8;31} \cdot \varepsilon} = \quad \text{тыс. мото-ч.}\end{aligned}$$

В столбце 4 для каждой строки определяем коэффициент отказа детали (сборочной единицы). В столбце 5 по приложению 2 проставляем группу отказов. На основании столбцов 4 и 5 подсчитаем суммарно коэффициенты:

- для отказов группы I – $K_I =$;
- для отказов группы II – $K_{II} =$;
- для отказов группы III – $K_{III} =$.

Определяем частные параметры потоков отказов и соответствующие им наработки:

$$\begin{aligned}\bar{\omega}_I &= \bar{\omega} \cdot K_I = \quad \text{тыс. мото-ч}^{-1}; \\ \bar{t}_I &= \frac{1}{\bar{\omega}_I} = \quad \text{тыс. мото-ч}; \\ \bar{\omega}_{II} &= \bar{\omega} \cdot K_{II} = \quad \text{тыс. мото-ч}^{-1}; \\ \bar{t}_{II} &= \frac{1}{\bar{\omega}_{II}} = \quad \text{тыс. мото-ч}; \\ \bar{\omega}_{III} &= \bar{\omega} \cdot K_{III} = \quad \text{тыс. мото-ч}^{-1}; \\ \bar{t}_{III} &= \frac{1}{\bar{\omega}_{III}} = \quad \text{тыс. мото-ч}.\end{aligned}$$

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ЯМЗ-236

Цель работы – ознакомиться с количественными показателями долговечности объекта, определить показатели долговечности дизельного двигателя ЯМЗ-236 в условиях рядовой эксплуатации.

Теоретические сведения

Долговечность машин закладывается на стадии конструирования и зависит от конструкции, применяемых материалов, защитных покрытий, смазочных материалов и других факторов. Большое значение имеют также применяемые при проектировании методы расчета износостойкости деталей и соединений.

Долговечность машин обеспечивается и на стадии производства, зависит от применяемых видов обработки деталей (механической или химико-термической), технического уровня и состояния станочного парка, режимов обработки.

Возможности реализации заложенной в машине долговечности в процессе эксплуатации определяются принятой системой и качеством технического обслуживания и ремонта, квалификацией обслуживающего персонала, воздействием внешней среды.

Таким образом, обеспечение долговечности является комплексной проблемой, для решения которой требуется проводить новые организационно-технические мероприятия при проектировании, производстве и эксплуатации машин.

Долговечность оценивается с помощью двух групп показателей: ресурса как показателя, связанного с наработкой объекта, и срока службы. Каждая из них имеет много разновидностей, позволяющих конкретизировать этапы или характер эксплуатации.

Ресурс – суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или его возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Средний ресурс (срок службы) – математическое ожидание ресурса (срока службы). Средний ресурс определяется по формуле:

$$\bar{T}_p = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{pi},$$

где t_{pi} – ресурс i -го объекта.

Технический ресурс – наработка объекта от начала его эксплуатации или возобновления эксплуатации после ремонта до наступления предельного состояния. То есть, технический ресурс может быть регламентирован следующим образом: до среднего, капитального, от капитального до ближайшего среднего ремонта и т.п. Если регламентация отсутствует, то имеется в виду

ресурс от начала эксплуатации до достижения предельного состояния после всех видов ремонтов.

Для невосстанавливаемых объектов понятия технического ресурса и наработки до отказа совпадают.

Назначенный ресурс – суммарная наработка, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния. Этот ресурс чаще всего назначают из соображений безопасности или экономичности, например для авиационных двигателей с целью обеспечения безопасности полетов. После отработки назначенного ресурса авиационные двигатели снимают с самолетов и могут использовать их в наземных условиях (например, для сушки зерна, защиты садов от заморозков и т.п.).

Срок службы – календарная продолжительность эксплуатации (в том числе, хранение, ремонт и т. п.) от ее начала до наступления предельного состояния.

На рисунке 2.1 приведена графическая интерпретация перечисленных показателей, при этом:

$t_0 = 0$ – начало эксплуатации;

t_1, t_5 – моменты отключения по технологическим причинам;

t_2, t_4, t_6, t_8 – моменты включения объекта;

t_3, t_7 – моменты вывода объекта в ремонт, соответственно, средний и капитальный;

t_9 – момент прекращения эксплуатации;

t_{10} – момент отказа объекта.

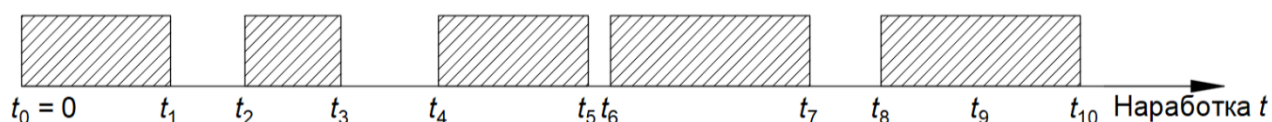


Рисунок 2.1 – Графическая интерпретация показателей долговечности

Технический ресурс (наработка до отказа):

$$TP = t_1 + (t_3 - t_2) + (t_5 - t_4) + (t_7 - t_6) + (t_{10} - t_8).$$

Назначенный ресурс:

$$TN = t_1 + (t_3 - t_2) + (t_5 - t_4) + (t_7 - t_6) + (t_9 - t_8).$$

Срок службы объекта $ТС = t_{10}$.

Для большинства объектов электромеханики в качестве критерия долговечности чаще всего используется технический ресурс.

Средний ресурс (срок службы) до ремонта T_{cp} – доремонтный ресурс (срок службы) от начала эксплуатации объекта до его первого ремонта.

Средний ресурс (срок службы) между ремонтами T_{cp} – межремонтный ресурс (срок службы) между смежными ремонтами объекта.

Средний ресурс (срок службы) до списания $T_{\text{сп}}$ – полный ресурс (срок службы) объекта от начала эксплуатации до его списания, обусловленного предельным состоянием.

Гамма-процентный ресурс – суммарная наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью γ , выраженной в процентах.

Гамма-процентный ресурс имеет большое практическое значение, так как в результате неизбежного рассеивания долговечности автомобильной техники при изменяющихся нагрузках и переменных условиях эксплуатации их долговечность – величина статистическая. Определяется она экспериментально по данным о долговечности большой группы объектов.

В общем случае определение гамма-процентного ресурса может быть осуществлено по кривой вероятности распределения ресурса элемента (рис. 2.2).

Если ресурс изделий имеет распределение с плотностью вероятности $f(t)$, то гамма-процентный ресурс γ находят из уравнения:

$$P(t_\gamma) = \frac{\gamma}{100}.$$

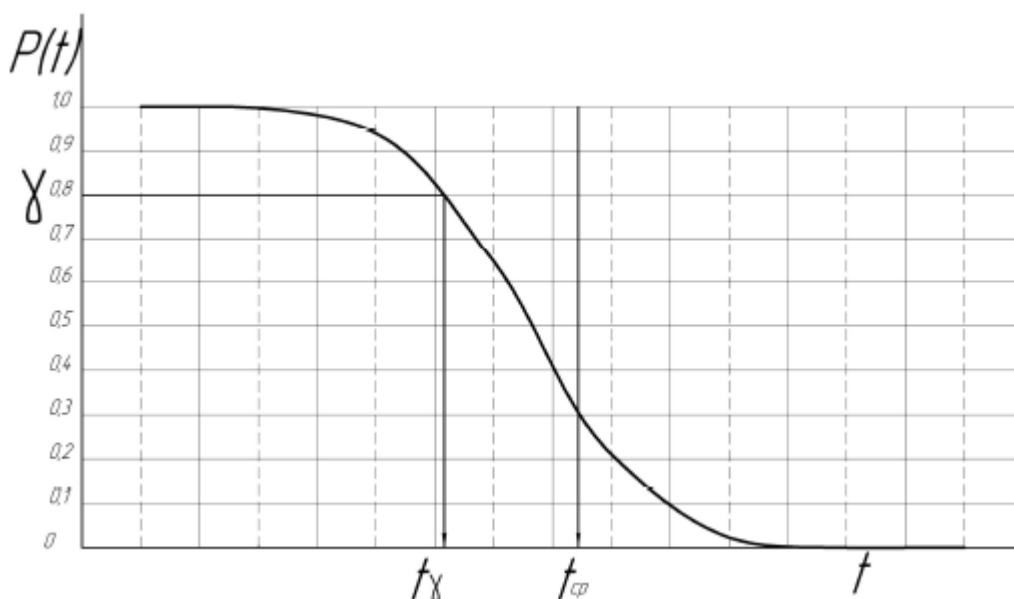


Рисунок 2.2 – Гамма-процентный ресурс при работе объекта

Гамма-процентный ресурс как оценочный показатель долговечности позволяет значительно сократить время испытаний (наблюдений) машин или их агрегатов, так как испытания (наблюдения) ведут до исчерпания ресурса у сравнительно небольшого количества (10...20 %) машин. При этом величина γ ресурса будет соответственно равна $t_{\gamma 1=90\%}$, $t_{\gamma 2=80\%}$ ($\gamma_1 = 90\%$, $\gamma_2 = 80\%$).

Чем больше установленная γ , тем меньше длительность испытаний (наблюдений). Однако для получения оценок ресурса с определенной регламентированной точностью при уменьшении длительности испытаний потребуется увеличить количество испытываемых объектов.

На основании гамма-процентного ресурса оценивают качество новых и отремонтированных машин и их агрегатов.

Сроком службы называется календарная продолжительность эксплуатации объекта от её начала или возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние.

Гамма-процентный срок службы – календарная продолжительность эксплуатации, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью γ , выраженной в процентах.

В какой-то мере долговечность характеризуется и такими показателями, как *гарантийная наработка (ресурс) и срок гарантии*.

Конкретные значения количественных показателей долговечности задают в зависимости от назначения, особенностей применения объектов и влияния отказов на безопасность работы. Для установления проводят специальные расчеты на прочность и ресурсные испытания, а также используют результаты испытания прототипов и опытных образцов объектов.

Расчет количественных показателей долговечности проводят по следующим формулам:

- опытная вероятность безотказной работы:

$$P(t) = \frac{N - \sum_{ij}^m n_{ij}}{N};$$

- среднее количество машин, находящихся в исправном состоянии в i -том интервале наработки:

$$\bar{N}_i = \frac{N_i + (N_i - n_{ij})}{2};$$

- интенсивность отказов в i -том интервале наработки:

$$\lambda_i = \frac{\sum_{j=1}^k n_{ij}}{\bar{N}_i \cdot \Delta t};$$

- средняя интенсивность отказов за весь период наработки:

$$\bar{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i}{m};$$

- теоретическая вероятность безотказной работы:

$$P(t) = e^{-\bar{\lambda}(t-t_0)};$$

- средний технический ресурс сборочной единицы (детали):

$$t_{\text{pec}} = t_0 + \frac{1}{\lambda};$$

- ресурс сборочной единицы (детали) – 80 %:

$$t_{\text{pec.0,8}} = t_0 + \frac{\ln 0,8}{-\lambda}.$$

Задание №2

Расчет количественных показателей долговечности двигателя ЯМЗ-236

Расчет показателей долговечности проводим при следующих условиях.

1. Расчет ведется для определенного вида отказа выявленного в процессе эксплуатации машин.

2. Расчет количественных показателей долговечности проводится по схеме невозстанавливаемого объекта.

3. Расчет проводим на основании усеченной выборки, когда в процессе наблюдения отказывают не все детали (узлы) выборочной совокупности, а только часть из них. Остальные детали отрабатывают период наблюдения безотказно.

4. Расчет показателей долговечности делаем на основании двухпараметрического экспоненциального уравнения вида

$$t_{\text{pec}} = t_0 + \frac{1}{\lambda}.$$

Порядок определения гарантированной вероятности тот же, что и при расчетах показателей безотказности.

Расчет показателей долговечности ведем для группы отказов, представленной в строке 7 таблицы 1.2 «Трещина радиатора». Первый отказ зафиксирован после наработки 2,0 тыс. мото-ч. В интервале регистрационной наработки отказало 10 радиаторов. Выборочная совокупность составила 32 радиатора.

Для проведения расчета отказы систематизируем по наработке. С этой целью составляем таблицу 2.1. В этой таблице в столбце 1 указываем наименование показателей, принятых для расчета, в столбце 2 – интервалы наработки.

Строка 1 аналогична строке 3 таблицы 1.2. Строка 2 не требует пояснений. В строке 3 определяем эмпирическую вероятность безотказной работы детали, в частности радиатора, для которой ведем расчет.

В строке 4 определяем среднее количество исправно работающих узлов для каждого интервала наработки.

После заполнения таблицы 2.1 определяем среднее квадратичное отклонение средней интенсивности отказов:

$$\sigma_{\bar{\lambda}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{n}} = \quad \text{тыс. мото-ч}^{-1}.$$

Таблица 2.1 – Расчет показателей долговечности радиатора системы охлаждения дизельного двигателя ЯМЗ-236

№ п/п	Наименование показателей	Наработка, тыс. мото-ч.						Итого
		2,0...2,5	2,5...3,0	3,0...3,5	3,5...4,0	4,0...4,5	4,5...5,0	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	n_i							
2	N							-
3	$P(t) = \frac{N - \sum n}{N}$							-
4	$\bar{N}_i = \frac{N + (N - \sum n)}{2}$							-
5	$\frac{n_i}{\bar{N}_i}$							-
6	$\lambda_i = \frac{n_i}{\bar{N}_i \cdot \Delta t}$							
7	$\bar{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i}{m}$							-
8	$\lambda_i - \bar{\lambda}$							-
9	$(\lambda_i - \bar{\lambda})^2$							
10	$\bar{\lambda}(t - t_0)$							-
11	$P(t) = e^{-\bar{\lambda}(t-t_0)}$							-

Определяем стандарт среднего квадратичного отклонения интенсивности отказов:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_{\bar{\lambda}}}{\sqrt{n}} = \quad \text{тыс. мото-ч}^{-1}.$$

По приложению определяем коэффициент гарантии выборочной средней интенсивности отказов

$$t_{0,8;9} = \quad .$$

Следовательно, с гарантированной вероятностью $P_r = 0,8$ можно утверждать, что вычисленная средняя интенсивность отказов на основании выборочной совокупности, по отношению к интенсивности отказов генеральной совокупности, будет лежать в пределах:

$$\bar{\lambda} - t_{0,8;9} \cdot \varepsilon \leq \bar{\lambda} \leq \bar{\lambda} + t_{0,8;9} \cdot \varepsilon.$$

Определяем средний технический ресурс радиатора дизельного двигателя ЯМЗ-236:

$$t_{\text{рес}} = t_0 + \frac{1}{\lambda} = \quad \text{тыс. мото-ч.}$$

С учетом выборочного среднего квадратичного отклонения интенсивности отказов определяем нижнее и верхнее отклонения среднего технического ресурса:

$$\begin{aligned}\bar{t}_{\text{max}} &= t_0 + \frac{1}{\bar{\lambda} - t_{0,8;9} \cdot \varepsilon} = \quad \text{тыс. мото-ч.;} \\ \bar{t}_{\text{min}} &= t_0 + \frac{1}{\bar{\lambda} + t_{0,8;9} \cdot \varepsilon} = \quad \text{тыс. мото-ч.;}\end{aligned}$$

Восьмидесятипроцентный ресурс:

$$t_{\text{рес.0,8}} = t_0 + \frac{\ln 0,8}{-\bar{\lambda}} = \quad \text{тыс. мото-ч.}$$

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ (НА ПРИМЕРЕ ЯМЗ-236)

Цель работы – ознакомиться с количественными показателями ремонтнопригодности объекта, определить показатели ремонтнопригодности дизельного двигателя ЯМЗ-236 в условиях рядовой эксплуатации.

Теоретические сведения

Ремонтнопригодность – свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, поддержанию и восстановлению работоспособности путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

Ремонтнопригодность оценивается вероятностью восстановления, гамма-процентным и средним временем восстановления работоспособного состояния, интенсивностью восстановления и средним временем восстановления.

Вероятность восстановления в заданное время, или вероятность своевременного восстановления, т.е. вероятность того, что время восстановления (время, затрачиваемое на обнаружение, поиск причины отказа и устранение последствий отказа) не превысит заданного.

Вероятность восстановления:

$$P_{\text{в}}(t) = P(\bar{T}_{\text{в}} < t),$$

где $\bar{T}_{\text{в}}$ – среднее время восстановления, час;

t – заданное время устранения отказа, час.

Для большинства изделий машиностроения вероятность восстановления подчиняется экспоненциальному закону распределения:

$$P_B(t) = e^{-\lambda t}.$$

Время, в течение которого восстановление работоспособности объекта будет осуществлено с вероятностью γ , выраженной в процентах, называется гамма-процентным временем восстановления. Этот показатель определяют как корень уравнения:

$$F(t_\gamma) = 1 - \frac{\gamma}{100},$$

где $F(t_\gamma)$ – функция распределения ресурса, срока службы.

Статистические оценки для гамма-процентных показателей могут быть получены на основе статистических оценок либо непосредственно, либо после аппроксимации эмпирических функций подходящими аналитическими распределениями. Необходимо иметь в виду, что экстраполирование эмпирических результатов за пределы продолжительности испытаний (наблюдений) без привлечения дополнительной информации о физической природе отказов может привести к значительным ошибкам.

Среднее время восстановления – это математическое ожидание времени восстановления работоспособности. При наличии статистических данных о длительностях восстановления для восстанавливаемых (ремонтируемых) объектов среднее время восстановления $\bar{T}_B$ следует определять по формуле:

$$\bar{T}_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{Bi},$$

где n – число обнаруженных и устраненных отказов объектов;

t_{Bi} – время восстановления отказа, ч.

Если рассматривать подряд все промежутки t_{Bi} (в порядке возрастания индекса i), то эти величины можно рассматривать как поток восстановления, имеющий чаще всего логарифмически нормальное распределение. В качестве характеристики рассеивания времени восстановления, как и для других случайных величин, используется также дисперсия и среднеквадратическое отклонение.

Интенсивность восстановления – это условная плотность вероятности восстановления работоспособного состояния объекта, определенная для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента восстановление не было завершено.

Средняя трудоемкость восстановления – это математическое ожидание трудоемкости восстановления объекта после отказа.

$$\bar{S}_B = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_{Bi},$$

где S_{Bi} – трудоемкость восстановления i -го объекта за некоторый период эксплуатации.

Затраты времени и труда на проведение технического обслуживания и ремонта с учетом конструктивных особенностей объекта, его технического состояния и условий эксплуатации характеризуются оперативными показателями ремонтпригодности.

При определении количественных показателей ремонтпригодности следует использовать следующие формулы:

- коэффициент отказа для сборочной единицы (детали):

$$K_j = \frac{\sum_{i=1}^m n_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k n_{ij}};$$

- среднее время простоя, отнесенное к одной машине:

$$\bar{\Gamma}_j = \Gamma_j \cdot K_j;$$

- средняя трудоемкость устранения отказа, отнесенная к одной машине:

$$\bar{T}_j = T_j \cdot K_j;$$

- средняя стоимость устранения отказа, отнесенная к одной машине:

$$\bar{C}_j = C_j \cdot K_j;$$

- удельное суммарное время простоя при устранении отказа:

$$\gamma_0 = \sum_{j=1}^k \frac{\bar{\Gamma}_j}{t_{m+1}};$$

- коэффициент готовности:

$$K_r = 1 - \frac{\sum_{j=1}^k \bar{\Gamma}_j}{t_{m+1}}.$$

Задание №3

Расчет количественных показателей ремонтпригодности двигателя ЯМЗ-236

Расчет показателей ремонтпригодности проводим при следующих условиях.

1. Расчет проводим на основе систематизации отказов машин, плановых технических обслуживаний и ремонтов.

2. Среднее время вынужденного простоя машины по причине устранения отказа в общем случае определяем по формуле:

$$\bar{\Gamma}_j = \frac{\sum_{i=1}^m \Gamma_{ij}}{\sum_{i=1}^m n_{ij}}.$$

3. В общем случае средняя трудоемкость устранения отказа и средняя стоимость устранения его рассчитываются по аналогичным формулам.

4. Количественно ремонтпригодность машины оцениваем по следующим показателям:

- а) характеризующим отказ;
- б) характеризующим плановые технические обслуживания и ремонты;
- в) комплексным.

Для проведения расчетов показателей ремонтпригодности данные об отказах систематизируем в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Расчет показателей ремонтпригодности двигателя ЯМЗ-236

Наименование отказавших деталей и узлов	$\sum_{i=1}^m n_{ij}$	$K = \frac{\sum_{i=1}^m n_{ij}}{N}$	Время простоя, ч		Трудоемкости устранения отказа, чел. · ч		Стоимость устранения отказа, тыс. руб.	
			на 1 отказ	на 1 объект	на 1 отказ	на 1 объект	на 1 отказ	на 1 объект
Трещина выпускного коллектора								
Износ клапанных гнезд								
Трещина гильзы								
Разрыв шатунного болта								
Поломка лопасти турбокомпрессора								
Нарушение регулировки форсунки								
Трещина радиатора								
Нарушение регулировки муфты								
Срыв фрикционных накладок								
Трещина корпуса муфты сцепления								
Итого	-	-	-		-		-	

В столбце 3 подсчитываем относительный коэффициент отказов для каждой строки. В конце столбцов 5, 7 и 9 подсчитываем суммарные значения рассчитываемых величин.

В столбцах 5, 7, и 9 подсчитываем среднее время простоя, среднюю трудоемкость устранения отказа и среднюю стоимость устранения отказа, отнесенные к одному двигателю.

Определяем среднее удельное время простоя двигателя на ремонте:

$$\bar{\gamma} = \frac{\sum_{i=1}^m \Gamma_{ij}}{t_{m+1}} = \quad \text{ч/тыс. мото-ч} = \quad \text{ч/мото-ч.}$$

Средний коэффициент готовности двигателя:

$$K_r = 1 - \bar{\gamma} = \quad .$$

Средняя удельная трудоемкость устранения отказов двигателя составит:

$$\bar{t}_0 = \frac{\sum_{i=1}^m T_i}{t_{m+1}} = \quad \text{чел.} \cdot \text{ч/тыс. мото-ч.}$$

Средняя удельная стоимость устранения отказов двигателя составит:

$$\bar{C}_0 = \frac{\sum_{i=1}^m C_i}{t_{m+1}} = \quad \text{руб./тыс. мото-ч.}$$

4. СБОР, ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ О НАДЕЖНОСТИ МАШИН

Цель работы – научиться устанавливать законы распределения показателей надежности по статистическим данным.

Теоретические сведения

Во многих случаях возникает задача на основе имеющихся данных наблюдений или испытаний на надежность определить законы распределения количественных показателей как некоторых случайных величин. К сожалению, в настоящее время не существует никакого способа непосредственно получить из некоторых статистических данных математическую модель (математическое выражение) закона распределения случайной величины. Известные методы позволяют лишь подтвердить (или опровергнуть) соответствие данного статистического материала некоторой заранее выдвинутой гипотезе о законе распределения. Таким образом, процедура нахождения математической модели – закона распределения случайной величины, всегда складывается из двух этапов:

- 1) выдвижение гипотез о математических моделях распределения;

2) проверка соответствия выдвинутых гипотез имеющимся статистическим данным.

Для получения статистических данных из всех изучаемых объектов (образующих *генеральную* или *статистическую* совокупность) отбирается для наблюдения выборочная совокупность (выборка). Количество объектов в ней – *объем выборки* (N). По данным выборочной совокупности составляется *сводная таблица* исходной информации путём выстраивания результатов по возрастаную.

Следующим этапом является составление статистического ряда исходной информации, по которому затем определяется среднее значение показателя надёжности и среднее квадратическое отклонение. Далее проверяется информация на выпадающие точки и при их наличии производится перерасчёт среднего значения и среднее квадратическое отклонение. Опытная информация изображается графически в виде гистограмм опытной и накопленной опытной вероятностей. Определяется коэффициент вариации и выбирается теоретический закон распределения для выравнивания опытной информации. После выдвижения гипотезы о теоретическом законе распределения случайной величины проводится оценка совпадения опытного и теоретического законов распределения показателей надёжности по критерию согласия.

Конечным этапом является определение доверительных границ рассеивания одиночного и среднего значений показателей надёжности для принятого закона распределения и абсолютной и относительной предельных ошибок.

Примеры обработки статистических данных об отказах

Задача 1.

Пусть проведено 20 измерений определённой величины t . Данные занесены в таблицу. Определить ошибочные результаты из выборки.

i	Значение	i	Значение	i	Значение	i	Значение
1	2,48	6	3,26	11	4,08	16	4,65
2	2,75	7	3,27	12	4,15	17	4,67
3	2,81	8	3,43	13	4,43	18	4,84
4	2,95	9	4,68	14	4,49	19	5,08
5	3,11	10	3,78	15	4,51	20	6,35

Решение.

Проверку проводим двумя способами.

1) По правилу $\bar{t} \pm 3\sigma$;

Вычисляем среднее значение:

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{20} t_i = \frac{79,77}{20} = 3,99 .$$

Вычисляем среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{20} (t_i - \bar{t})^2} = \sqrt{\frac{18,0771}{19}} = 0,9754 .$$

Если подозреваемый результат выходит за пределы интервала $\bar{t} \pm 3\sigma$, то считается ошибкой испытания и его следует отбросить при анализе:

$$\bar{t} + 3\sigma = 3,99 + 3 \cdot 0,9754 = 6,92;$$

$$\bar{t} - 3\sigma = 3,99 - 3 \cdot 0,9754 = 1,06 .$$

По правилу $\bar{t} \pm 3\sigma$ выпадающих точек нет.

2) По критерию Ирвина.

Фактическое значение критерия

$$\lambda_{\text{оп}} = \frac{t_i - t_{i-1}}{\sigma} ,$$

где t_i и t_{i-1} – смежные точки информации.

Проверке подвергаются крайние точки в начале и в конце выборки:

$$\lambda_{\text{оп1}} = \frac{t_2 - t_1}{\sigma} = \frac{2,75 - 2,48}{0,9754} = 0,28 ;$$

$$\lambda_{\text{оп2}} = \frac{t_{20} - t_{19}}{\sigma} = \frac{6,35 - 5,08}{0,9754} = 1,30 .$$

Теоретическое значение критерия Ирвина определяется в зависимости от объёма выборки. Для 20 измерений при доверительной вероятности $\beta = 0,95$ он составляет $\lambda_T = 1,3$; при $\beta = 0,99$ $\lambda_T = 1,8$.

При $\lambda_{\text{оп}} \leq \lambda_T$ точку считают достоверной, при $\lambda_{\text{оп}} > \lambda_T$ точку признают выпадающей и исключают из дальнейших расчётов. Т.е. при доверительной вероятности 95% можно принять все результаты выборки, а при 99% последняя точка является выпадающей, поэтому она убирается из дальнейших расчётов.

Задача 2.

В результате наблюдений получено 100 значений случайной величины t . Наибольшее расхождение между теоретическим и расчётным значениями функции $Q(t)$ составляет: $D_n = \max |Q(t)_0 - Q(t)| = 0,0149$. Необходимо оценить принадлежность распределения нормальному закону при уровне значимости $\alpha = 5\%$.

Решение.

В таблице критических значений критерия Колмогорова-Смирнова видим, что при степени свободы $r > 35$ (при 100 измерениях $r = 99$) и уровне значимости 5% критическое значение критерия составляет:

$$D_{\text{крит}} = \frac{1,36}{\sqrt{N}} = \frac{1,36}{\sqrt{100}} = 0,136.$$

Таким образом, $D_{\text{крит}} > D_{\text{мах}}$, и гипотеза о нормальном законе распределения случайной величины справедлива.

Задача 3.

Требуется проверить близость некоторого фактического распределения с параметрами $k = 10$ и $\chi^2 = 10,6$ к нормальному.

Решение.

Для 10 значений выборки число степеней свободы $r = 10 - 1 = 9$.

$$\text{Тогда } \frac{\chi^2 - r}{\sqrt{2r}} = \frac{10,6 - 9}{\sqrt{2 \cdot 9}} = 0,38 < 3.$$

Таким образом, на основании проверки, проведённой с помощью критерия согласия Романовского, можно сделать вывод, что фактическое распределение достаточно точно может быть описано с помощью закона нормального распределения.

Задача 4.

Требуется определить необходимое количество двигателей, испытываемых на ресурсные показатели при $\delta = 10\%$, $\beta_0 = 0,90$, если известно, что коэффициент вариации $v = 0,36$.

Решение.

Для закона распределения Вейбулла при $v = 0,36$ коэффициент $b = 3$.

$$(\delta + 1)^b = (0,1 + 1)^3 = 1,33.$$

По таблице при $\beta_0 = 0,90$ находим $N = 24$.

При нормальном законе распределения:

$$\frac{\delta}{v} = \frac{0,1}{0,36} = 0,28.$$

По таблице при $\beta_0 = 0,90$ находим $N = 22$.

Для неизвестного закона распределения (но известной вариации v) объем наблюдений определяется по формуле Чебышева:

$$N = \frac{1}{1 - \beta_0} \left(\frac{v}{\delta} \right)^2 = \frac{1}{1 - 0,9} \left(\frac{0,36}{0,1} \right)^2 = 130.$$

Задача 5.

Требуется определить статистическую модель (закон распределения) ресурса двигателя по статистическим данным об отказах.

Решение.

1. Составление сводной таблицы исходной информации

Сводная таблица информации (вариационный ряд) составляется в порядке возрастания показателя надёжности (табл. 4.1):

Таблица 4.1 – Вариационный ряд

Номер двигателя	Доремонтный ресурс, ч	Номер двигателя	Доремонтный ресурс, ч	Номер двигателя	Доремонтный ресурс, ч
1	3600	28	5850	55	6680
2	4000	29	5860	56	6700
3	4250	30	5890	57	6720
4	4780	31	5900	58	6750
5	4800	32	5900	59	6770
6	4900	33	5950	60	6800
7	4970	34	5960	61	6830
8	5040	35	6000	62	6900
9	5090	36	6030	63	6910
10	5150	37	6100	64	6940
11	5180	38	6150	65	6990
12	5200	39	6200	66	7000
13	5260	40	6240	67	7050
14	5320	41	6260	68	7130
15	5370	42	6290	69	7200
16	5400	43	6310	70	7370
17	5430	44	6370	71	7450
18	5480	45	6400	72	7500
19	5490	46	6400	73	7700
20	5500	47	6440	74	7800
21	5510	48	6460	75	7990
22	5600	49	6500	76	8000
23	5690	50	6550	77	8220
24	5720	51	6600	78	8300
25	5770	52	6610	79	8440
26	5800	53	6620	80	9900
27	5810	54	6640		

2. Составление статистического ряда исходной информации

Статистический ряд информации составляется для упрощения дальнейших расчётов в том случае, когда повторность исходной информации (количество испытываемых объектов) $N > 25$. При $N < 25$ статистический ряд не составляют.

В нашем примере повторность информации $N = 80$, т.е. больше 25. Следовательно, целесообразно составить статистический ряд. При этом информа-

цию разбивают на n равных интервалов. Каждый последующий интервал должен примыкать к предыдущему без разрывов. Обычно количество интервалов принимают 6...10. При увеличении их числа повышается точность расчётов, но одновременно возрастает их трудоёмкость. Количество интервалов статистического ряда:

$$n = \sqrt{N} .$$

Полученный результат округляют до ближайшего целого числа. В данном примере $n = \sqrt{80} = 8,94$. Принимаем $n = 9$. Длина интервала

$$A = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{n} ,$$

где $t_{\max}$ и $t_{\min}$ – наибольшее и наименьшее значения показателя надёжности в сводной таблице информации.

В данном примере $A = \frac{9900 - 3600}{9} = 700$ ч.

За начало первого интервала рекомендуют принимать наименьшее значение показателя надёжности. В данном примере начало первого интервала $t_{н1} = 3600$ ч.

Статистический ряд представляется в следующем виде (табл. 4.2):

Таблица 4.2 – Статистический ряд

Интервал, тыс. ч	3,6...4,3	4,3...5,0	5,0...5,7	5,7...6,4	6,4...7,1	7,1...7,8	7,8...8,5	8,5...9,2	9,2...9,9
Опытная частота m_i	3	4	16	22	22	6,5	5,5	0	1
Опытная вероятность p_i	0,04	0,05	0,20	0,28	0,28	0,08	0,06	0	0,01
Накопленная опытная вероятность $\sum p_i$	0,04	0,09	0,29	0,57	0,85	0,93	0,99	0,99	1

В первой строке указывают границы интервалов в единицах показателя надёжности; во второй строке – количество случаев (опытная частота m_i), попадающих в каждый интервал. Если точка информации попадает на границу интервалов, то в предыдущий и последующий интервалы добавляется 0,5 точки; в третьей строке – опытную вероятность p_i ; в четвёртой строке – накопленную опытную вероятность $\sum p_i$.

Опытная вероятность

$$p_i = m_i / N .$$

Накопленная опытная вероятность определяется суммированием опытных вероятностей интервалов статистического ряда.

3. Определение среднего значения показателя надёжности и среднеквадратического отклонения

Среднее значение – важная характеристика показателя надёжности. По среднему значению планируют работу машин, составляют потребность в запасных частях, определяют объёмы ремонтных работ и т.д.

При отсутствии статистического ряда, когда $N < 25$, среднее значение показателя надёжности:

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i ,$$

где t_i – значение i -го показателя надёжности.

При наличии статистического ряда среднее значение показателя надёжности:

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n t_{ci} p_i ,$$

где n – количество интервалов в статистическом ряду;

t_{ci} – значение середины i -го интервала;

p_i – опытная вероятность i -го интервала.

В нашем случае

$$\begin{aligned} \bar{t} &= 3,95 \cdot 0,04 + 4,65 \cdot 0,05 + 5,35 \cdot 0,2 + 6,75 \cdot 0,28 + 7,45 \cdot 0,08 + 8,15 \cdot 0,06 + 8,85 \cdot 0 + 9,55 \cdot 0,01 = \\ &= 6,256 \text{ тыс.ч.} \end{aligned}$$

Характеристикой рассеивания показателя надёжности является дисперсия или среднее квадратическое отклонение, которое, при отсутствии статистического ряда, определяется по уравнению:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2 / N} .$$

При наличии статистического ряда:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (t_{ci} - \bar{t})^2 p_i} .$$

В данном примере

$$\sigma = \sqrt{(3,950 - 6,256)^2 0,04 + (4,650 - 6,256)^2 0,05 + (5,350 - 6,256)^2 0,2 + (6,050 - 6,256)^2 0,28 + \\ \sqrt{+ (6,750 - 6,256)^2 0,28 + (7,450 - 6,256)^2 0,08 + (8,150 - 6,256)^2 0,06 + (8,850 - 6,256)^2 0 + \\ \sqrt{+ (9,550 - 6,256)^2 0,01}} = 1,034 \text{ тыс.ч.}$$

4. Проверка информации на выпадающие точки

Информация по показателям надёжности, полученная в процессе испытаний или наблюдений в условиях рядовой эксплуатации, может содержать ошибочные точки, не соответствующие закону распределения случайной величины. Поэтому во время математической обработки информацию проверяют на выпадающие точки.

Грубую проверку проводят по правилу $\bar{t} \pm 3\sigma$. От полученного расчётным путём среднего значения показателя надёжности $\bar{t}$ последовательно вычитают и прибавляют 3σ . Если крайние точки информации не выходят за пределы $\bar{t} \pm 3\sigma$, то все точки информации считают действительными.

Так, в данном примере границы достоверности информации будут равны:

нижняя $6256 - 3 \cdot 1034 = 3154$ ч;

верхняя $6256 + 3 \cdot 1034 = 9358$ ч.

Наименьший ресурс изделия $t_{p1} = 3600$ ч. Следовательно, эта точка информации действительна и должна быть учтена при дальнейших расчётах. Наибольший ресурс изделия $t_{p80} = 9900$ ч. Эта точка информации выходит за верхнюю границу достоверности. Поэтому она должна быть признана недействительной (выпадающей) и не учитываться в дальнейших расчётах.

Более точно информацию на выпадающие точки проверяют по критерию Ирвина λ , теоретические значения которого приведены в таблице приложения.

Фактическое значение критерия

$$\lambda_{\text{оп}} = \frac{t_i - t_{i-1}}{\sigma},$$

где t_i и t_{i-1} – смежные точки информации.

При $\lambda_{\text{оп}} \leq \lambda_{\text{т}}$ точку считают достоверной, при $\lambda_{\text{оп}} > \lambda_{\text{т}}$ точку признают выпадающей и исключают из дальнейших расчётов.

После исключения выпадающей точки необходимо все ранее рассчитанные параметры (m_i , p_i , $\sum p_i$, $\bar{t}$, σ) пересчитать заново.

Проверим крайние точки информации о ресурсах изделия.

Наименьшая точка информации

$$\lambda_{\text{оп1}} = (4000 - 3600)/1034 = 0,39.$$

Наибольшая точка информации

$$\lambda_{\text{оп80}} = (9900 - 8400) / 1034 = 1,45.$$

По приложению находим, что при повторности информации $N = 80$ и доверительной вероятности $\beta = 0,95$, $\lambda_T = 1,04$.

Первую точку следует признать достоверной, так как $\lambda_{\text{оп1}} = 0,39 < \lambda_T = 1,04$, последнюю – выпадающей, так как $\lambda_{\text{оп80}} = 1,45 \geq \lambda_T = 1,04$.

Учитывая, что последняя точка информации выпала, в данном примере после соответствующих пересчётов будем иметь $N = 79$, $\bar{t} = 6214$ ч, $\sigma = 972$ ч. Следует отметить, что независимо от того, при обеих проверках или при какой-либо одной были выявлены выпадающие точки, их необходимо исключить из выборки.

Окончательно после исключения выпадающей точки статистический ряд примет следующий вид (табл. 4.3).

Таблица 4.3 – Статистический ряд после исключения выпадающей точки

Интервал, тыс. ч	3,6...4,3	4,3...5,0	5,0...5,7	5,7...6,4	6,4...7,1	7,1...7,8	7,8...8,5
m_i	3	4	16	22	22	6,5	5,5
p_i	0,04	0,05	0,20	0,28	0,28	0,08	0,07
$\sum p_i$	0,04	0,09	0,29	0,57	0,85	0,93	1

5. Выполнение графического изображения опытного распределения показателя надёжности

По данным статистического ряда могут быть построены гистограмма, полигон и кривая накопленных опытных вероятностей, которые дают наглядное представление об опытном распределении показателя надёжности и позволяют решать ряд инженерных задач графическими способами.

Для построения гистограммы по оси абсцисс откладывают в определённом масштабе показатель надёжности t , а по оси ординат – опытную частоту m_i или опытную вероятность p_i (рис. 4.1).

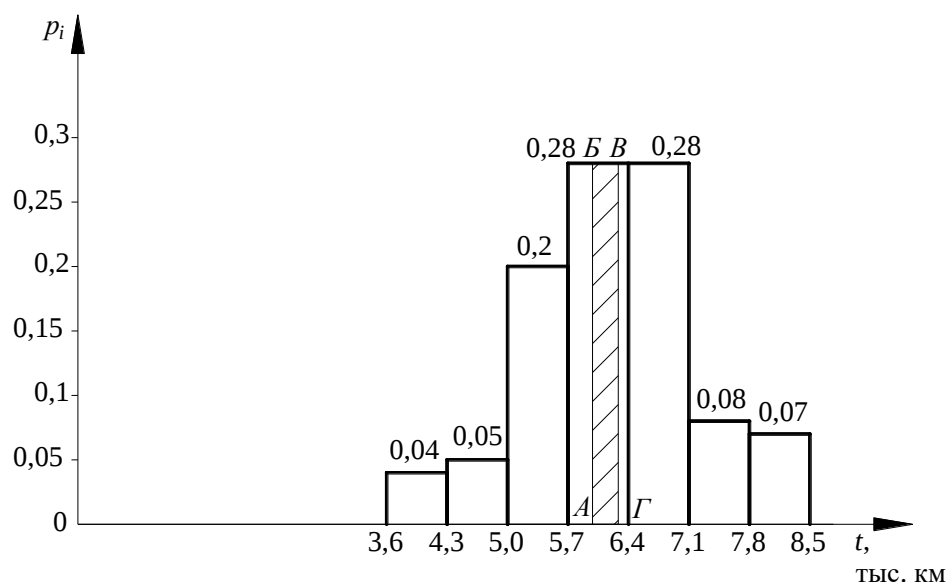


Рис. 4.1. Гистограмма опытных вероятностей

При построении полигона распределения (рис. 6.2) по осям абсцисс и ординат откладывают те же значения, что и при построении гистограммы. Точки полигона распределения образуются пересечением ординаты, равной опытной вероятности интервала, и абсциссы, равной середине этого интервала. Начальную и конечную точки полигона распределения приравнивают к абсциссам начала первого и конца последнего интервалов статистического ряда.

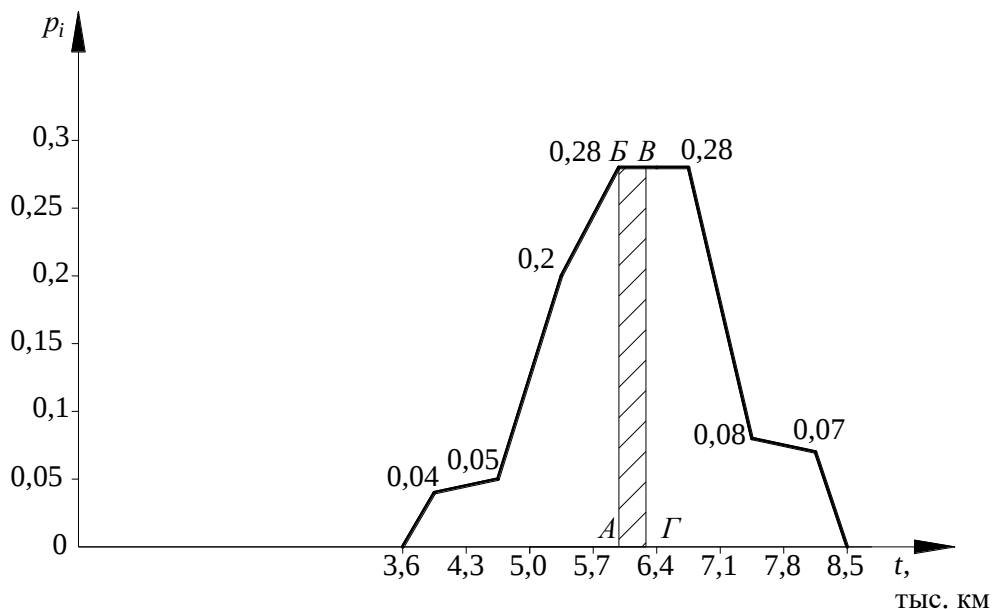


Рис. 4.2. Полигон распределения ресурсов изделий

С помощью гистограммы и полигона распределения можно определить, например, количество изделий, которые достигнут предельного состояния и потребуют ремонта в заданном интервале наработки. Для этого необходимо определить площадь полигона или гистограммы $AB\Gamma$ (см. рис. 6.1 и 6.2), ограниченную заданным интервалом, например 6,0...6,3 тыс. ч., и отнести её к суммарной площади под ступенчатым графиком гистограммы или под ломаной

линией полигона. Полученное значение укажет на количество отказавших изделий в долях единицы. Для получения количества физических изделий необходимо это значение умножить на количество точек информации.

Для построения кривой накопленных опытных вероятностей (рис. 4.3) по оси абсцисс откладывают в масштабе значение показателя надёжности t , а по оси ординат – накопленную опытную вероятность $\sum_{i=1}^n p_i$.

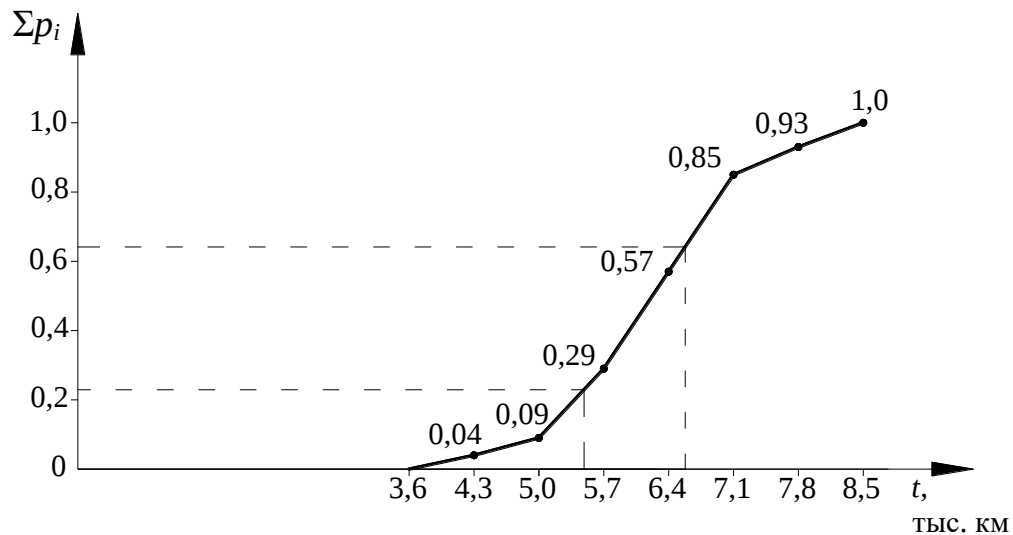


Рис. 4.3. Кривая накопленных опытных вероятностей

Точки кривой накопленных опытных вероятностей образуются пересечением ординаты, равной сумме вероятностей $\sum_{i=1}^n p_i$, и абсциссы конца данного интервала. Полученные точки соединяют с началом первого интервала.

Кривая накопленных опытных вероятностей более удобна для решения практических задач по сравнению с гистограммой и полигоном распределения, так как в этом случае нет необходимости определять площади, а все искомые показатели находят по оси ординат. Например, для определения количества изделий, требующих ремонта при наработке до 6,6 тыс. ч необходимо на оси абсцисс найти точку 6,6 и по оси ординат определить накопленную опытную вероятность: $\Sigma p_i = 0,64$.

Физическое количество $N_{изд} = 0,64 \cdot 79 = 51$ изделие.

С помощью этой же кривой можно найти количество отказавших изделий в любом интервале наработки. Например, в интервале наработки 5,5...6,6 тыс. ч $N_{изд} = (0,64 - 0,24) \cdot 79 = 32$ изделия.

6. Определение коэффициента вариации

Коэффициент вариации

$$v = \frac{\sigma}{\bar{t} - C},$$

где C – смещение рассеивания показателя надёжности – расстояние от начала координат до начала рассеивания случайной величины.

Смещение рассеивания рассчитывают по формулам:

- при отсутствии статистического ряда ($N < 25$):

$$C = t_1 - \frac{t_3 - t_1}{2},$$

где t_1 и t_3 – значения первой и третьей точек информации в порядке их возрастания;

- при наличии статистического ряда ($N > 25$):

$$C = t_{n1} - 0,5A,$$

где t_{n1} – начало первого интервала статистического ряда;

A – длина интервала.

Тогда

$$C = 3600 - 0,5 \cdot 700 = 3250 \text{ ч.}$$

Коэффициент вариации

$$v = 972 / (6214 - 3250) = 0,33.$$

7. Выбор теоретического закона распределения для выравнивания опытной информации

Испытания техники на надёжность связаны с организационными трудностями и большими материальными затратами, что ограничивает как количество испытываемых машин, так и длительность их испытаний. Кроме того, результаты испытаний зависят от квалификации водителей и наблюдателей, климатических условий, сортов и чистоты топливосмазочных материалов, качества запасных частей и т.д. Перечисленные факторы не позволяют переносить результаты испытаний на надёжность на машины той же марки, не входящие в выборочную совокупность без соответствующих корректив, которые заключаются в том, что на основании первичной информации о выборочной совокупности машин определяют теоретический закон распределения показателя надёжности для генеральной совокупности машин. Этот закон выражает общий характер изменения показателя надёжности и исключает частные отклонения, связанные с недостатками первичной информации. Такой процесс замены опытного распределения теоретическим называют процессом выравнивания или сглаживания статистической информации.

Для выравнивания распределений показателей надёжности техники и её элементов наиболее широко используют закон нормального распределения (ЗНР) и закон распределения Вейбулла (ЗРВ).

7.1. Использование для выравнивания распределения опытной информации закона нормального распределения

ЗНР характеризуется дифференциальной и интегральной функциями. Отличительная особенность дифференциальной функции – симметричное рассеивание частных значений показателей надёжности относительно среднего значения.

Дифференциальную функцию описывают уравнением:

$$f(t_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t_i - \bar{t})^2}{2\sigma^2}},$$

где σ – среднее квадратическое отклонение;

t – показатель надёжности;

$\bar{t}$ – среднее значение показателя надёжности.

Если принять $\bar{t} = 0$ и $\sigma = 1$, то получим выражение для центрированной нормированной дифференциальной функции:

$$\varphi(z_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z_i^2}{2}},$$

где $z_i = \frac{t_i - \bar{t}}{\sigma}$.

Центрированная нормированная функция дана в приложении.

Для определения дифференциальной функции через центрированную нормированную функцию используют уравнение:

$$f(t_i) = \frac{A\varphi(z_i)}{\sigma}$$

При этом, $\varphi(-z) = \varphi(z)$.

В качестве примера определим значение дифференциальной функции в первом интервале статистического ряда.

$$f(3600 \dots 4300) = \frac{700}{972} \varphi\left(\frac{3950 - 6214}{972}\right) = 0,72 \varphi(-2,33) = 0,72 \cdot 0,03 = 0,02.$$

Интегральная функция распределения:

$$Q(t_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t_i - \bar{t})^2}{2\sigma^2}} dt.$$

Интегральная нормированная функция примет вид:

$$Q_0(z_i) = \int_{-\infty}^z \varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz.$$

Если $z < 0$, то $Q_0(-z) = 1 - Q_0(z)$.

Обратный переход от нормированной функции к исходной делается по формуле:

$$Q(t_i) = Q_0(z_i).$$

Определим значение интегральной функции в первом интервале статистического ряда:

$$Q(3600 \dots 4300) = Q_0\left(\frac{4300 - 6214}{972}\right) = Q_0(-1,97) = 1 - Q_0(1,97) = 1 - 0,98 = 0,02.$$

Рассчитанные аналогичным образом значения дифференциальной и интегральной функций по всем интервалам статистического ряда сведём в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Значения дифференциальной и интегральной функций при ЗНР

Интервал, тыс. ч	3,6...4,3	4,3...5,0	5,0...5,7	5,7...6,4	6,4...7,1	7,1...7,8	7,8...8,5
$f(t)$	0,02	0,08	0,19	0,28	0,24	0,13	0,04
$Q(t)$	0,02	0,11	0,3	0,58	0,82	0,95	0,99

На основании полученных значений $f(t)$ и $Q(t)$ могут быть построены графики дифференциальной (рис. 4.4) и интегральной функций (рис. 4.5). Дифференциальная функция заменяет полигон распределения, а интегральная – кривую накопленных опытных вероятностей.

По оси абсцисс дифференциальной и интегральной кривых откладывают в определённом масштабе значения интервалов статистического ряда, а по оси ординат – значения $f(t)$ или $Q(t)$. 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 $Q(t)$.

Для определения количества изделий, отказавших в каком-то интервале наработки, необходимо площадь под дифференциальной кривой, соответствующую этому интервалу, отнести к общей площади под дифференциальной кривой и полученное значение перемножить на общее количество испытываемых изделий.

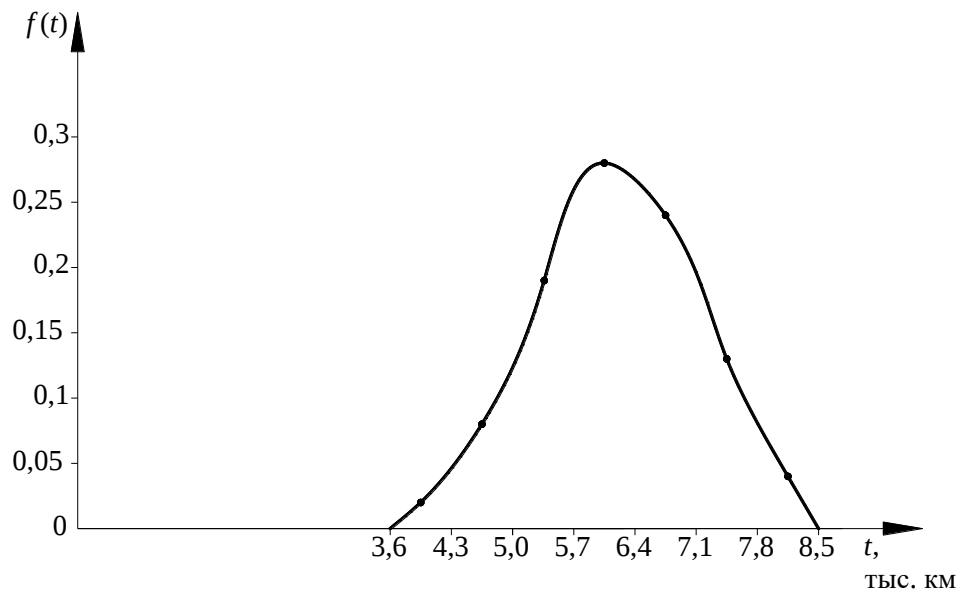


Рис. 4.4. График дифференциальной функции

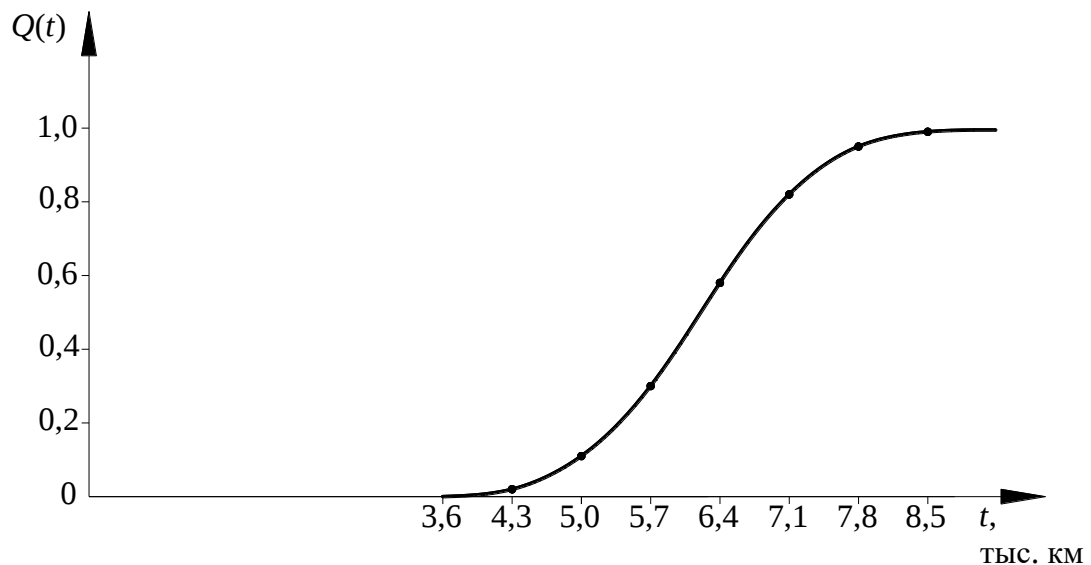


Рис. 4.5. График интегральной функции

Количество изделий, отказавших в каком-либо интервале наработки, на графике интегральной функции определяют перемножением полученного значения по оси ординат на общее количество изделий.

С помощью приведённых выше уравнений можно определить количество отказавших изделий не только в интервалах статистического ряда, но и в любом интервале наработки. Эту задачу можно решать по дифференциальной или интегральной функции. Например, необходимо определить количество изделий, отказавших в интервале наработки 5700...6350 ч:

- по дифференциальной функции:

$$f(5700 \dots 6350) = \frac{650}{972} \varphi\left(\frac{6025 - 6214}{972}\right) = 0,67 \varphi(0,19) = 0,67 \cdot 0,39 = 0,26, \text{ или}$$

$$0,26 \cdot 79 = 21 \text{ изделие.}$$

- по интегральной функции:

$$\begin{aligned} Q(5700 \dots 6350) &= Q(0 \dots 6350) - Q(0 \dots 5700) = Q_0\left(\frac{6350 - 6214}{972}\right) - Q_0\left(\frac{5700 - 6214}{972}\right) = \\ &= Q_0(0,14) - Q_0(-0,53) = Q_0(0,14) - (1 - Q_0(0,53)) = 0,56 - (1 - 0,70) = 0,26, \text{ или} \\ &0,26 \cdot 79 = 21 \text{ изделие.} \end{aligned}$$

7.2. Использование для выравнивания распределения опытной информации закона распределения Вейбулла

Дифференциальную функцию, или функцию плотности вероятностей определяют при законе распределения Вейбулла по уравнению:

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

где a и b – параметры распределения Вейбулла.

Параметр b определяется по таблице приложения. Для этого необходимо предварительно найти коэффициент вариации. Из таблицы выписывают значение параметра b , коэффициенты K_B и C_B . При $v = 0,33$ $b = 3,3$; $K_B = 0,90$ и $C_B = 0,30$.

Параметр a рассчитывают по одному из уравнений:

$$a = (\bar{t} - C)/K_B$$

или

$$a = \sigma/C_B.$$

В нашем случае, $a = (6214 - 3250)/0,90 = 3293$ ч.

Дифференциальную функцию определяют по приложению. При этом используют уравнение:

$$f(t) = \frac{A}{a} f\left(\frac{t_{ci} - C}{a}\right),$$

где A – длина интервала статистического ряда;

t_{ci} – середина интервала статистического ряда;

C – смещение.

Находят дифференциальную функцию в первом интервале статистического ряда:

$$f(3600 \dots 4300) = \frac{700}{3293} f\left(\frac{3950 - 3250}{3293}\right) = 0,21 f(0,21) = 0,21 \cdot 0,13 = 0,02.$$

Интегральная функция:

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

Эту функцию также определяют по приложению. При этом используют уравнение:

$$Q(t) = Q\left(\frac{t_{ki} - C}{a}\right),$$

где t_{ki} – значение конца i -го интервала.

Например, интегральная функция в первом интервале статистического ряда:

$$Q(3600 \dots 4300) = Q\left(\frac{4300 - 3250}{3293}\right) = Q(0,32) = 0,03.$$

Аналогично определим значения дифференциальной и интегральной функций в остальных интервалах статистического ряда (табл. 4.5).

Таблица 4.5 – Значения дифференциальной и интегральной функций при ЗРВ

Интервал, тыс. ч	3,6...4,3	4,3...5,0	5,0...5,7	5,7...6,4	6,4...7,1	7,1...7,8	7,8...8,5
$f(t)$	0,02	0,11	0,20	0,24	0,21	0,13	0,05
$Q(t)$	0,03	0,13	0,33	0,58	0,81	0,95	0,99

С помощью ранее приведённых уравнений закона распределения Вейбулла можно найти количество отказавших изделий не только в каждом интервале статистического ряда, но и в любом интервале наработки.

Например, определим количество отказавших изделий в интервале наработки 5700...6350 ч, если предположить, что рассеивание ресурса изделий подчиняется закону распределения Вейбулла. Задача может быть решена как по дифференциальной, так и по интегральной функции.

При решении по дифференциальной функции:

$$f(5700 \dots 6350) = \frac{650}{3293} f\left(\frac{6025 - 3250}{3293}\right) = 0,20 f(0,84) = 0,20 \cdot 1,16 = 0,23, \text{ или } 0,23 \cdot 79 = 18 \text{ изделий.}$$

При решении по интегральной функции:

$$\begin{aligned} Q(5700 \dots 6350) &= Q(0 \dots 6350) - Q(0 \dots 5700) = Q\left(\frac{6350 - 3250}{3293}\right) - Q\left(\frac{5700 - 3250}{3293}\right) = \\ &= Q(0,94) - Q(0,74) = 0,56 - 0,31 = 0,25, \text{ или } 0,25 \cdot 79 = 20 \text{ изделий.} \end{aligned}$$

8. Оценка совпадения опытного и теоретического законов распределения показателей надёжности по критерию согласия

В процессе оценки совпадения определяют степень совпадения или расхождения опытной вероятности и дифференциальной функции, или же накопленной опытной вероятности и интегральной функции в интервалах статистического ряда. Для определения совпадения или расхождения выбирают различные критерии: сумму квадратов отклонения дифференциальной функции от опытной вероятности, наибольшее или суммарное отклонение кривой накопленных опытных вероятностей от интегральной кривой теоретического закона распределения и т.д.

Однако, как бы не велико было совпадение, оно свидетельствует только о том, что выбранный закон не противоречит опытному распределению, но не гарантирует того, что этот закон в данном случае лучше, чем какой-либо другой, выравнивает опытную информацию. Наиболее удачно критерий согласия используют при выборе одного теоретического закона из нескольких. В этом случае наиболее приемлемым окажется тот закон распределения, совпадение которого с опытным распределением характеризуется наименьшим значением расхождения.

При обработке информации по показателям надёжности техники наиболее часто применяют критерий согласия Пирсона χ^2 , определяемый по уравнению:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{n_y} \frac{(m_i - m_{ti})^2}{m_{ti}},$$

где n_y – количество интервалов укрупнённого статистического ряда;

m_i – опытная частота в i -м интервале статистического ряда;

m_{ti} – теоретическая частота в i -м интервале.

Теоретическая частота:

$$m_{ti} = N(Q(t_i) - Q(t_{i-1})),$$

где N – количество точек информации;

$Q(t_i)$ и $Q(t_{i-1})$ – интегральные функции i -го и $(i-1)$ -го интервалов статистического ряда.

Для определения χ^2 строят укрупнённый статистический ряд, соблюдая условие: $n_y > 4$, $m_i \geq 5$ (табл. 4.6). При этом допускается объединение соседних интервалов, в которых $m_i < 5$. Проанализируем статистический ряд информации о ресурсах изделия. Можно заметить, что $m_1 = 4$ и $m_2 = 1,5$ меньше пяти, поэтому первый и второй интервалы статистического ряда объединяют. Опытная частота в объединённом интервале будет равна сумме частот объединяемых интервалов. В остальных интервалах статистического ряда опытные частоты больше пяти, поэтому эти интервалы оставляем без изменения.

Таблица 4.6 – Укрупнённый статистический ряд

Интервал, тыс. ч	3,6...5,0	5,0...5,7	5,7...6,4	6,4...7,1	7,1...7,8	7,8...8,5
m_i	7	16	22	22	6,5	5,5
При законе нормального распределения						
$Q(t)$	0,11	0,3	0,58	0,82	0,95	0,99
m_{it}	8,7	15	22,1	19	10,3	3,2
При законе распределения Вейбулла						
$Q(t)$	0,13	0,33	0,58	0,81	0,95	0,99
m_{it}	10,3	15,8	19,8	18,2	11,1	3,2

Теоретические частоты, например, в первом и втором интервалах при ЗНР определяют следующим образом:

$$m_{1т} = 79(0,11 - 0) = 8,7;$$

$$m_{2т} = 79(0,3 - 0,11) = 15,1.$$

Для данного примера критерий согласия Пирсона:

- при законе нормального распределения:

$$\chi^2 = \frac{(7-8,7)^2}{8,7} + \frac{(16-15)^2}{15} + \frac{(22-22,1)^2}{22,1} + \frac{(22-19)^2}{19} + \frac{(6,5-10,3)^2}{10,3} + \frac{(5,5-3,2)^2}{3,2} = 3,5;$$

- при законе распределения Вейбулла:

$$\chi^2 = \frac{(7-10,3)^2}{10,3} + \frac{(16-15,8)^2}{15,8} + \frac{(22-19,8)^2}{19,8} + \frac{(22-18,2)^2}{18,2} + \frac{(6,5-11,1)^2}{11,1} + \frac{(5,5-3,2)^2}{3,2} = 5,65.$$

Для дальнейших расчётов выбирают тот закон распределения, у которого меньше критерий Пирсона χ^2 . Судя по значениям критериев согласия ЗНР и ЗРВ, приходим к выводу, что применительно к ресурсам изделия более приемлемым считают закон нормального распределения.

9. Определение доверительных границ рассеивания одиночного и среднего значений показателя надёжности

9.1. Определение доверительных границ рассеивания при законе нормального распределения

Для определения доверительных границ рассеивания одиночного значения показателя надёжности при законе нормального распределения вначале находят абсолютную ошибку e_β :

$$e_{\beta} = t_{\beta} \sigma ,$$

где t_{β} – коэффициент Стьюдента.

Нижняя доверительная граница:

$$t_{\beta}^{\text{н}} = \bar{t} - t_{\beta} \sigma ,$$

где $\bar{t}$ – среднее значение показателя надежности.

Верхняя доверительная граница:

$$t_{\beta}^{\text{в}} = \bar{t} + t_{\beta} \sigma .$$

Доверительный интервал:

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

Для примера по обработке информации по ресурсу изделия коэффициент Стьюдента при $\beta = 0,90$ равен: $t_{\beta} = 1,66$,

нижняя доверительная граница:

$$t_{op}^{\text{н}} = 6214 - 1,66 \cdot 972 = 4600 \text{ ч};$$

верхняя доверительная граница

$$t_{op}^{\text{в}} = 6214 + 1,66 \cdot 972 = 7828 \text{ ч};$$

доверительный интервал

$$I_{\beta} = 7828 - 4600 = 3228 \text{ ч}.$$

Расчетная схема и физический смысл доверительных границ среднего значения показателя надежности те же, что и для одиночного показателя. Разница заключается в значении среднего квадратического отклонения.

Среднее квадратическое отклонение рассеивания среднего значения показателя надежности:

$$\sigma_{\bar{t}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} ,$$

где N – количество точек информации, по которому определено среднее значение показателя надежности.

Нижняя доверительная граница среднего значения показателя надежности:

$$\bar{t}_{\beta}^n = \bar{t} - t_{\beta} \frac{\sigma}{\sqrt{N}}.$$

Верхняя доверительная граница среднего значения показателя надёжности:

$$\bar{t}_{\beta}^s = \bar{t} + t_{\beta} \frac{\sigma}{\sqrt{N}}.$$

Доверительный интервал среднего значения показателя надёжности:

$$\bar{I}_{\beta} = \bar{t}_{\beta}^s - \bar{t}_{\beta}^n.$$

Для приведённого примера по обработке информации по ресурсу изделия коэффициент Стьюдента $t_{\beta} = 1,66$,
нижняя доверительная граница:

$$\bar{t}_{op}^n = 6214 - 1,66 \frac{972}{\sqrt{79}} = 6034 \text{ ч};$$

верхняя доверительная граница:

$$\bar{t}_{op}^s = 6214 + 1,66 \frac{972}{\sqrt{79}} = 6394 \text{ ч};$$

доверительный интервал:

$$\bar{I}_{\beta} = 6394 - 6034 = 360 \text{ ч}.$$

9.2. Определение доверительных границ рассеивания при законе распределения Вейбулла

Доверительные границы рассеивания одиночного показателя надёжности при ЗРВ определяют по уравнениям:

$$t_{\beta}^n = H_{\kappa}^B \cdot \left(\frac{1-\beta}{2} \right) a + C;$$

$$t_{\beta}^s = H_{\kappa}^B \cdot \left(\frac{1+\beta}{2} \right) a + C,$$

где H_{κ}^B – квантиль закона распределения Вейбулла;

a – параметр закона Вейбулла;

C – смещение начала рассеивания.

Доверительный интервал:

$$I_{\beta} = \bar{t}_{\beta}^e - \bar{t}_{\beta}^n.$$

Для рассматриваемого примера при доверительной вероятности $\beta = 0,90$

$$\begin{aligned} \bar{t}_{\beta}^n &= H_{\kappa}^B \left(\frac{1-0,90}{2} \right) 3293 + 3250 = 0,424 \cdot 3293 + 3250 = 4646 \text{ ч}; \\ \bar{t}_{\beta}^e &= H_{\kappa}^B \left(\frac{1+0,90}{2} \right) 3293 + 3250 = 1,4 \cdot 3293 + 3250 = 7860 \text{ ч}; \\ I_{\beta} &= 7860 - 4646 = 3214 \text{ ч}. \end{aligned}$$

Доверительные границы рассеивания среднего значения показателя надёжности при ЗРВ определяют по уравнениям:

$$\begin{aligned} \bar{t}_{\beta}^n &= (\bar{t} - C) \sqrt[b]{r_3} + C; \\ \bar{t}_{\beta}^e &= (\bar{t} - C) \sqrt[b]{r_1} + C, \end{aligned}$$

где r_1 и r_3 – коэффициенты распределения Вейбулла, зависящие от доверительной вероятности β и повторности информации N ;

b – параметр закона распределения Вейбулла.

Доверительный интервал:

$$\bar{I}_{\beta} = \bar{t}_{\beta}^e - \bar{t}_{\beta}^n.$$

Для данного примера $r_1 = 1,21$; $r_3 = 0,84$; $b = 3,3$.

$$\begin{aligned} \bar{t}_{\beta}^n &= (6214 - 3250) \sqrt[3,3]{0,84} + 3250 = 6062 \text{ ч}; \\ \bar{t}_{\beta}^e &= (6214 - 3250) \sqrt[3,3]{1,21} + 3250 = 6390 \text{ ч}; \\ \bar{I}_{\beta} &= 6390 - 6062 = 328 \text{ ч}. \end{aligned}$$

10. Определение абсолютной и относительной предельных ошибок переноса характеристик показателя надёжности

Наибольшая абсолютная ошибка переноса опытных характеристик показателя надёжности при заданной доверительной вероятности равна значению e_{β} в обе стороны от среднего значения показателя надёжности.

Относительная предельная ошибка, %:

$$\delta_{\beta} = \frac{\bar{t}_{\beta}^e - \bar{t}}{\bar{t} - C} \cdot 100\% = \frac{6394 - 6214}{6214 - 3250} \cdot 100\% = 6\% \text{ (при ЗНР)}.$$

Задание №4

Обработать информацию о ресурсах изделия согласно данным, представленным в таблице.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер изделия	Ресурс, ч									
1	50	165	83	108	95	227	120	50	140	249
2	160	198	193	152	315	339	340	61	470	381
3	200	234	233	200	395	455	420	73	590	519
4	245	255	278	248	485	563	510	80	725	549
5	256	282	289	304	507	607	532	89	758	582
6	280	309	313	360	555	643	580	98	830	609
7	300	345	333	412	595	687	620	110	890	645
8	315	381	348	468	625	735	650	122	935	672
9	325	408	358	500	645	771	670	131	965	702
10	335	447	368	528	665	807	690	144	995	735
11	340	474	373	556	675	843	700	153	1010	765
12	358	492	391	584	711	887	736	159	1064	789
13	370	513	403	616	735	919	760	166	1100	819
14	375	540	408	644	745	947	770	175	1115	843
15	378	558	411	672	751	983	776	181	1124	864
16	384	576	417	700	763	1007	788	187	1142	882
17	389	597	422	740	773	1035	798	194	1157	897
18	396	615	429	772	787	1059	812	200	1178	912
19	401	636	434	804	797	1079	822	207	1193	933
20	407	660	440	832	809	1103	834	215	1211	951
21	410	684	443	868	815	1127	840	223	1220	969
22	413	702	446	896	821	1155	846	229	1229	984
23	418	720	451	928	831	1179	856	235	1244	1005
24	422	735	455	952	839	1207	864	240	1256	1026
25	426	753	459	980	847	1231	872	246	1268	1044
26	429	777	462	1012	853	1255	878	254	1277	1062
27	432	795	465	1036	859	1283	884	260	1286	1077
28	435	816	468	1064	865	1307	890	267	1295	1095
29	438	840	471	1088	871	1335	896	275	1304	1113
30	441	861	474	1108	877	1359	902	282	1313	1128
31	445	879	478	1128	885	1379	910	288	1325	1146
32	447	894	480	1152	889	1403	914	293	1331	1164
33	451	912	484	1176	897	1427	922	299	1343	1179
34	455	933	488	1196	905	1447	930	306	1355	1197
35	459	954	492	1220	913	1471	938	313	1367	1212
36	463	972	496	1244	921	1491	946	319	1379	1227
37	466	990	499	1268	927	1515	952	325	1388	1245
38	470	1008	503	1288	935	1535	960	331	1400	1263
39	475	1026	508	1312	945	1555	970	337	1415	1278
40	478	1044	511	1336	951	1583	976	343	1424	1296
41	482	1065	515	1356	959	1607	984	350	1436	1311
42	487	1089	520	1380	969	1631	994	358	1451	1326
43	491	1110	524	1404	977	1655	1002	365	1463	1341
44	496	1131	529	1428	987	1679	1012	372	1478	1356
45	501	1152	534	1456	997	1703	1022	379	1493	1374
46	505	1173	538	1480	1005	1723	1030	386	1505	1389
47	509	1194	542	1512	1013	1747	1038	393	1517	1404
48	513	1218	546	1544	1021	1771	1046	401	1529	1419

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер изделия	Ресурс, ч									
49	517	1242	550	1576	1029	1791	1054	409	1541	1431
50	519	1266	552	1608	1033	1811	1058	417	1547	1476
51	522	1299	555	1656	1039	1835	1064	428	1556	1491
52	525	1323	558	1692	1045	1855	1070	436	1565	1509
53	527	1350	560	1724	1049	1875	1074	445	1571	1524
54	531	1371	564	1756	1057	1899	1082	452	1583	1542
55	534	1395	567	1788	1063	1931	1088	460	1592	1557
56	539	1428	572	1820	1073	1951	1098	471	1607	1572
57	543	1452	576	1848	1081	1975	1106	479	1619	1587
58	547	1476	580	1880	1089	1995	1114	487	1631	1602
59	550	1494	583	1912	1095	2011	1120	493	1640	1614
60	554	1518	587	1940	1103	2035	1128	501	1652	1629
61	560	1545	593	1964	1115	2063	1140	510	1670	1644
62	565	1572	598	1992	1125	2087	1150	519	1685	1659
63	569	1617	602	2028	1133	2115	1158	534	1697	1674
64	576	1653	609	2076	1147	2139	1172	546	1718	1692
65	581	1692	614	2112	1157	2171	1182	559	1733	1707
66	585	1728	618	2144	1165	2199	1190	571	1745	1725
67	588	1761	621	2148	1171	2223	1196	582	1754	1740
68	592	1797	625	2192	1179	2251	1204	594	1766	1758
69	597	1824	630	2228	1189	2279	1214	603	1781	1779
70	601	1848	634	2276	1197	2307	1222	611	1793	1797
71	605	1875	638	2324	1205	2335	1230	620	1805	1815
72	608	1914	641	2372	1211	2363	1236	633	1814	1830
73	611	1956	644	2420	1217	2391	1242	647	1823	1848
74	614	1986	647	2472	1223	2431	1248	657	1832	1869
75	617	2028	650	2520	1229	2467	1254	671	1841	1890
76	620	2067	653	2568	1235	2507	1260	684	1850	1911
77	628	2106	661	2620	1251	2551	1276	697	1874	1935
78	635	2145	668	2668	1265	2587	1290	710	1895	1959
79	640	2202	673	2716	1275	2623	1300	729	1910	1986
80	647	2265	680	2768	1289	2667	1314	750	1931	2019
81	653	2316	686	2836	1301	2715	1326	767	1949	2052
82	660	2379	693	2892	1315	2751	1340	788	1970	2088
83	665	2424	698	2948	1325	2795	1350	803	1985	2115
84	672	2499	705	3000	1339	2835	1364	828	2006	2151
85	678	2574	711	3068	1351	2879	1376	853	2024	2190
86	685	2655	718	3116	1365	2939	1390	880	2045	2199
87	690	2718	723	3208	1375	2999	1400	901	2060	2238
88	696	2811	729	3324	1387	3063	1412	932	2078	2274
89	701	2916	734	3412	1397	3123	1422	967	2093	2325
90	708	3015	741	3516	1411	3187	1436	1000	2114	2373
91	714		747	3656	1423	3247	1448		2132	2424
92	724		757	3804	1443	3347	1468		2162	2469
93	731		764	3908	1457	3435	1482		2183	2517
94	753		786		1501	3523	1526		2249	2589
95	775		808		1545	3623	1570		2315	2691
96	790		823		1575	3827	1600		2360	2805
97	805		838		1605	4027	1630		2405	3099
98	840		873		1675		1700		2510	
99	886		919		1767		1792		2648	
100	1000		1033		1995		2020		2990	

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номер изделия	Ресурс, ч									
1	157	207	214	50	381	184	432	50	445	57
2	487	258	654	130	1371	344	1312	61	1325	73
3	607	309	814	145	1731	374	1632	73	1645	99
4	742	354	994	158	2136	400	1992	85	2005	123
5	775	411	1038	170	2235	424	2080	99	2093	135
6	847	462	1134	183	2451	450	2272	113	2285	147
7	907	492	1214	198	2631	480	2432	126	2445	169
8	952	519	1274	210	2766	504	2552	140	2565	179
9	982	549	1314	221	2856	526	2632	148	2645	195
10	1012	585	1354	231	2946	546	2712	155	2725	207
11	1027	606	1374	240	2991	564	2752	162	2765	219
12	1081	630	1446	246	3153	576	2896	169	2909	235
13	1117	657	1494	252	3261	588	2992	177	3005	245
14	1132	681	1514	259	3306	602	3032	184	3045	257
15	1141	705	1526	265	3333	614	3056	191	3069	269
16	1159	726	1550	270	3387	624	3104	198	3117	281
17	1174	747	1570	276	3432	636	3144	208	3157	291
18	1195	768	1598	282	3495	648	3200	216	3213	303
19	1210	786	1618	288	3540	660	3240	224	3253	317
20	1228	807	1642	294	3594	672	3288	231	3301	329
21	1237	825	1654	300	3621	684	3312	240	3325	341
22	1246	840	1666	306	3648	696	3336	247	3349	353
23	1261	864	1686	312	3693	708	3376	255	3389	367
24	1273	882	1702	318	3729	720	3408	261	3421	375
25	1285	903	1718	324	3765	732	3440	268	3453	389
26	1294	924	1730	330	3792	744	3464	276	3477	403
27	1303	939	1742	335	3819	754	3488	282	3501	417
28	1312	957	1754	341	3846	766	3512	289	3525	433
29	1321	975	1766	346	3873	776	3536	295	3549	453
30	1330	996	1778	351	3900	786	3560	300	3573	469
31	1342	1017	1794	357	3936	798	3592	305	3605	483
32	1348	1038	1802	362	3954	808	3608	311	3621	497
33	1360	1053	1818	368	3990	820	3640	317	3653	511
34	1372	1071	1834	374	4026	832	3672	322	3685	521
35	1384	1089	1850	379	4062	842	3704	328	3717	535
36	1396	1107	1866	384	4098	852	3736	334	3749	549
37	1405	1125	1878	389	4125	862	3760	340	3773	567
38	1417	1143	1894	395	4161	874	3792	345	3805	583
39	1432	1164	1914	400	4206	884	3832	351	3845	597
40	1441	1182	1926	405	4233	894	3856	357	3869	613
41	1453	1197	1942	406	4269	896	3888	362	3901	627
42	1468	1209	1962	411	4314	906	3928	368	3941	643
43	1480	1224	1978	417	4350	918	3960	374	3973	661
44	1495	1242	1998	423	4395	930	4000	380	4013	677
45	1510	1260	2018	429	4440	942	4040	387	4053	695
46	1522	1278	2034	435	4476	954	4072	393	4085	711
47	1534	1296	2050	440	4512	964	4104	401	4117	735
48	1546	1317	2066	446	4548	976	4136	409	4149	753
49	1558	1338	2082	450	4584	984	4168	417	4181	769
50	1564	1362	2090	454	4602	992	4184	425	4197	781

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номер изделия	Ресурс, ч									
51	1573	1380	2102	459	4629	1002	4208	437	4221	797
52	1582	1401	2114	464	4656	1012	4232	446	4245	815
53	1588	1419	2122	468	4674	1020	4248	454	4261	835
54	1600	1437	2138	473	4710	1030	4280	462	4293	853
55	1609	1455	2150	477	4737	1038	4304	470	4317	871
56	1624	1470	2170	482	4782	1048	4344	478	4357	891
57	1636	1488	2186	488	4818	1060	4376	485	4389	913
58	1648	1512	2202	493	4854	1070	4408	493	4421	927
59	1657	1527	2214	499	4881	1082	4432	501	4445	949
60	1669	1548	2230	504	4917	1092	4464	508	4477	967
61	1687	1572	2254	509	4971	1102	4512	514	4525	987
62	1702	1596	2274	514	5016	1112	4552	521	4565	1007
63	1714	1617	2290	519	5052	1122	4584	530	4597	1033
64	1735	1641	2318	525	5115	1134	4640	542	4653	1055
65	1750	1668	2338	531	5160	1146	4680	551	4693	1079
66	1762	1689	2354	537	5196	1158	4712	559	4725	1103
67	1771	1716	2366	542	5223	1168	4736	560	4749	1127
68	1783	1749	2382	548	5259	1180	4768	571	4781	1151
69	1798	1776	2402	555	5304	1194	4808	580	4821	1173
70	1810	1803	2418	561	5340	1206	4840	592	4853	1191
71	1822	1827	2434	568	5376	1220	4872	604	4885	1219
72	1831	1860	2446	575	5403	1234	4896	616	4909	1255
73	1840	1887	2458	582	5430	1248	4920	628	4933	1287
74	1849	1914	2470	589	5457	1262	4944	641	4957	1313
75	1858	1944	2482	595	5484	1274	4968	653	4981	1343
76	1867	1977	2494	601	5511	1286	4992	665	5005	1383
77	1891	2010	2526	607	5583	1298	5056	678	5069	1417
78	1912	2046	2554	613	5646	1310	5112	690	5125	1455
79	1927	2073	2574	619	5691	1322	5152	702	5165	1497
80	1948	2100	2602	627	5754	1338	5208	715	5221	1539
81	1966	2127	2626	635	5808	1354	5256	732	5269	1575
82	1987	2157	2654	644	5871	1372	5312	746	5325	1625
83	2002	2196	2674	654	5916	1392	5352	760	5365	1687
84	2023	2241	2702	663	5979	1410	5408	773	5421	1731
85	2041	2286	2726	672	6033	1428	5456	790	5469	1765
86	2062	2334	2754	681	6096	1446	5512	802	5525	1853
87	2077	2373	2774	690	6141	1464	5552	825	5565	1957
88	2095	2418	2798	700	6195	1484	5600	854	5613	
89	2110	2463	2818	711	6240	1506	5640	876	5653	
90	2131	2523	2846	727	6303	1538	5696	902	5709	
91	2149	2598	2870	742	6357	1568	5744	937	5757	
92	2179	2670	2910	758	6447	1600	5824	974	5837	
93	2200	2745	2938	773	6510	1630	5880	1000	5893	
94	2266	2886	3026	789	6708	1662	6056		6069	
95	2332	3057	3114	805	6906	1694	6232		6245	
96	2377		3174	830	7041	1744	6352		6365	
97	2422		3234	864	7176	1812	6472		6485	
98	2527		3374	899	7491	1882	6752		6765	
99	2665		3558	1000	7905	2084	7120		7133	
100	3007		4014		8931		8032		8045	

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Номер изделия	Ресурс, ч									
1	700	131	483	50	536	506	642	299	767	50
2	2680	163	1473	94	2736	605	1962	431	2747	58
3	3400	215	1833	140	3536	713	2442	575	3467	71
4	4210	263	2238	150	4436	776	2982	719	4277	83
5	4408	287	2337	161	4656	857	3114	887	4475	89
6	4840	311	2553	170	5136	938	3402	1055	4907	95
7	5200	355	2733	182	5536	1046	3642	1211	5267	106
8	5470	375	2868	191	5836	1154	3822	1379	5537	111
9	5650	407	2958	201	6036	1235	3942	1475	5717	119
10	5830	431	3048	212	6236	1352	4062	1559	5897	125
11	5920	455	3093	222	6336	1433	4122	1643	5987	131
12	6244	487	3255	230	6696	1487	4338	1727	6311	139
13	6460	507	3363	240	6936	1550	4482	1823	6527	144
14	6550	531	3408	248	7036	1631	4542	1907	6617	150
15	6604	555	3435	255	7096	1685	4578	1991	6671	156
16	6712	579	3489	261	7216	1739	4650	2075	6779	162
17	6802	599	3534	266	7316	1802	4710	2195	6869	167
18	6928	623	3597	271	7456	1856	4794	2291	6995	173
19	7018	651	3642	278	7556	1919	4854	2387	7085	180
20	7126	675	3696	284	7676	1991	4926	2471	7193	186
21	7180	699	3723	290	7736	2063	4962	2579	7247	192
22	7234	723	3750	295	7796	2117	4998	2663	7301	198
23	7324	751	3795	302	7896	2171	5058	2759	7391	205
24	7396	767	3831	309	7976	2216	5106	2831	7463	209
25	7468	795	3867	315	8056	2270	5154	2915	7535	216
26	7522	823	3894	321	8116	2342	5190	3011	7589	223
27	7576	851	3921	326	8176	2396	5226	3083	7643	230
28	7630	883	3948	332	8236	2459	5262	3167	7697	238
29	7684	923	3975	338	8296	2531	5298	3239	7751	248
30	7738	955	4002	343	8356	2594	5334	3299	7805	256
31	7810	983	4038	349	8436	2648	5382	3359	7877	263
32	7846	1011	4056	355	8476	2693	5406	3431	7913	270
33	7918	1039	4092	360	8556	2747	5454	3503	7985	277
34	7990	1059	4128	366	8636	2810	5502	3563	8057	282
35	8062	1087	4164	371	8716	2873	5550	3635	8129	289
36	8134	1115	4200	376	8796	2927	5598	3707	8201	296
37	8188	1151	4227	382	8856	2981	5634	3779	8255	305
38	8260	1183	4263	388	8936	3035	5682	3839	8327	313
39	8350	1211	4308	393	9036	3089	5742	3911	8417	320
40	8404	1243	4335	399	9096	3143	5778	3983	8471	328
41	8476	1271	4371	404	9176	3206	5826	4043	8543	335
42	8566	1303	4416	409	9276	3278	5886	4115	8633	343
43	8638	1339	4452	414	9356	3341	5934	4187	8705	352
44	8728	1371	4497	419	9456	3404	5994	4259	8795	360
45	8818	1407	4542	425	9556	3467	6054	4343	8885	369
46	8890	1439	4578	430	9636	3530	6102	4415	8957	377
47	8962	1487	4614	435	9716	3593	6150	4511	9029	389
48	9034	1523	4650	440	9796	3665	6198	4607	9101	398
49	9106	1555	4686	444	9876	3737	6246	4703	9173	406
50	9142	1579	4704	459	9916	3809	6270	4799	9209	412

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Номер изделия	Ресурс, ч									
51	9196	1611	4731	464	9976	3908	6306	4943	9263	420
52	9250	1647	4758	470	10036	3980	6342	5051	9317	429
53	9286	1687	4776	475	10076	4061	6366	5147	9353	439
54	9358	1723	4812	481	10156	4124	6414	5243	9425	448
55	9412	1759	4839	486	10216	4196	6450	5339	9479	457
56	9502	1799	4884	491	10316	4295	6510	5435	9569	467
57	9574	1843	4920	496	10396	4367	6558	5519	9641	478
58	9646	1871	4956	501	10476	4439	6606	5615	9713	485
59	9700	1915	4983	505	10536	4493	6642	5711	9767	496
60	9772	1951	5019	510	10616	4565	6690	5795	9839	505
61	9880	1991	5073	515	10736	4646	6762	5867	9947	515
62	9970	2031	5118	520	10836	4727	6822	5951	10037	525
63	10042	2083	5154	525	10916	4862	6870	6059	10109	538
64	10168	2127	5217	531	11056	4970	6954	6203	10235	549
65	10258	2175	5262	536	11156	5087	7014	6311	10325	561
66	10330	2223	5298	542	11236	5195	7062	6407	10397	573
67	10384	2271	5325	547	11296	5294	7098	6419	10451	585
68	10456	2319	5361	553	11376	5402	7146	6551	10523	597
69	10546	2363	5406	560	11476	5483	7206	6659	10613	608
70	10618	2399	5442	566	11556	5555	7254	6803	10685	617
71	10690	2455	5478	572	11636	5636	7302	6947	10757	631
72	10744	2527	5505	577	11696	5753	7338	7091	10811	649
73	10798	2591	5532	583	11756	5879	7374	7235	10865	665
74	10852	2643	5559	590	11816	5969	7410	7391	10919	678
75	10906	2703	5586	597	11876	6095	7446	7535	10973	693
76	10960	2783	5613	604	11936	6212	7482	7679	11027	713
77	11104	2851	5685	612	12096	6329	7578	7835	11171	730
78	11230	2927	5748	620	12236	6446	7662	7979	11297	749
79	11320	3011	5793	629	12336	6617	7722	8123	11387	770
80	11446	3095	5856	640	12476	6806	7806	8279	11513	791
81	11554	3167	5910	651	12596	6959	7878	8483	11621	809
82	11680	3267	5973	663	12736	7148	7962	8651	11747	834
83	11770	3391	6018	672	12836	7283	8022	8819	11837	865
84	11896	3479	6081	684	12976	7508	8106	8975	11963	887
85	12004	3547	6135	697	13096	7733	8178	9179	12071	904
86	12130	3723	6198	700	13236	7976	8262	9323	12197	948
87	12220	3931	6243	713	13336	8165	8322	9599	12287	1000
88	12328		6297	725	13456	8444	8394	9947	12395	
89	12418		6342	742	13556	8759	8454	10211	12485	
90	12544		6405	758	13696	9056	8538	10523	12611	
91	12652		6459	775	13816		8610	10943	12719	
92	12832		6549	790	14016		8730	11387	12899	
93	12958		6612	806	14156		8814	11699	13025	
94	13354		6810	830	14596		9078		13421	
95	13750		7008	864	15036		9342		13817	
96	14020		7143	902	15336		9522		14087	
97	14290		7278	1000	15636		9702		14357	
98	14920		7593		16336		10122		14987	
99	15748		8007		17256		10674		15815	
100	17800		9033		19536		12042		17867	

Вариант	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Номер изделия	Ресурс, ч										
1	951	450	855	460	918	50	1032	296	1055	50	364
2	2931	552	2615	684	2678	67	5432	428	5455	78	684
3	3651	654	3255	916	3318	84	7032	566	7055	107	744
4	4461	744	3975	1132	4038	99	8832	596	8855	134	796
5	4659	858	4151	1220	4214	118	9272	629	9295	145	844
6	5091	960	4535	1292	4598	135	10232	656	10255	154	896
7	5451	1020	4855	1380	4918	145	11032	692	11055	165	956
8	5721	1074	5095	1476	5158	154	11632	719	11655	177	1004
9	5901	1134	5255	1548	5318	164	12032	749	12055	186	1048
10	6081	1206	5415	1620	5478	176	12432	782	12455	195	1088
11	6171	1248	5495	1692	5558	183	12632	812	12655	204	1124
12	6495	1296	5783	1780	5846	191	13352	836	13375	215	1148
13	6711	1350	5975	1844	6038	200	13832	866	13855	223	1172
14	6801	1398	6055	1900	6118	208	14032	890	14055	230	1200
15	6855	1446	6103	1972	6166	216	14152	911	14175	239	1224
16	6963	1488	6199	2020	6262	223	14392	929	14415	245	1244
17	7053	1530	6279	2076	6342	230	14592	944	14615	252	1268
18	7179	1572	6391	2124	6454	237	14872	959	14895	258	1292
19	7269	1608	6471	2164	6534	243	15072	980	15095	263	1316
20	7377	1650	6567	2212	6630	250	15312	998	15335	269	1340
21	7431	1686	6615	2260	6678	256	15432	1016	15455	275	1364
22	7485	1716	6663	2316	6726	261	15552	1031	15575	282	1388
23	7575	1764	6743	2364	6806	269	15752	1052	15775	288	1412
24	7647	1800	6807	2420	6870	275	15912	1073	15935	295	1436
25	7719	1842	6871	2468	6934	282	16072	1091	16095	301	1460
26	7773	1884	6919	2516	6982	289	16192	1109	16215	307	1484
27	7827	1914	6967	2572	7030	294	16312	1124	16335	314	1504
28	7881	1950	7015	2620	7078	300	16432	1142	16455	320	1528
29	7935	1986	7063	2676	7126	306	16552	1160	16575	327	1548
30	7989	2028	7111	2724	7174	313	16672	1175	16695	333	1568
31	8061	2070	7175	2764	7238	320	16832	1193	16855	338	1592
32	8097	2112	7207	2812	7270	327	16912	1211	16935	344	1612
33	8169	2142	7271	2860	7334	332	17072	1226	17095	350	1636
34	8241	2178	7335	2900	7398	338	17232	1244	17255	355	1660
35	8313	2214	7399	2948	7462	344	17392	1259	17415	361	1680
36	8385	2250	7463	2988	7526	350	17552	1274	17575	366	1700
37	8439	2286	7511	3036	7574	356	17672	1292	17695	372	1720
38	8511	2322	7575	3076	7638	362	17832	1310	17855	377	1744
39	8601	2364	7655	3116	7718	369	18032	1325	18055	382	1764
40	8655	2400	7703	3172	7766	375	18152	1343	18175	389	1784
41	8727	2430	7767	3220	7830	380	18312	1358	18335	395	1788
42	8817	2454	7847	3268	7910	384	18512	1373	18535	401	1808
43	8889	2484	7911	3316	7974	389	18672	1388	18695	407	1832
44	8979	2520	7991	3364	8054	395	18872	1403	18895	413	1856
45	9069	2556	8071	3412	8134	401	19072	1421	19095	419	1880
46	9141	2592	8135	3452	8198	407	19232	1436	19255	424	1904
47	9213	2628	8199	3500	8262	413	19392	1451	19415	430	1924
48	9285	2670	8263	3548	8326	420	19552	1466	19575	436	1948
49	9357	2712	8327	3588	8390	427	19712	1478	19735	441	1964
50	9393	2760	8359	3628	8422	435	19792	1523	19815	446	1980

Вариант	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Номер изделия	Ресурс, ч										
51	9447	2796	8407	3676	8470	441	19912	1538	19935	452	2000
52	9501	2838	8455	3716	8518	448	20032	1556	20055	457	2020
53	9537	2874	8487	3756	8550	454	20112	1571	20135	462	2036
54	9609	2910	8551	3804	8614	460	20272	1589	20295	468	2056
55	9663	2946	8599	3868	8662	466	20392	1604	20415	476	2072
56	9753	2976	8679	3908	8742	471	20592	1619	20615	481	2092
57	9825	3012	8743	3956	8806	477	20752	1634	20775	487	2116
58	9897	3060	8807	3996	8870	485	20912	1649	20935	492	2136
59	9951	3090	8855	4028	8918	490	21032	1661	21055	496	2160
60	10023	3132	8919	4076	8982	497	21192	1676	21215	502	2180
61	10131	3180	9015	4132	9078	505	21432	1691	21455	509	2200
62	10221	3228	9095	4180	9158	513	21632	1706	21655	515	2220
63	10293	3270	9159	4236	9222	520	21792	1721	21815	522	2240
64	10419	3318	9271	4284	9334	528	22072	1739	22095	528	2264
65	10509	3372	9351	4348	9414	537	22272	1754	22295	536	2288
66	10581	3414	9415	4404	9478	544	22432	1772	22455	543	2312
67	10635	3468	9463	4452	9526	553	22552	1787	22575	549	2332
68	10707	3534	9527	4508	9590	564	22712	1805	22735	556	2356
69	10797	3588	9607	4564	9670	573	22912	1826	22935	563	2384
70	10869	3642	9671	4620	9734	582	23072	1844	23095	570	2408
71	10941	3690	9735	4676	9798	590	23232	1862	23255	577	2436
72	10995	3756	9783	4732	9846	601	23352	1877	23375	584	2464
73	11049	3810	9831	4788	9894	610	23472	1895	23495	591	2492
74	11103	3864	9879	4868	9942	619	23592	1916	23615	601	2520
75	11157	3924	9927	4940	9990	629	23712	1937	23735	610	2544
76	11211	3990	9975	5020	10038	640	23832	1958	23855	620	2568
77	11355	4056	10103	5108	10166	651	24152	1982	24175	631	2592
78	11481	4128	10215	5180	10278	663	24432	2006	24455	640	2616
79	11571	4182	10295	5252	10358	672	24632	2033	24655	649	2640
80	11697	4236	10407	5340	10470	681	24912	2066	24935	660	2672
81	11805	4290	10503	5436	10566	690	25152	2099	25175	672	2704
82	11931	4350	10615	5508	10678	700	25432	2135	25455	681	2740
83	12021	4428	10695	5596	10758	713	25632	2162	25655	692	2780
84	12147	4518	10807	5676	10870	728	25912	2198	25935	702	2816
85	12255	4608	10903	5764	10966	743	26152	2237	26175	713	2852
86	12381	4704	11015	5884	11078	759	26432	2246	26455	728	2888
87	12471	4782	11095	6004	11158	772	26632	2285	26655	743	2924
88	12579	4872	11191	6132	11254	787	26872	2321	26895	759	2964
89	12669	4962	11271	6252	11334	802	27072	2372	27095	774	3008
90	12795	5082	11383	6380	11446	822	27352	2420	27375	790	3072
91	12903	5232	11479	6500	11542	847	27592	2471	27615	805	3132
92	13083	5376	11639	6700	11702	871	27992	2516	28015	830	3196
93	13209	5526	11751	6876	11814	896	28272	2564	28295	852	3256
94	13605	5808	12103	7052	12166	943	29152	2636	29175	874	3320
95	14001	6150	12455	7252	12518	1000	30032	2738	30055	899	3384
96	14271		12695	7660	12758		30632	2852	30655	950	3484
97	14541		12935	8060	12998		31232	3146	31255	1000	3620
98	15171		13495		13558		32632		32655		3760
99	15999		14231		14294		34472		34495		4164
100	18051		16055		16118		39032		39055		

ПРИЛОЖЕНИЯ

Значения коэффициента Стьюдента $t_{\alpha,n}$

n	α										
	50%	60%	70%	80%	90%	95%	98%	99%	99.5%	99.8%	99.9%
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,71	31,82	63,66	127,3	318,3	636,6
2	0,816	1,080	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	14,09	22,33	31,60
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	7,453	10,21	12,92
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	5,598	7,173	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	4,773	5,893	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	4,317	5,208	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,029	4,785	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	3,833	4,501	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	3,690	4,297	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	3,581	4,144	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	3,497	4,025	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,428	3,930	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,372	3,852	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,326	3,787	4,140
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,286	3,733	4,073
16	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,252	3,686	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,222	3,646	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,197	3,610	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,174	3,579	3,883
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,153	3,552	3,850
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,135	3,527	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,119	3,505	3,792
23	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,104	3,485	3,767
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,091	3,467	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,078	3,450	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,067	3,435	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,057	3,421	3,690
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,047	3,408	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,038	3,396	3,659
30	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,030	3,385	3,646
40	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	2,971	3,307	3,551
50	0,679	0,849	1,047	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678	2,937	3,261	3,496
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	2,915	3,232	3,460
80	0,678	0,846	1,043	1,292	1,664	1,990	2,374	2,639	2,887	3,195	3,416
100	0,677	0,845	1,042	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626	2,871	3,174	3,390
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	2,860	3,160	3,373
∞	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	2,807	3,090	3,291

Категории и характеристики тяжести последствий отказов

Категория тяжести послед- ствий отказов	Характеристика тяжести последствий отказов
IV	Отказ, который быстро и с высокой вероятностью может повлечь за собой значительный ущерб для самого объекта и/или окружающей среды, гибель или тяжелые травмы людей, срыв выполнения поставленной задачи
III	Отказ, который быстро и с высокой вероятностью может повлечь за собой значительный ущерб для самого объекта и/или для окружающей среды, срыв выполняемой задачи, но создает пренебрежимо малую угрозу жизни и здоровью людей
II	Отказ, который может повлечь задержку выполнения задачи, снижение готовности и эффективности объекта, но не представляет опасности для окружающей среды, самого объекта и здоровья людей
I	Отказ, который может повлечь снижение качества функционирования объекта, но не представляет опасности для окружающей среды, самого объекта и здоровья людей

Значения функции нормального распределения (интеграл вероятностей)

$$Q_0(z_i) = \int_{-\infty}^z \varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

z	Q ₀	z	Q ₀	z	Q ₀	z	Q ₀	z	Q ₀
0	0,5000	-0,44	0,3300	-0,88	0,1894	-1,32	0,0934	-1,76	0,0392
-0,01	4960	-0,45	3264	-0,89	1867	-1,33	0918	-1,77	0384
-0,02	4920	-0,46	3228	-0,90	1841	-1,34	0901	-1,78	0375
-0,03	4880	-0,47	3192	-0,91	1814	-1,35	0885	-1,79	0367
-0,04	4840	-0,48	3156	-0,92	1788	-1,36	0869	-1,80	0359
-0,05	4801	-0,49	3121	-0,93	1762	-1,37	0853	-1,81	0351
-0,06	4761	-0,50	3085	-0,94	1736	-1,38	0838	-1,82	0344
-0,07	4721	-0,51	3050	-0,95	1711	-1,39	0823	-1,83	0336
-0,08	4681	-0,52	3015	-0,96	1685	-1,41	0808	-1,84	0329
-0,09	4641	-0,53	2981	-0,97	1660	-1,41	0793	-1,85	0322
-0,10	4602	-0,54	2946	-0,98	1635	-1,42	0778	-1,86	0314
-0,11	4562	-0,55	2912	-0,99	1611	-1,43	0764	-1,87	0307
-0,12	4522	-0,56	2877	-1,00	1587	-1,44	0749	-1,88	0301
-0,13	4483	-0,57	2843	-1,01	1563	-1,45	0735	-1,89	0294
-0,14	4443	-0,58	2810	-1,02	1539	-1,46	0721	-1,90	0288
-0,15	4404	-0,59	2776	-1,03	1515	-1,47	0708	-1,91	0281
-0,16	4364	-0,60	2743	-1,04	1492	-1,48	0694	-1,92	0274
-0,17	4325	-0,61	2709	-1,05	1469	-1,49	0681	-1,93	0268
-0,18	4286	-0,62	2676	-1,06	1446	-1,50	0668	-1,94	0262
-0,19	4247	-0,63	2643	-1,07	1423	-1,51	0655	-1,95	0256
-0,20	4207	-0,64	2611	-1,08	1401	-1,52	0643	-1,96	0250
-0,21	4168	-0,65	2578	-1,09	1379	-1,53	0630	-1,97	0244
-0,22	4129	-0,66	2546	-1,10	1357	-1,54	0618	-1,98	0239
-0,23	4090	-0,67	2514	-1,11	1335	-1,55	0606	-1,99	0233
-0,24	4052	-0,68	2483	-1,12	1314	-1,56	0594	-2,00	0228
-0,25	4013	-0,69	2451	-1,13	1292	-1,57	0582	-2,10	0179
-0,26	3974	-0,70	2420	-1,14	1271	-1,58	0571	-2,20	0139
-0,27	3936	-0,71	2389	-1,15	1251	-1,59	0559	-2,30	0107
-0,28	3897	-0,72	2358	-1,16	1230	-1,60	0548	-2,40	0082
-0,29	3859	-0,73	2327	-1,17	1210	-1,61	0537	-2,50	0062
-0,30	3821	-0,74	2297	-1,18	1190	-1,62	0526	-2,60	0047
-0,31	3783	-0,75	2266	-1,19	1170	-1,63	0516	-2,70	0035
-0,32	3745	-0,76	2236	-1,20	1151	-1,64	0505	-2,80	0026
-0,33	3707	-0,77	2206	-1,21	1131	-1,65	0495	-2,90	0019
-0,34	3669	-0,78	2177	-1,22	1112	-1,66	0485	-3,00	0014
-0,35	3632	-0,79	2148	-1,23	1093	-1,67	0475	-3,10	0010
-0,36	3594	-0,80	2119	-1,24	1075	-1,68	0465	-3,20	0007
-0,37	3557	-0,81	2090	-1,25	1056	-1,69	0455	-3,30	0005
-0,38	3520	-0,82	2061	-1,26	1038	-1,70	0446	-3,40	0003
-0,39	3483	-0,83	2033	-1,27	1020	-1,71	0436	-3,50	0002
-0,40	3446	-0,84	2005	-1,28	1003	-1,72	0427	-3,60	0002
-0,41	3409	-0,85	1977	-1,29	0985	-1,73	0418	-3,70	0001
-0,42	3372	-0,86	1949	-1,30	0968	-1,74	0409	-3,80	0001
-0,43	3336	-0,87	1922	-1,31	0951	-1,75	0401	-3,90	0000

z	Q ₀	z	Q ₀	z	Q ₀	z	Q ₀	z	Q ₀
0,00	0,5000	0,44	0,6700	0,88	0,8106	1,32	0,9066	1,76	0,9608
0,01	5040	0,45	6736	0,89	8133	1,33	9082	1,77	9616
0,02	5080	0,46	6772	0,90	8159	1,34	9099	1,78	9625
0,03	5120	0,47	6808	0,91	8212	1,35	9115	1,79	9633
0,04	5160	0,48	6844	0,92	8238	1,36	9131	1,80	9641
0,05	5199	0,49	6879	0,93	8264	1,37	9147	1,81	9649
0,06	5239	0,50	6915	0,94	8289	1,38	9162	1,82	9656
0,07	5279	0,51	6950	0,95	8315	1,39	9177	1,83	9664
0,08	5319	0,52	6985	0,96	8340	1,40	9192	1,84	9671
0,09	5359	0,53	7019	0,97	8365	1,41	9207	1,85	9678
0,10	5398	0,54	7054	0,98	8389	1,42	9222	1,86	9686
0,11	5438	0,55	7088	0,99	8413	1,43	9236	1,87	9693
0,12	5478	0,56	7123	1,00	8437	1,44	9251	1,88	9699
0,13	5517	0,57	7157	1,01	8461	1,45	9265	1,89	9706
0,14	5557	0,58	7190	1,02	8485	1,46	9279	1,90	9713
0,15	5596	0,59	7224	1,03	8508	1,47	9292	1,91	9719
0,16	5636	0,60	7257	1,04	8531	1,48	9306	1,92	9726
0,17	5675	0,61	7291	1,05	8554	1,49	9319	1,93	9732
0,18	5714	0,62	7324	1,06	8577	1,50	9332	1,94	9738
0,19	5753	0,63	7357	1,07	8599	1,51	9345	1,95	9744
0,20	5793	0,64	7389	1,08	8621	1,52	9357	1,96	9750
0,21	5832	0,65	7422	1,09	8186	1,53	9370	1,97	9756
0,22	5871	0,66	7454	1,10	8643	1,54	9382	1,98	9761
0,23	5910	0,67	7486	1,11	8665	1,55	9394	1,99	9767
0,24	5948	0,68	7517	1,12	8686	1,56	9406	2,00	9772
0,25	5987	0,69	7549	1,13	8708	1,57	9418	2,10	9821
0,26	6026	0,70	7580	1,14	8729	1,58	9429	2,20	9861
0,27	6064	0,71	7611	1,15	8749	1,59	9441	2,30	9893
0,28	6103	0,72	7642	1,16	8770	1,60	9452	2,40	9919
0,29	6141	0,73	7673	1,17	8790	1,61	9463	2,50	9938
0,30	6179	0,74	7703	1,18	8810	1,62	9474	2,60	9954
0,31	6217	0,75	7734	1,19	8830	1,63	9484	2,70	9965
0,32	6255	0,76	7764	1,20	8849	1,64	9495	2,80	9974
0,33	6293	0,77	7794	1,21	8869	1,65	9505	2,90	9981
0,34	6331	0,78	7823	1,22	8888	1,66	9515	3,00	9986
0,35	6368	0,79	7852	1,23	8907	1,67	9525	3,10	9990
0,36	6406	0,80	7881	1,24	8925	1,68	9535	3,20	9993
0,37	6443	0,81	7910	1,25	8944	1,69	9545	3,30	9995
0,38	6480	0,82	7939	1,26	8962	1,70	9554	3,40	9997
0,39	6517	0,83	7967	1,27	8980	1,71	9564	3,50	9998
0,40	6554	0,84	7995	1,28	8997	1,72	9573	3,60	9998
0,41	6591	0,85	8023	1,29	9015	1,73	9582	3,70	9999
0,42	6628	0,86	8051	1,30	9032	1,74	9591	3,80	9999
0,43	6664	0,87	8078	1,31	9049	1,75	9599	3,90	1,0000

**Дифференциальная функция (функция плотности вероятности)
закона нормального распределения**

$$\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$$

<i>z</i>	φ	<i>z</i>	φ	<i>z</i>	φ	<i>z</i>	φ	<i>z</i>	φ
0	0,3989	0,44	0,3621	0,88	0,2709	1,32	0,1669	1,76	0,08478
0,01	3989	0,45	3605	0,89	2685	1,33	1647	1,77	08329
0,02	3988	0,46	3589	0,90	2661	1,34	1626	1,78	08183
0,03	3988	0,47	3572	0,91	2637	1,35	1604	1,79	08038
0,04	3986	0,48	3555	0,92	2613	1,36	1582	1,80	07895
0,05	3984	0,49	3538	0,93	2589	1,37	1561	1,81	07753
0,06	3982	0,50	3521	0,94	2565	1,38	1539	1,82	07614
0,07	3980	0,51	3503	0,95	2541	1,39	1518	1,83	07477
0,08	3977	0,52	3485	0,96	2516	1,40	1497	1,84	07341
0,09	3973	0,53	3467	0,97	2492	1,41	1476	1,85	07206
0,10	3970	0,54	3448	0,98	2468	1,42	1456	1,86	07074
0,11	3965	0,55	3429	0,99	2444	1,43	1435	1,87	06943
0,12	3961	0,56	3410	1,00	2420	1,44	1415	1,88	06814
0,13	3956	0,57	3391	1,01	2396	1,45	1394	1,89	06687
0,14	3951	0,58	3372	1,02	2371	1,46	1374	1,90	06562
0,15	3945	0,59	3352	1,03	2347	1,47	1354	1,91	06438
0,16	3939	0,60	3332	1,04	2323	1,48	1334	1,92	06316
0,17	3932	0,61	3312	1,05	2299	1,49	1315	1,93	06195
0,18	3925	0,62	3292	1,06	2275	1,50	1295	1,94	06077
0,19	3918	0,63	3271	1,07	2251	1,51	1276	1,95	05959
0,20	3910	0,64	3251	1,08	2227	1,52	1257	1,96	05844
0,21	3902	0,65	3230	1,09	2203	1,53	1238	1,97	05730
0,22	3894	0,66	3209	1,10	2179	1,54	1219	1,98	05618
0,23	3885	0,67	3187	1,11	2155	1,55	1200	1,99	05508
0,24	3876	0,68	3166	1,12	2131	1,56	1182	2,00	05399
0,25	3867	0,69	3144	1,13	2107	1,57	1163	2,01	05292
0,26	3857	0,70	3123	1,14	2083	1,58	1145	2,02	05186
0,27	3847	0,71	3101	1,15	2059	1,59	1127	2,03	05082
0,28	3836	0,72	3079	1,16	2036	1,60	1100	2,04	04980
0,29	3825	0,73	3056	1,17	2021	1,61	1092	2,05	04879
0,30	3814	0,74	3034	1,18	1989	1,62	1074	2,06	04780
0,31	3802	0,75	3011	1,19	1965	1,63	1057	2,07	04682
0,32	3790	0,76	2989	1,20	1942	1,64	1040	2,08	04586
0,33	3778	0,77	2966	1,21	1919	1,65	1023	2,09	04491
0,34	3765	0,78	2943	1,22	1895	1,66	1006	2,10	04398
0,35	3752	0,79	2920	1,23	1872	1,67	0989	2,11	04306
0,36	3739	0,80	2897	1,24	1849	1,68	0973	2,12	04217
0,37	3725	0,81	2874	1,25	1826	1,69	0957	2,13	04128
0,38	3712	0,82	2850	1,26	1804	1,70	09405	2,14	04041
0,39	3697	0,83	2827	1,27	1781	1,71	09246	2,15	03955
0,40	3683	0,84	2803	1,28	1758	1,72	09089	2,16	03871
0,41	3668	0,85	2780	1,29	1736	1,73	08933	2,17	03788
0,42	3653	0,86	2756	1,30	1714	1,74	08780	2,18	03706
0,43	3637	0,87	2732	1,31	1691	1,75	08628	2,19	03626

z	φ	z	φ	z	φ	z	φ	z	φ
2,20	0,03547	2,42	0,02134	2,64	0,01223	2,86	0,006679	3,8	0,003475
2,21	03470	2,43	02083	2,65	01191	2,87	006491	3,9	003370
2,22	03494	2,44	02033	2,66	01160	2,88	006307	4,0	0001448
2,23	03319	2,45	01984	2,67	01130	2,89	006127	4,1	0000897
2,24	03246	2,46	01936	2,68	01100	2,90	005952	4,2	0000589
2,25	03174	2,47	01888	2,69	01071	2,91	005782	4,3	0000472
2,26	03103	2,48	01842	2,70	01042	2,92	005616	4,4	0000249
2,27	03034	2,49	01797	2,71	01014	2,93	005454	4,5	0000160
2,28	02965	2,50	01753	2,72	00987	2,94	005296	4,6	0000101
2,29	02898	2,51	01709	2,73	00961	2,95	005143	4,7	0000064
2,30	02833	2,52	01667	2,74	00935	2,96	004993	4,8	0000040
2,31	02768	2,53	01625	2,75	00909	2,97	004847	4,9	0000024
2,32	02705	2,54	01585	2,76	00885	2,98	004705	5,0	0001338
2,33	02643	2,55	01545	2,77	00861	2,99	004567	5,1	0000893
2,34	02582	2,56	01506	2,78	00837	3,0	004432	5,2	0000536
2,35	02522	2,57	01468	2,79	00814	3,1	004301	5,3	0000385
2,36	02463	2,58	01431	2,80	007915	3,2	004173	5,4	0000186
2,37	02406	2,59	01394	2,81	007696	3,3	004049	5,5	0000108
2,38	02349	2,60	01358	2,82	007438	3,4	003928	5,6	0000062
2,39	02294	2,61	01324	2,83	007274	3,5	003810	5,7	0000035
2,40	02239	2,62	01289	2,84	007071	3,6	003695	5,8	0000020
2,41	02186	2,63	01256	2,85	006873	3,7	003584	5,9	0000011

Коэффициент Ирвина λ_m

Повторность информации N	2	3	10	20	30	50	100	400
λ_m при $\beta = 0,95$	2,8	2,2	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9
λ_m при $\beta = 0,99$	3,7	2,9	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3

β – доверительная вероятность

Параметры и коэффициенты распределения Вейбулла

ν	b	K_B	C_B	ν	b	K_B	C_B	ν	b	K_B	C_B
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
0,94	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

**Дифференциальная функция (функция плотности вероятности)
закона распределения Вейбулла**

$\frac{t_{ci} - C}{a}$	b						
	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	3,0
0,1	0,91	0,71	0,54	0,39	0,28	0,20	0,03
0,2	0,82	0,75	0,66	0,57	0,47	0,38	0,12
0,3	0,74	0,75	0,72	0,67	0,61	0,55	0,26
0,4	0,67	0,72	0,74	0,73	0,71	0,68	0,45
0,5	0,61	0,68	0,73	0,76	0,78	0,78	0,66
0,6	0,55	0,63	0,70	0,76	0,80	0,84	0,87
0,7	0,50	0,58	0,66	0,73	0,80	0,86	1,04
0,8	0,45	0,53	0,62	0,70	0,77	0,84	1,15
0,9	0,41	0,49	0,57	0,65	0,72	0,80	1,17
1,0	0,37	0,44	0,52	0,59	0,66	0,74	1,10
1,1	0,33	0,40	0,46	0,53	0,59	0,66	0,96
1,2	0,30	0,36	0,41	0,47	0,52	0,57	0,77
1,3	0,27	0,32	0,37	0,41	0,45	0,48	0,56
1,4	0,25	0,29	0,32	0,35	0,38	0,39	0,38
1,5	0,22	0,26	0,28	0,30	0,31	0,32	0,23
1,6	0,20	0,23	0,25	0,25	0,26	0,25	0,13
1,7	0,18	0,20	0,21	0,21	0,21	0,19	0,06
1,8	0,17	0,18	0,18	0,16	0,16	0,14	0,03
1,9	0,15	0,16	0,16	0,14	0,13	0,10	0,01
2,0	0,14	0,14	0,13	0,12	0,10	0,07	0,00
2,1	0,12	0,12	0,15	0,09	0,07	0,05	0,00
2,2	0,11	0,11	0,09	0,08	0,05	0,04	-
2,3	0,10	0,09	0,08	0,06	0,04	0,02	-
2,4	0,09	0,08	0,07	0,05	0,03	0,02	-
2,5	0,08	0,07	0,06	0,04	0,02	0,01	-

**Интегральная функция
закона распределения Вейбулла**

$\frac{t_{ki} - C}{a}$	b										
a	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	0,53	0,63	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
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	0,80	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	0,89	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

$\frac{t_{ki}-C}{a}$	b										
a	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	
$\frac{t_{ki}-C}{a}$	b										
a	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	0,97	0,98
1,5	0,97	0,97	0,99	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	1,00	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

Квантили закона распределения Вейбулла H_k^B

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

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

Критические значения $\chi^2_\alpha(r)$ критерия Пирсона

Число степеней свободы	Значение $\chi^2_\alpha(r)$ при α						
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	0,95	0,99
1	0,016	0,148	0,455	1,07	2,71	3,84	6,63
2	0,211	0,713	1,39	2,41	4,61	5,99	9,21
3	0,594	1,42	2,37	3,67	6,25	7,81	11,3
4	1,06	2,19	3,36	4,88	7,78	9,49	13,3
5	1,61	3,00	4,35	6,06	9,24	11,1	15,1
6	2,20	3,83	5,35	7,23	10,6	12,6	16,8
7	2,83	4,67	5,35	8,38	12,0	14,1	18,5
8	3,49	5,53	7,34	9,52	13,4	15,5	20,1
9	4,17	6,39	8,34	10,7	14,7	16,9	21,7
10	4,87	7,27	9,34	11,8	16,0	18,3	23,2
11	5,58	8,15	10,3	12,9	17,3	19,7	24,7
12	6,30	9,03	11,3	14,0	18,5	21,0	26,2
13	7,04	9,43	12,3	15,1	19,8	22,4	27,7
14	7,79	10,08	13,3	16,2	21,1	23,7	29,1
15	8,55	11,7	14,3	17,3	22,3	25,0	30,6
16	9,31	12,6	15,3	18,4	23,5	26,3	32,0
17	10,10	13,5	16,3	19,5	24,	27,6	33,4
18	10,9	14,4	17,3	20,6	26,0	28,9	34,8
19	11,7	15,4	18,3	21,7	27,2	30,1	36,2
20	12,4	16,3	19,3	22,8	28,4	31,4	37,6
21	13,2	17,2	20,3	23,9	29,6	32,7	38,9
22	14,0	18,1	21,3	24,9	30,8	33,9	40,3
23	14,8	19,0	22,3	26,0	32,0	35,2	41,7
24	15,7	19,9	23,3	27,1	33,2	36,4	43,0
25	16,5	20,9	24,3	28,2	34,4	37,7	44,3
26	17,3	21,8	25,3	29,2	35,6	38,9	45,6
27	18,1	22,7	26,3	30,3	36,7	40,1	47,0
28	18,9	23,6	27,3	31,4	37,9	41,3	48,3
29	19,8	24,6	28,3	32,5	39,1	42,6	49,6
30	20,6	25,5	29,3	33,5	40,3	43,8	50,9

**Коэффициенты t_β , r_1 и r_3 для
двусторонних доверительных границ**

β	$\beta = 0,80$			$\beta = 0,90$			$\beta = 0,95$		
N	t_β	r_1	r_3	t_β	r_1	r_3	t_β	r_1	r_3
3	1,89	2,73	0,57	2,92	3,66	0,48	4,30	4,85	0,42
4	1,64	2,29	0,60	2,35	2,93	0,52	3,18	3,67	0,46
5	1,53	2,05	0,62	2,13	2,54	0,55	2,78	3,07	0,49
6	1,48	1,90	0,65	2,02	2,29	0,57	2,78	2,72	0,51
7	1,44	1,80	0,67	1,94	2,13	0,59	2,45	2,48	0,54
8	1,42	1,72	0,68	1,90	2,01	0,61	2,37	2,32	0,56
9	1,40	1,66	0,69	1,86	1,91	0,63	2,31	2,18	0,57
10	1,38	1,61	0,70	1,83	1,83	0,64	2,26	2,09	0,59
11	1,37	1,57	0,70	1,81	1,78	0,64	2,23	2,00	0,60
12	1,36	1,53	0,71	1,80	1,73	0,65	2,20	1,94	0,61
13	1,36	1,50	0,73	1,78	1,69	0,66	2,18	1,88	0,62
14	1,35	1,48	0,74	1,77	1,65	0,67	2,16	1,83	0,63
15	1,35	1,46	0,74	1,76	1,62	0,68	2,15	1,79	0,64
20	1,33	1,37	0,77	1,73	1,51	0,72	2,09	1,64	0,67
25	1,32	1,33	0,79	1,71	1,44	0,74	2,06	1,55	0,70
30	1,31	1,29	0,80	1,70	1,39	0,76	2,04	1,48	0,72
40	1,30	1,24	0,83	1,68	1,32	0,78	2,02	1,40	0,75
50	1,30	1,21	0,84	1,68	1,28	0,80	2,01	1,35	0,77
60	1,30	1,19	0,86	1,67	1,25	0,82	2,00	1,31	0,79
80	1,29	1,16	0,87	1,66	1,21	0,84	1,99	1,27	0,81
100	1,29	1,14	0,88	1,66	1,19	0,86	1,98	1,23	0,83

Таблица значений $P(\lambda_k)$ критерия согласия Колмогорова

λ_k	$P(\lambda_k)$	λ_k	$P(\lambda_k)$
0,00	1,000	0,70	0,711
0,10	1,000	0,75	0,627
0,20	1,000	0,80	0,544
0,30	1,000	0,85	0,465
0,35	0,999	0,90	0,393
0,40	0,997	0,95	0,328
0,45	0,987	1,00	0,270
0,50	0,964	1,10	0,178
0,55	0,923	1,20	0,112
0,60	0,864	1,30	0,068
0,65	0,795	1,40	0,039

Критические значения Колмогорова-Смирнова

Степень свободы r	Проверка единичной выборки			Проверка для двух выборок	
	$D_{0,1}$	$D_{0,05}$	$D_{0,01}$	$D_{0,05}$	$D_{0,01}$
1	0,950	0,975	0,995	-	-
2	0,776	0,842	0,929	-	-
3	0,642	0,708	0,828	-	-
4	0,564	0,624	0,733	1,000	1,000
5	0,510	0,565	0,669	1,000	1,000
6	0,470	0,521	0,618	0,833	1,000
7	0,438	0,486	0,577	0,857	0,857
8	0,411	0,457	0,543	0,750	0,875
9	0,388	0,432	0,514	0,668	0,778
10	0,368	0,410	0,490	0,700	0,800
11	0,352	0,391	0,468	0,636	0,727
12	0,338	0,375	0,450	0,583	0,667
13	0,325	0,361	0,433	0,538	0,692
14	0,314	0,349	0,418	0,571	0,643
15	0,304	0,338	0,404	0,533	0,600
16	0,295	0,328	0,392	0,500	0,625
17	0,286	0,318	0,381	0,471	0,588
18	0,278	0,309	0,371	0,500	0,556
19	0,272	0,301	0,363	0,474	0,526
20	0,264	0,294	0,356	0,450	0,550
25	0,240	0,270	0,320	0,400	0,480
30	0,220	0,240	0,290	0,370	0,430
35	0,210	0,230	0,270	0,340	0,390
более 35	$\frac{1,22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{N}}$	$1,36 \cdot \sqrt{\frac{N_1+N_2}{N_1 \cdot N_2}}$	$1,63 \cdot \sqrt{\frac{N_1+N_2}{N_1 \cdot N_2}}$

Квантили закона нормального распределения u_q

$P(x)$	Сотые доли									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,5	0,000	0,025	0,050	0,075	0,100	0,126	0,151	0,176	0,202	0,227
0,6	0,253	0,279	0,305	0,332	0,358	0,385	0,412	0,440	0,468	0,496
0,7	0,524	0,553	0,583	0,613	0,643	0,675	0,706	0,739	0,772	0,806
0,8	0,842	0,878	0,915	0,954	0,994	1,036	1,080	1,126	1,175	1,227
0,9	1,282	1,341	1,405	1,476	1,555	1,645	1,751	1,881	2,054	2,326

**Количество машин или их элементов (повторность информации) N при односторонней
доверительной вероятности β_0**

N	Закон нормального распределения $\frac{\delta}{v}$			Закон распределения Вейбулла $(\delta + 1)^b$		
	$\beta_0 = 0,80$	$\beta_0 = 0,90$	$\beta_0 = 0,95$	$\beta_0 = 0,80$	$\beta_0 = 0,90$	$\beta_0 = 0,95$
4	0,49	0,82	1,17	1,74	2,29	2,93
6	0,38	0,60	0,82	1,54	1,90	2,29
8	0,32	0,50	0,67	1,43	1,72	2,01
10	0,28	0,44	0,58	1,37	1,61	1,82
12	0,25	0,39	0,52	1,33	1,53	1,73
15	0,27	0,36	0,47	1,29	1,48	1,65
16	0,32	0,33	0,44	1,27	1,43	1,59
18	0,20	0,31	0,41	1,25	1,40	1,55
20	0,19	0,30	0,39	1,23	1,37	1,51
22	0,18	0,28	0,37	1,22	1,35	1,48
24	0,17	0,27	0,35	1,21	1,33	1,45
26	0,17	0,26	0,33	1,20	1,32	1,43
28	0,16	0,25	0,32	1,19	1,30	1,41
30	0,16	0,24	0,31	1,18	1,29	1,39
40	0,13	0,20	0,26	1,16	1,24	1,32
50	0,12	0,18	0,24	1,14	1,21	1,28
60	0,11	0,16	0,22	1,12	1,19	1,25
70	0,10	0,15	0,20	1,11	1,17	1,23
80	0,10	0,14	0,19	1,10	1,16	1,31
90	0,10	0,14	0,18	1,10	1,15	1,20
100	0,09	0,13	0,17	1,09	1,14	1,19