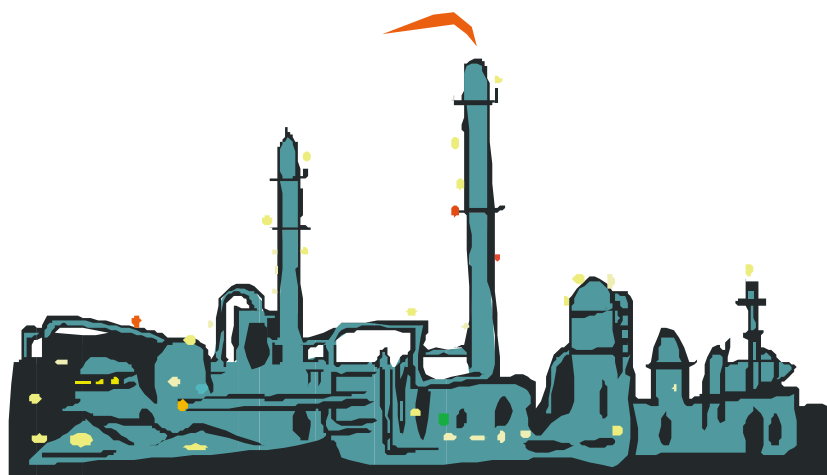


А.М. Климов, К.В. Брянкин

Надежность технологического оборудования



• Издательство ТГТУ •

Министерство образования Российской Федерации
ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

А.М. Климов, К.В. Брянкин

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Допущено Учебно-методическим объединением
по образованию в области химической технологии
и биотехнологии в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности
240801 – Машины и аппараты химических производств

Издание второе, стереотипное



Тамбов
♦ Издательство ТГТУ ♦
2008

УДК 66.02 (075)
ББК Л11-5я73
К49

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор МГАУ

С.П. Рудобаица

Доктор технических наук,

профессор Тольяттинского политехнического института

О.И. Драчев

Кандидат технических наук, профессор ТГТУ

А.А. Коптев

К49 **Климов, А.М.**
Надежность технологического оборудования : учебное пособие /
А.М. Климов, К.В. Брянкин. – 2-е изд., стер. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 104 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-8265-0750-6.

Учебное пособие к индивидуальным и практическим занятиям составлено в соответствии с программой по курсу «Надежность технологического оборудования» на основании рекомендаций Государственного стандарта ГОСТ Р–ОБР–93. Учебное пособие охватывает практически весь объем курса и содержит методики расчета надежности и долговечности функционирования основного технологического оборудования на стадии проектирования и эксплуатации.

Учебное пособие предназначено для студентов специальностей 240801 и 260601 всех форм обучения.

УДК 66.02 (075)
ББК Л11-5я73

ISBN 978-5-8265-0750-6

© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный
технический университет» (ТГТУ), 2008

Учебное издание

**КЛИМОВ Анатолий Михайлович,
БРЯНКИН Константин Вячеславович**

**НАДЕЖНОСТЬ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**

Учебное пособие

Издание второе, стереотипное

Редактор Т.М. Г л и н к и н а
Компьютерное макетирование М.А. Ф и л а т о в о й

Подписано к печати 25.11.2008
Формат 60 × 84/16. Объем: 6,04 усл. печ. л.; Тираж 100 экз. Заказ № 527.

Издательско-полиграфический центр ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важных характеристик, учитываемых при проектировании, разработке и эксплуатации машин и аппаратов, является их надежность. В течение длительного времени понятие надежности носило, по существу, интуитивный, субъективный и качественный характер. Необходимость в количественной оценке надежности впервые стала остро ощущаться в годы второй мировой войны. Интенсивное развитие военной, а затем и космической техники привело к созданию современной теории надежности, широко использующей количественные показатели. Такие показатели можно задавать, анализировать, измерять как конструктивный параметр. При этом конструктивный параметр устанавливается на основе выбора компромиссного соотношения с другими показателями, например со стоимостью или с какой-либо рабочей характеристикой.

Цель настоящего издания – помочь освоить студентам теоретический курс "Надежность технологического оборудования" и приобрести навыки инженерных расчетов. Учебное пособие к индивидуальным и практическим занятиям позволяет познакомиться со спецификой и с инженерными методиками расчета технологического оборудования на надежность.

В работе изложены те разделы надежности, которые могут быть полезны в подготовке инженеров-механиков. Основное внимание уделено проблеме определения количественных показателей надежности при проектировании и испытании изделий. Определяются основные термины и показатели, используемые при расчетах надежности. Представлены как количественные, так и качественные характеристики.

Внутри каждого раздела материал излагается в следующем порядке: конструктивные и расчетные схемы рассматриваемого оборудования; методики расчетов машин и аппаратов, а также их узлов на надежность; индивидуальные задания для расчетов по вариантам.

Основные показатели надежности

Любой анализ надежности системы должен основываться на точно определенных понятиях. Известно, что даже у одинаковых систем, работающих в аналогичных условиях, отказы происходят в случайные различные моменты времени, т.е. отказы могут быть описаны только в терминах теории вероятностей. Таким образом, основные определения надежности должны основываться главным образом на понятиях теории вероятностей.

Вероятность безотказной работы

Вероятность безотказной работы $P(t)$ – это такая функция времени, которая определяет вероятность того, что невосстанавливаемая система будет выполнять требуемую функцию в заданный момент времени t . Ее можно записать в виде

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0},$$

где N_0 – число единиц одинакового оборудования, работающего в одинаковых условиях; $n(t)$ – число отказов в контрольной группе.

Вероятность отказа $Q(t)$ – это вероятность того, что система выйдет из строя к моменту времени t . Она связана с вероятностью безотказной работы $P(t)$ простым соотношением

$$Q(t) + P(t) = 1.$$

Тогда вероятность отказа

$$Q(t) = 1 - P(t).$$

Таким образом, в простейшем случае, при определении вероятности отказа и вероятности безотказной работы к заданному моменту времени необходимо знать в качестве исходных данных число единиц оборудования в контрольной группе в начальный момент времени, а также количество вышедших из строя образцов.

Задача 1 На испытание поставлено N_0 однотипных центробежных насосов. За время t часов отказало n насосов. Определить вероятность отказа и вероятность безотказной работы.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 1 приложения.

Частота отказов

Если случайная величина t (наработка до отказа) имеет плотность распределения $f(t)$, то вероятность безотказной работы

$$P(t) = 1 - Q(t) = 1 - \int_0^t f(\tau) d\tau.$$

Другими словами, частота отказов или плотность вероятности отказов $f(t)$ представляет собой отношение числа отказавших аппаратов $n(t)$ к числу первоначально установленных N_0 за единицу времени Δt

$$f(t) = \frac{n(t)}{N_0 \Delta t}.$$

Интенсивность отказов

Вероятность отказа системы в данном промежутке времени $[t_1, t_2]$ можно выразить через вероятность отказа

$$\int_{t_1}^{t_2} f(t) dt = \int_{-\infty}^{t_2} f(t) dt - \int_{-\infty}^{t_1} f(t) dt = Q(t_2) - Q(t_1)$$

либо через вероятность безотказной работы

$$\int_{t_1}^{t_2} f(t) dt = \int_{t_1}^{\infty} f(t) dt - \int_{t_2}^{\infty} f(t) dt = P(t_1) - P(t_2).$$

Частота появления отказов в некотором промежутке времени $[t_1, t_2]$ называется интенсивностью отказов $\lambda(t)$ в этом интервале. Она определяется вероятностью того, что в этом интервале произойдет отказ за единицу времени при условии, что отказ не произошел до момента времени t_1 , с которого начинается этот интервал. Таким образом, интенсивность отказов $\lambda(t)$ имеет вид

$$\frac{P(t_1) - P(t_2)}{(t_2 - t_1)P(t_1)} = \frac{P(t) - P(t + \Delta t)}{\Delta t P(t)}$$

при условии, что $[t_1, t_2] = [t, t + \Delta t]$.

Принимая, что интенсивность отказов $\lambda(t)$ выражает качественные изменения, происходящие в оборудовании во время его эксплуатации, выражение для расчета $\lambda(t)$ в иной форме

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

где $n(\Delta t)$ – число отказов за время Δt ; $N_{cp}(t)$ – среднее число действующих в этот период времени аппаратов.

Таким образом, методика расчета параметров надежности оборудования может быть построена следующим образом. Рассмотрим пример, когда контрольная группа какого-либо оборудования подвергается испытаниям на надежность. При этом количество отказов фиксируется к моменту времени t и по истечению промежутка времени Δt .

1 Схематически изобразим работу оборудования в течение заданного промежутка времени.

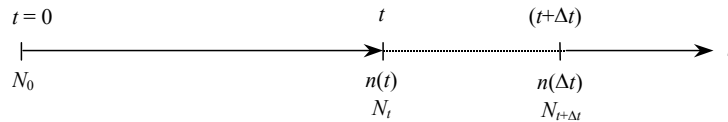


Рис. 1 Схема работы оборудования:

N_0 – число единиц одинакового оборудования, работающего в одинаковых условиях;
 $n(t)$ – число отказов в контрольной группе к моменту времени t ; N_i – число единиц исправного оборудования к моменту времени t ; $n(Δt)$ – число отказов в контрольной группе за промежуток времени $Δt$; $N_{(t+Δt)}$ – число единиц исправного оборудования к моменту времени $(t + Δt)$.

2 Вероятность безотказной работы за время t

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}.$$

3 Вероятность безотказной работы за время $(t + Δt)$

$$P(t + Δt) = \frac{N_0 - n(Δt)}{N_0}.$$

4 Среднее количество изделий, действующих в период времени $(t + Δt)$

$$N_{-p}\left(t + \frac{1}{2}\Delta t\right) = N_0 - \left(n(t) + \frac{1}{2}n(\Delta t)\right),$$

где $n\left(t + \frac{1}{2}\Delta t\right)$ – среднее количество изделий, отказавших в период времени $(t + Δt)$.

$$n\left(t + \frac{1}{2}\Delta t\right) = n(t) + \frac{1}{2}n(\Delta t).$$

5 Вероятность безотказной работы за время $\left(t + \frac{1}{2}\Delta t\right)$

$$P\left(t + \frac{1}{2}\Delta t\right) = \frac{N_0 - n\left(t + \frac{1}{2}\Delta t\right)}{N_0}.$$

6 Частота отказов, c^{-1}

$$f\left(t + \frac{1}{2}\Delta t\right) = \frac{n(\Delta t)}{N_0\Delta t}.$$

7 Интенсивность отказов, c^{-1}

$$\lambda\left(t + \frac{1}{2}\Delta t\right) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp}\left(t + \frac{1}{2}\Delta t\right)\Delta t}.$$

Задача 2 На испытание было поставлено N_0 однотипных подшипниковых узлов перемешивающих устройств. За первое время t , ч, отказало $n(t)$ изделий. За время Δt , ч, отказало $n(\Delta t)$ изделий. Определить вероятность безотказной работы за время t , $(t + \Delta t)$ и $\left(t + \frac{1}{2}\Delta t\right)$, а также частоту и интенсивность отказов узлов в промежутке времени от t до $(t + \Delta t)$ часов.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 1 приложения.

Рассмотрим, как меняются основные характеристики надежности функционирования оборудования в течение достаточно длительного промежутка времени. Для этого заданное количество единиц оборудования, не подлежащего ремонту, было подвергнуто испытанию. Отказы оборудования регистрировались через равные промежутки времени.

1 Вероятность безотказной работы

$$P(t_i) = \frac{N_0 - n(t_i)}{N_0},$$

где N_0 – общее количество образцов неремонтируемой аппаратуры; $n(t_i)$ – количество отказов, произошедших в наблюдаемый промежуток времени; t_i – текущее время испытаний, ч

$$t_i = t_{i-1} + \Delta t_i.$$

2 Частота отказов, ч⁻¹

$$f(\bar{t}_i) = \frac{n(\Delta t)_i}{N_0 \Delta t},$$

где \bar{t}_i – среднее время, ч

$$\bar{t}_i = \bar{t}_{i-1} + \frac{1}{2} \Delta t_i.$$

3 Интенсивность отказов, ч⁻¹

$$\lambda(\bar{t}_i) = \frac{n(\Delta t)_i}{\bar{N}_i \Delta t},$$

где \bar{N}_i – среднее количество единиц исправного оборудования к среднему моменту времени t_i

$$\bar{N}_i = \bar{N}_{i-1} + \frac{1}{2} n(\Delta t)_i.$$

4 Результаты вычислений оформляются в виде табл. 2 приложения.

5 Графическая зависимость вероятности безотказной работы строится как функция текущего времени $P(t_i) = f(t_i)$, частоты и интенсивности отказов – как функции среднего текущего времени $f(\bar{t}_i)$, $\lambda(\bar{t}_i)$.

Задача 3 На испытании находилось N_0 образцов неремонтируемой аппаратуры. Число отказов $n(\Delta t)_i$ фиксировалось через каждые Δt часов работы. Данные об отказах приведены в таблице. Определить характеристики надежности и построить зависимость характеристик от времени: $P(t)$, $\lambda(t)$, $f(t)$.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 3 приложения.

Среднее время безотказной работы

Среднее время безотказной работы элемента определяется как

$$T(t) = \int_0^{\infty} \tau f(\tau) d\tau$$

или

$$T(t) = \int_0^{\infty} P(t) dt.$$

Когда испытываемая система восстанавливается путем технического обслуживания и ремонта, то среднее время безотказной работы называется средней наработкой до отказа или средней наработкой на отказ.

В случае, когда известно время наступления первого отказа, а также количество отказов в заданный промежуток времени, средняя наработка на отказ может быть определена в два этапа.

1 Общая наработка за период времени наблюдений, ч

$$T_{\text{общ}} = t_k - t_n,$$

где t_k , t_n – время первого отказа и период наблюдений, соответственно, ч

2 Среднюю наработку на отказ, предварительно приняв

$$\sum_1^n t_i = T_{\text{общ}},$$

можно определить как

$$\bar{T} = \frac{\sum_1^n t_i}{n},$$

где n – общее количество отказов к моменту времени t_k .

Задача 4 До начала наблюдения за работой одного экземпляра перемешивающего устройства реактора оно проработало t_n часов. К концу наблюдения наработка устройства составила t_k часов. Требуется определить среднюю наработку на отказ, если за период наблюдения зарегистрировано n отказов.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 4 приложения.

Прогнозирование надежности

Для теории и практики надежности очень важно знать вид и характер функции интенсивности отказов $\lambda(t)$. К настоящему времени накоплен богатый экспериментальный материал по их виду. В результате его анализа обнаружилось, что названные кривые имеют идентичный качественный характер. Это позволило представить их в инженерных целях в обобщенном виде (рис. 2).

Типичная функция интенсивности отказов может быть разделена на три периода.

Первый, сравнительно небольшой по времени, где наблюдается сильное уменьшение интенсивности отказов, назван периодом приработки изделия. Второй, характеризующийся постоянным значением интенсивности отказов, называется периодом нормальной

эксплуатации. Третий период, в течение которого интенсивность отказов постоянно увеличивается, назван периодом катастрофических износовых или закономерных постепенных отказов.



Рис. 2 Интенсивность отказов в течение срока службы изделия
Надежность в период нормальной эксплуатации.
Экспоненциальный закон распределения

В этот период постепенные отказы еще не проявляются, и надежность изделий характеризуется внезапными отказами. Эти отказы вызваны неблагоприятным стечением обстоятельств и поэтому имеют постоянную интенсивность, не зависящую от возраста изделия

$$\lambda(t) = \lambda = \text{const}.$$

При этом вероятность безотказной работы

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda dt} = e^{-\lambda t}.$$

Она подчиняется экспоненциальному закону распределения времени безотказной работы и одинакова за любой одинаковый промежуток времени в период нормальной эксплуатации (рис. 3).

Экспоненциальным законом распределения можно аппроксимировать время безотказной работы широкого круга объектов: особо ответственных, эксплуатируемых в период после окончания приработки и до существенного проявления постепенных; оборудования с последовательной заменой отказавших элементов; машин и аппаратов вместе с электро- и гидрооборудованием и системами управления и др.; сложных объектов, состоящих из многих элементов.

Значительным достоинством экспоненциального распределения является его простота, так как оно имеет только один параметр.

В случае, когда $\lambda t \leq 0,1$, формула для вероятности безотказной работы упрощается в результате разложения в ряд и отбрасывания малых членов

$$P(t) = 1 - \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2!} - \frac{(\lambda t)^3}{3!} + \dots \approx 1 - \lambda t.$$

Плотность распределения, в общем случае, для экспоненциального распределения принимает вид

$$f(t) = -\frac{dP(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t}.$$

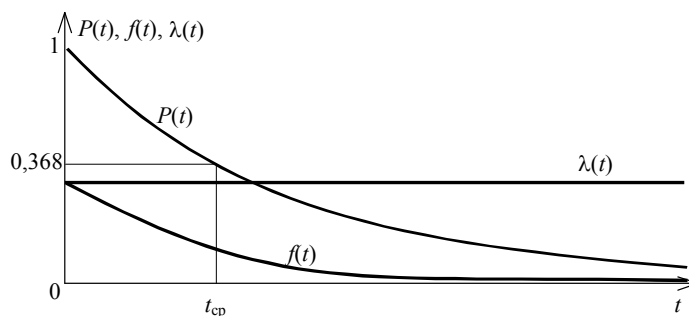


Рис. 3 Функция плотности вероятности $f(t)$, интенсивности отказов $\lambda(t)$ и функция вероятности безотказной работы $P(t)$ при экспоненциальном распределении

Задача по расчету надежности в период нормальной эксплуатации может быть построена следующим образом. Определяется величина λt .

В случае, если $\lambda t \leq 0,1$, то вероятность безотказной работы рассчитывается по приближенной зависимости.

Если $\lambda t > 0,1$, то вероятность безотказной работы рассчитывается по точной зависимости.

Задача 5 Определить вероятность отсутствия внезапных отказов технологического оборудования в течение времени t , ч, соответствующего периоду нормальной эксплуатации, если интенсивность отказов составляет λ , ч⁻¹.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 5 приложения.

Оценка надежности в период постепенных отказов

Для постепенных отказов нужны законы распределения времени безотказной работы, которые дают вначале низкую плотность распределения, затем максимум и далее падение (рис. 4), связанное с уменьшением числа работоспособных элементов.

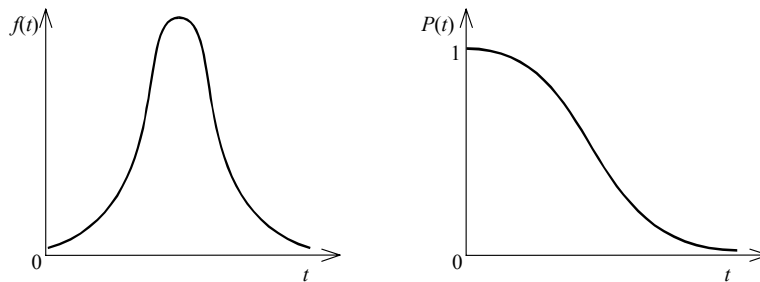


Рис. 4 Функция плотности вероятности и функция вероятности безотказной работы при нормальном распределении

Нормальное распределение

В связи с многообразием причин и условий возникновения отказов в этот период для описания надежности применяют несколько законов распределений, которые устанавливают путем аппроксимации результатов испытаний или наблюдений в эксплуатации. Нормальное распределение является наиболее универсальным, удобным и широко применяемым для практических расчетов.

Распределение всегда подчиняется нормальному закону, если на изменение случайной величины оказывают влияние многие примерно равнозначные факторы. Нормальному распределению подчиняется наработка до отказа многих восстанавливаемых и невосстанавливаемых изделий, размеры и ошибки измерений деталей и т.д.

Плотность распределения оценивается по формуле

$$f(t) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m_t)^2}{2S^2}}.$$

Распределение имеет два независимых параметра: математическое ожидание m_t и среднее квадратическое отклонение S .

Интегральная функция распределения определяется как

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt.$$

Вероятность отказа и вероятность безотказной работы соответственно равны

$$\begin{aligned} Q(t) &= F(t); \\ P(t) &= 1 - F(t). \end{aligned}$$

Вычисление интегралов заменяют использованием таблиц. Таблицы для нормального распределения в функции $(t - m_t)$ и S были бы громоздкими, так как имели бы два независимых параметра. Можно обойтись небольшими таблицами для нормального распределения, у которого $m_x = 0$ и $S = 1$. Для этого распределения функция плотности составит

$$f_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$$

и имеет одну переменную x . Величина x является центрированной, так как $m_x = 0$, и нормированной, так как $S_x = 1$.

Функция распределения – интеграл от плотности распределения

$$F_0(x) = \int_{-\infty}^x f_0(x) dx.$$

Для использования таблиц следует применять подстановку $x = \frac{(t - m_t)}{S}$. При этом x называется квантилью нормированного нормального распределения и обозначается u_p .

Плотность распределения, вероятность безотказной работы и вероятность отказа, соответственно, определяются как

$$\begin{aligned} f(t) &= \phi_0(x)/S; \\ Q(t) &= F_0(x); \\ P(t) &= 1 - F_0(x), \end{aligned}$$

где $\phi_0(x)$, $F_0(x)$ – значения ординат плотности нормированного нормального распределения (табл. 7 приложения) и значения функции нормированного нормального распределения (табл. 6 приложения), соответственно.

В табл. 8 приложения приведены непосредственно значения $P(t)$ в зависимости от $x = u_p = (t - m_t)/S$ в употребительном диапазоне.

Задача оценки вероятности безотказной работы за данное время или за данную наработку решается следующим образом.

1 Находим квантиль нормального распределения

$$u_p = \frac{t - m_t}{S},$$

где m_t – математическое ожидание ресурса работы оборудования, ч; t – ресурс по износу, ч; S – среднее квадратическое отклонение ресурса по износу, ч.

2 По табл. 8 приложения, зная квантиль нормального распределения определяем вероятность безотказной работы $P(t)$.

Задача 6 Оценить вероятность безотказной работы $P(t)$ в течение t , ч, изнашиваемого подвижного сопряжения, если ресурс по износу подчиняется нормальному закону распределения с параметрами m_t , ч, и S , ч.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 9 приложения.

Помимо задачи оценки вероятности безотказной работы за данное время или за данную наработку встречается обратная задача – определение времени или наработки, соответствующих заданной вероятности безотказной работы, которая решается следующим образом.

1. По табл. 8 приложения, зная вероятность безотказной работы $P(t)$, определяем квантиль нормального распределения u_p .

2. Ресурс работы оборудования рассчитывается по формуле

$$t = m_t + u_p S.$$

Задача 7 Оценить $P(t)$ -й ресурс зубчатого колеса редуктора, если известно, что долговечность детали ограничена по износу, ресурс подчиняется нормальному распределению с параметрами m_t , ч, и S , ч.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 9 приложения.

Усеченное нормальное распределение

Усеченное нормальное распределение получается из нормального при ограничении интервала изменения случайной величины. Оно, в частности, вносит уточнение в расчеты надежности по сравнению с нормальным распределением при больших значениях коэффициента вариации.

При этом функция плотности распределения записывается так же, как плотность нормального распределения, но с коэффициентом пропорциональности c :

$$f(t) = \frac{c}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-t_0)^2}{2S^2}},$$

где t_0 – значение случайной величины, соответствующей максимуму $f(t)$, и называется модой.

Коэффициент c для распределения, ограниченного пределами изменения времени от a до b , определяется из условия

$$\int_a^b f(t) dt = 1 = c[F(b) - F(a)],$$

где $F(a)$, $F(b)$ – значения функции нормального распределения для предельных значений t . Тогда

$$c = \frac{1}{F(b) - F(a)}.$$

Если пользоваться функцией F_0 нормального распределения нормированной и центрированной случайной величины, то можно записать

$$c = \frac{1}{F_0\left(\frac{b-t_0}{S}\right) - F_0\left(\frac{a-t_0}{S}\right)}.$$

Основное применение усеченного нормального распределения имеет с коэффициентом c с параметрами $a = 0$ и $b = \infty$, когда в задачах надежности отражается невозможность отказов при отрицательных значениях времени. Тогда

$$c = \frac{1}{F_0\left(\frac{t_0}{S}\right)}.$$

В этом случае значения коэффициента c можно выбрать в зависимости от соотношения $\frac{t_0}{S}$

t_0/S	1,0	2,0	3,0
c	1,189	1,023	1,001

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = 1 - F_0\left(\frac{t_0 - t}{S}\right).$$

Примером усеченных распределений может быть распределение параметра качества изделий после отбраковки части изделий по этому параметру.

Задача по нахождению параметров надежности по усеченному нормальному распределению может быть построена следующим образом.

1 Определяется коэффициент пропорциональности

$$c = \frac{1}{F_0\left(\frac{b-t_0}{S}\right) - F_0\left(\frac{a-t_0}{S}\right)},$$

где $F_0\left(\frac{b-t_0}{S}\right), F_0\left(\frac{a-t_0}{S}\right)$ – значения функции, принимаемые по табл. 6 приложения в зависимости от значения аргумента $(b-t_0)/S, (a-t_0)/S$.

2 Вычисляется плотность распределения

$$f(t) = \frac{c}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-t_0)^2}{2S^2}} = \frac{c\phi\left(\frac{t-t_0}{S}\right)}{S},$$

где $\phi\left(\frac{t-t_0}{S}\right)$ – нормированная функция, значение которой принимаются по табл. 7 приложения в зависимости от значения аргумента $\frac{t-t_0}{S}$.

3 Вероятность безотказной работы

$$P(t) = 1 - F_0\left(\frac{t-t_0}{S}\right),$$

где $F_0\left(\frac{t-t_0}{S}\right)$ – значение нормированной функции, принимаемое по табл. 6 приложения в зависимости от значения аргумента $(t-t_0)/S$.

4 Интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}.$$

Задача 8 Оценить вероятность безотказной работы изделия к моменту времени t , ч, ограниченного пределами изменения от a до b , если ресурс распределен по усеченному нормальному закону распределения со средним квадратическим отклонением наработку на отказ S и модой t_0 .

Исходные данные для расчета представлены в табл. 10 приложения.

Логарифмически нормальное распределение

В распределении данного типа логарифм случайной величины распределяется по нормальному закону. Как распределение положительных величин оно несколько точнее, чем нормальное, описывает наработку до отказа деталей (рис. 5). Его успешно применяют для описания наработки подшипников качения и скольжения, электроламп и других изделий.

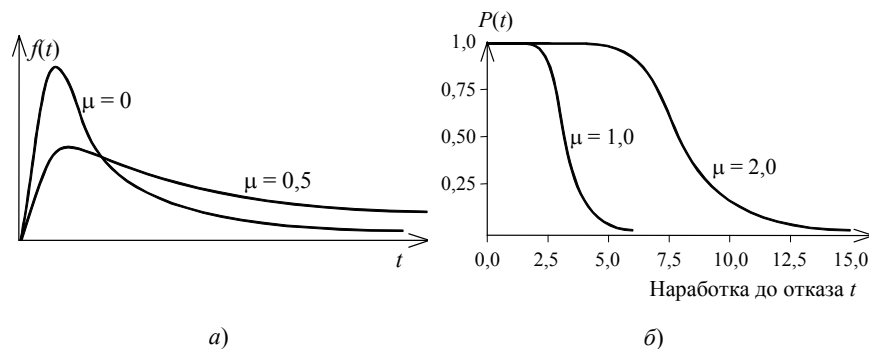
Логарифмически нормальное распределение удобно для случайных величин, представляющих собой произведение значительного числа случайных исходных величин, подобно тому как нормальное распределение удобно для суммы случайных величин.

Плотность распределения (рис. 5, а) описывается зависимостью

$$f(t) = \frac{1}{St\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2S^2}},$$

где μ и S – параметры, оцениваемые по результатам испытаний,

$$-\infty < \mu < \infty, \quad S > 0.$$



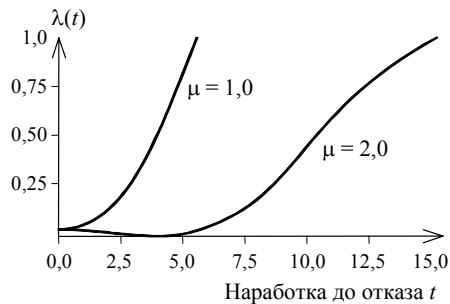


Рис. 5 Характеристики логарифмически нормального распределения:

a – плотность распределения наработки до отказа при параметре $\sigma = 1$; b – вероятность безотказной работы при параметре распределения $\sigma = 0,2$; ϵ – интенсивность отказов при параметре распределения $\sigma = 0,2$

в)

Так при испытании N изделий до отказа

$$\mu \approx \mu^* = \frac{\sum \ln t_i}{N}, \quad S \approx s = \sqrt{\frac{1}{N-1} (\sum \ln t_i - \mu^*)^2},$$

где μ^* и s – оценка параметров μ и S .

Вероятность безотказной работы можно определить по таблицам для нормального распределения (табл. 6 приложения) в зависимости от значения аргумента $\frac{\ln t - \mu}{S}$.

Расчет основных параметров надежности по логарифмически нормальному закону распределения производится следующим образом.

1 Плотность распределения

$$f(t) = \frac{1}{St\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2S^2}} = \frac{\varphi_0\left(\frac{\ln t - \mu}{S}\right)}{St},$$

где $\varphi_0\left(\frac{\ln t - \mu}{S}\right)$ – нормированная функция, значения которой принимаются по табл. 7 приложения в зависимости от значения аргумента $\frac{\ln t - \mu}{S}$.

3 Вероятность безотказной работы

$$P(t) = 1 - F_0\left(\frac{\ln t - \mu}{S}\right),$$

где $F_0\left(\frac{\ln t - \mu}{S}\right)$ – значение нормированной функции, принимаемое по табл. 6 приложения в зависимости от значения аргумента $\frac{\ln t - \mu}{S}$.

4 Интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}.$$

Задача 9 Нарботка узла технологического аппарата имеет логарифмически нормальное распределение с параметрами μ и S . Найти вероятность безотказной работы узла, интенсивность и частоту отказов при наработке, составляющей t , ч.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 11 приложения.

Распределение Вейбулла

Это довольно универсальное распределение, охватывающее путем варьирования параметров широкий диапазон случаев изменения вероятностей. Наряду с логарифмически нормальным распределением оно удовлетворительно описывает наработку деталей и узлов технологического оборудования по усталостным разрушениям, наработку до отказа подшипников, электроламп и т.п. Оно применяется также для оценки надежности по приработочным отказам.

Распределение характеризуется следующей функцией вероятности безотказной работы (рис. 6)

$$P(t) = e^{-\frac{t^m}{t_0^m}}.$$

Интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \frac{m}{t_0} t^{m-1}.$$

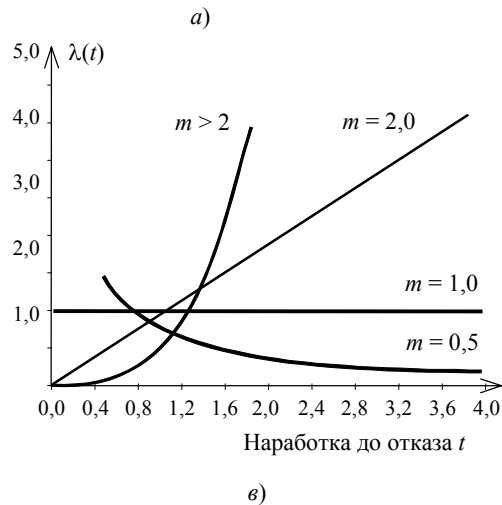
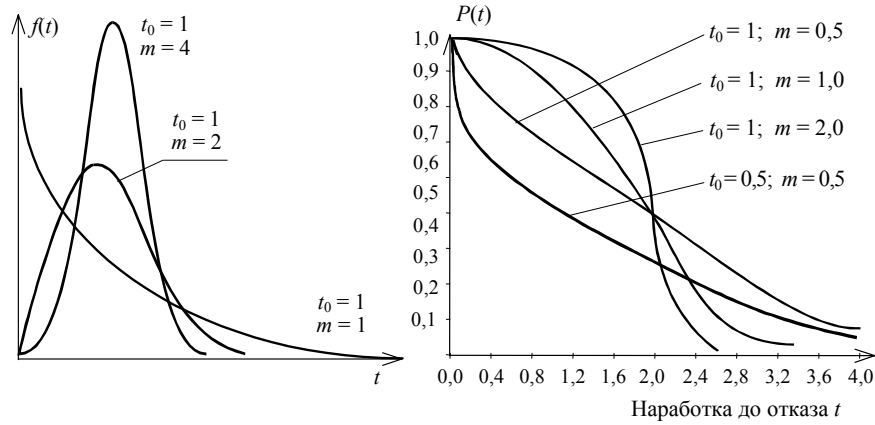


Рис. 6 Характеристики распределения наработки до отказа по закону Вейбулла:

a – плотность распределения наработки до отказа; *б* – вероятность безотказной работы при параметре масштаба $\Theta = 1$; *в* – интенсивность отказов при параметре масштаба $\Theta = 1$

Плотность распределения Вейбулла имеет вид

$$f(t) = \frac{m}{t_0} t^{m-1} e^{-\frac{t^m}{t_0}}.$$

Распределение Вейбулла имеет два параметра: m – параметр формы; t_0 – параметр масштаба;

$$m > 0, \quad t_0 > 0.$$

Математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение соответственно определяются по формулам

$$m_t = b_m t_0^{\frac{1}{m}}; \quad S_t = c_m t_0^{\frac{1}{m}},$$

где b_m, c_m – коэффициенты, определяемые по табл. 12 приложения в зависимости от параметра формы.

Форма зависимости параметров надежности от времени в соответствии с распределением Вейбулла зависит от параметра формы.

При $m < 1$ функция $\lambda(t)$ и $f(t)$ наработки до отказа убывающие.

При $m = 1$ распределение превращается в экспоненциальное $\lambda(t) = \text{const}$ и $f(t)$ – убывающая функция.

При $m > 1$ функция $f(t)$ одновершинная, функция $\lambda(t)$ – непрерывно возрастающая при $1 < m < 2$ с выпуклостью вверх, а при $m > 2$ – с выпуклостью вниз.

При $m = 2$ функция $\lambda(t)$ является линейной и распределение Вейбулла превращается в так называемое распределение Рэля.

При $m = 3,3$ распределение Вейбулла близко к нормальному.

Задача 10 Оценить вероятность безотказной работы, частоту и интенсивность отказов электроламп, входящих в систему освещения цеха химического производства, в течение t часов, если ресурс электроламп подчинен распределению Вейбулла с параметрами t_0, c и m .

Исходные данные для расчета представлены в табл. 13 приложения.

Оценка надежности на основе статистической информации

Как уже отмечалось выше, вопрос о выборе закона распределения является одним из ключевых на конечной стадии расчета надежности при наличии статических данных. В частности, от принятия той или иной гипотезы будет зависеть достоверность полученных результатов, эффективность сделанных выводов и рекомендаций. К сожалению, фактические наблюдения показывают, что изменчивость законов распределений встречается весьма часто, причем для одних и тех же объектов. Бывает, что относительно небольшое изменение объема статических данных, условий или режимов эксплуатации или даже качества изготовления деталей (хотя и в пределах назначенных допусков) может повлиять на нулевую гипотезу, т.е. изменить либо параметры закона распределения, либо даже его вид.

Практические примеры показывают, что одних рекомендаций в принятии какого-то закона распределения оказывается недостаточно. В каждом случае, и даже для новой партии однотипных объектов, идентичных на первый взгляд предыдущей, необходимо производить тщательную проверку различными способами и по различным критериям.

Применение специальных методов проверки гипотезы о выдвинутом типе теоретического закона распределения должно носить всесторонний характер. Установлено, что для одной и той же выборки постоянного объема использование двух различных критериев иногда дает противоположные результаты, т.е. получается, что в равной степени можно принимать тот или другой закон. Соответствующими расчетами было показано, что для различных параметров законов возможно появление зон практически полного совпадения вероятности безотказной работы. Этим частично объясняется факт равновероятного принятия на некотором интервале наработки двух (или даже нескольких) законов.

Вместе с тем в силу специфических особенностей использования различных критериев проверки правильности выбора типа теоретического распределения одна и та же нулевая гипотеза, с одной стороны, может быть отвергнута, а с другой – принята.

Таким образом, не всегда можно получить однозначный ответ на вопрос о принятии конкретного закона распределения. В таких ситуациях наиболее правильный ответ может дать метод трех арбитров, как его условно называют. Его действие основывается на знании и использовании известных критериев и приемов, разработанных как в нашей стране, так и за рубежом.

Существует множество зависимостей и положений, которые лежат в основе методов проверки. Однако исследователь должен выбрать из них только три, по которым следует проверять конкурирующие гипотезы о возможности использования того или иного закона распределения. Если два из трех или тем более все три способа дадут подтверждение какого-либо закона, то его следует принять как верный. Если же соотношение количеств за и против у сравниваемых гипотез окажется одинаковым, то предпочтение может получить тот закон, который обеспечивает больший запас достоверности по применяемым критериям с использованием наименьшего уровня риска. Наконец, если ни одна из конкурирующих гипотез (двух сопоставляемых наиболее возможных законов распределений) не получила преимуществ, то либо надо проанализировать подобную другую выборочную совокупность, либо просто попытаться подобрать другой закон.

Для быстроты обсчета по критериям метода трех арбитров, где под арбитром подразумевается один из выбранных приемов или критериев оценки применимости теоретического закона распределения, целесообразно использовать ЭВМ.

Рассмотрим отдельные наиболее часто встречающиеся способы проверки соответствия теоретического распределения эмпирическому. Для проверки возможности принятия закона распределения могут применяться следующие основные критерии.

Критерий согласия Пирсона χ^2 . Он является особенно эффективным для больших объемов выборок при $n > 100$. Но при этом накладывается требование о том, чтобы интервалы вариационного ряда, содержащие менее пяти значений исследуемого признака, группировались с соседними так, чтобы их число в любом интервале было бы больше или равно пяти.

Для использования критерия согласия Пирсона χ^2 необходимо, чтобы эмпирическое распределение было задано в виде последовательности равноотстоящих признаков наблюдаемой случайной величины и соответствующих им частот.

Рассмотрим вариант, когда появляется необходимость проверки возможности использования, например, нормального закона распределения для оценки полученной в результате экспериментальных наблюдений наработки на отказ объекта. Проверка гипотезы должна проводиться по следующей процедуре.

1 Весь интервал времени, в течение которого проводятся испытания, разбивается на равные участки $\Delta t_i = \text{const}$, затем для каждого из участков определяется частота попаданий n_i .

2 Вычисляется выборочное среднее время наработки на отказ

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

где t_i – наработки на отказ объекта, ч; n – объем выборки или сумма всех частот.

3 Определяется выборочное среднеквадратическое отклонение

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}.$$

4 Находятся теоретические частоты

$$m_i = \left(\frac{n \Delta t_i}{s} \right) \phi(u_i),$$

где $\phi(u_i)$ – табулированная функция, определяемая по табл. 15 приложения в зависимости от величины аргумента u_i

$$u_i = \frac{|t_i - \bar{t}|}{s}.$$

5 Заполняется специальная форма (табл. 14 приложения).

6 Рассчитывается номинальный критерий Пирсона

$$\chi^2 = \sum \left(\frac{(n_i - m_i)^2}{m_i} \right).$$

7 Из табл. 16 приложения для критических значений точек распределения χ^2 при выбранном уровне значимости α и для числа степеней свободы ν находится критическая точка $\chi_{кр}^2(\alpha, \nu)$.

$$\nu = k - 3,$$

где k – число групп выборки или число временных интервалов.

8 Принимается решение о применимости нормального закона распределения. Если

$$\chi_{н}^2 < \chi_{кр}^2,$$

то нет оснований считать предположение о применимости нормального закона неверным, а имеющиеся некоторые расхождения в частотах появления признака случайны.

Если

$$\chi_{н}^2 > \chi_{кр}^2,$$

то гипотеза о нормальности распределения отвергается в силу существенных отличий теоретических и эмпирических частот.

Критерий согласия Колмогорова является менее жестким с точки зрения подтверждения согласованности выбранного теоретического распределения по отношению к фактическому эмпирическому. Считается, что соответствие удовлетворительное, если выполняется условие

$$\Delta = D_{\max} \sqrt{n} \leq 1,$$

где D_{\max} – наибольшее отклонение теоретической кривой распределения от экспериментальной по модулю; n – общее число опытных точек.

Критерий согласия Романовского использует отношение вида

$$r = \frac{\chi^2 - k'}{\sqrt{2k}},$$

где k' – число степеней свободы $k' = \nu = k - 3$; k – число групп выборки или число временных интервалов.

Расхождение между теоретическим и эмпирическим распределением считается несущественным, если r имеет абсолютное значение меньше трех, т.е. в этом случае нормальный закон может быть принят в качестве нулевой гипотезы.

Задача 11 В результате экспериментальных наблюдений за работой технологического объекта были получены n значений его наработок на отказ. Проверить возможность использования нормального закона распределения для оценки полученной наработки на отказ. Уровень значимости принят равным α . Проверку произвести по критерию согласия Пирсона и подтвердить гипотезу по критерию согласия Романовского.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 17 приложения.

На практике для предварительной оценки закона распределения по экспериментальным данным часто пользуются **вероятностной бумагой распределения**. Она служит для нанесения на нее отдельных точек, определяемых, например, по табл. 18 приложения, и позволяет определить возможность аппроксимации эмпирических данных с помощью соответствующего закона. Получающееся графическое изображение при этом способе проверки дает такую же наглядную картину как гистограммы или полигоны, характеризующие особенности распределения.

Гистограмма – это ступенчатый график, состоящий из прямоугольников, у которых основаниями служат частные интервалы (наработок на отказ), а площади равны числу случаев (частотам) попадания в этот интервал наработок.

После нанесения точек на вероятностную бумагу закона распределения по методу наименьших квадратов проводят прямую. Если точки достаточно хорошо ей соответствуют, то это дает основание полагать, что принятая к расчету гипотеза правильна. Используя координатную сетку с проведенной аппроксимирующей прямой, можно непосредственно по графику оценить параметры распределения.

Часто для более надежного выявления закона распределения и исключения ошибок, вызванных субъективными причинами, пользуются специальными вероятностными координатными сетками с подтверждением возможности принятия закона распределения с помощью критерия согласия Колмогорова. Для этого на вероятностной сетке находят точку с наибольшим отклонением от прямой и вычисляют критерий согласия.

В этом случае выявление закона распределения осуществляют в следующей последовательности.

1 Подготавливается сводная таблица экспериментальных данных в форме табл. 19 приложения.

2 Строится гистограмма отказов в виде функции $h_i = f(t_i)$.

3 Проводятся построения на вероятностных координатных сетках (рис. 7 – 11). Используют следующие наиболее распространенные вероятностные сетки, которые в случае получения на них прямой линии будут характеризовать определенные законы распределения: 1) нормальное распределение; 2) усеченное нормальное распределение; 3) логарифмически нормальный закон распределения; 4) экспоненциальное распределение; 5) распределение Вейбулла – Гнеденко.

4 Проверяется принятая гипотеза о применении выбранного закона распределения при помощи критерия согласия Колмогорова.

4.1 На вероятностной сетке, соответствующей выбранному закону распределения, определяется точка, наиболее отклонившаяся от аппроксимирующей прямой.

4.2 Вычисляется отклонение точки от прямой D_{\max} .

4.3 Рассчитывается критерий согласия Колмогорова

$$\Delta = D_{\max} \sqrt{k} \leq 1,$$

где k – общее количество интервалов наработок.

На основании критерия Колмогорова принимается решение о применимости принятого закона распределения.

Задача 12 Опытная партия образцов неремонтируемого невосстанавливаемого оборудования была подвергнута ускоренным испытаниям на надежность. В ходе испытаний фиксировалось время функционирования изделия до отказа. По окончании весь интервал времени, в течение которого проводились испытания, разбили на равные участки $\Delta t_i = \text{const}$ и для каждого из участков было определено количество происшедших в них отказов n_i . Определить закон распределения, достаточно точно описывающий наработку изделий на отказ, с использованием вероятностных координатных сеток и критерия согласия Колмогорова.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 20 приложения.

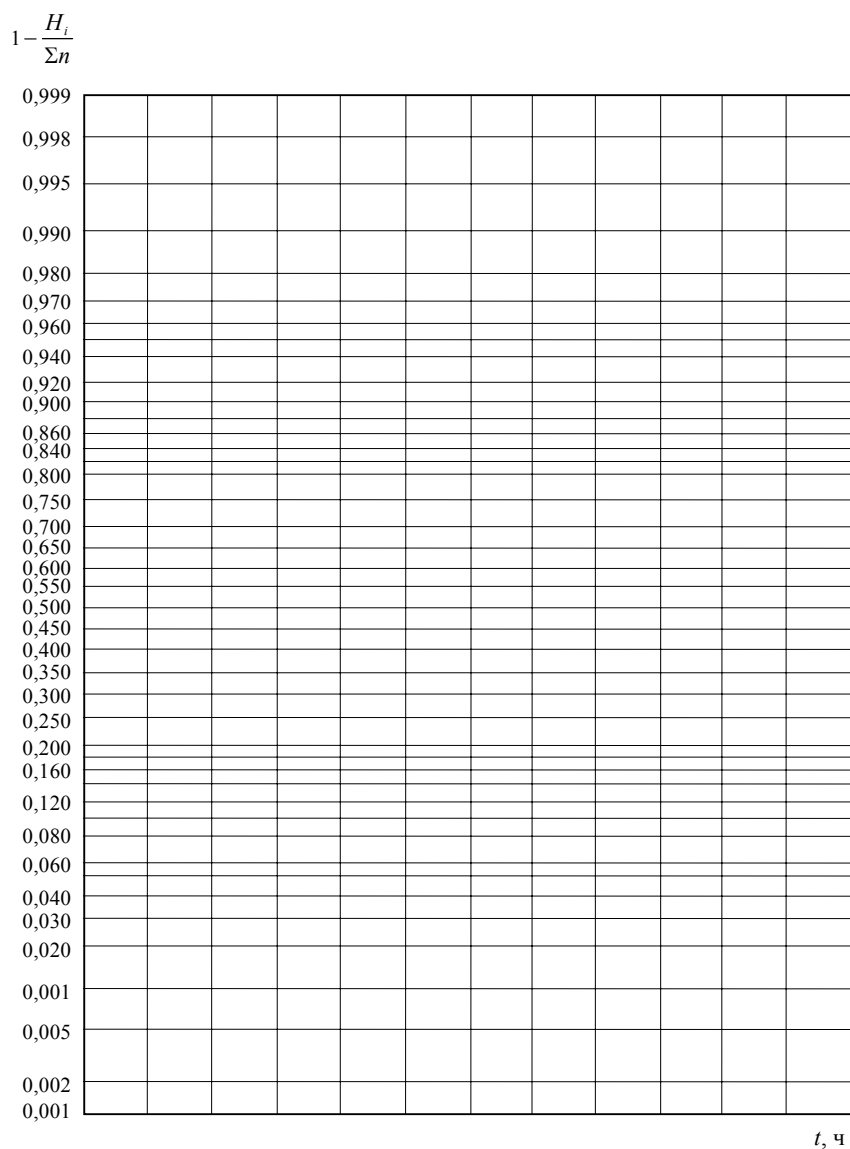


Рис. 7 Вероятностная координатная сетка нормального закона распределения

$$1 - \frac{H_i}{\Sigma n}$$

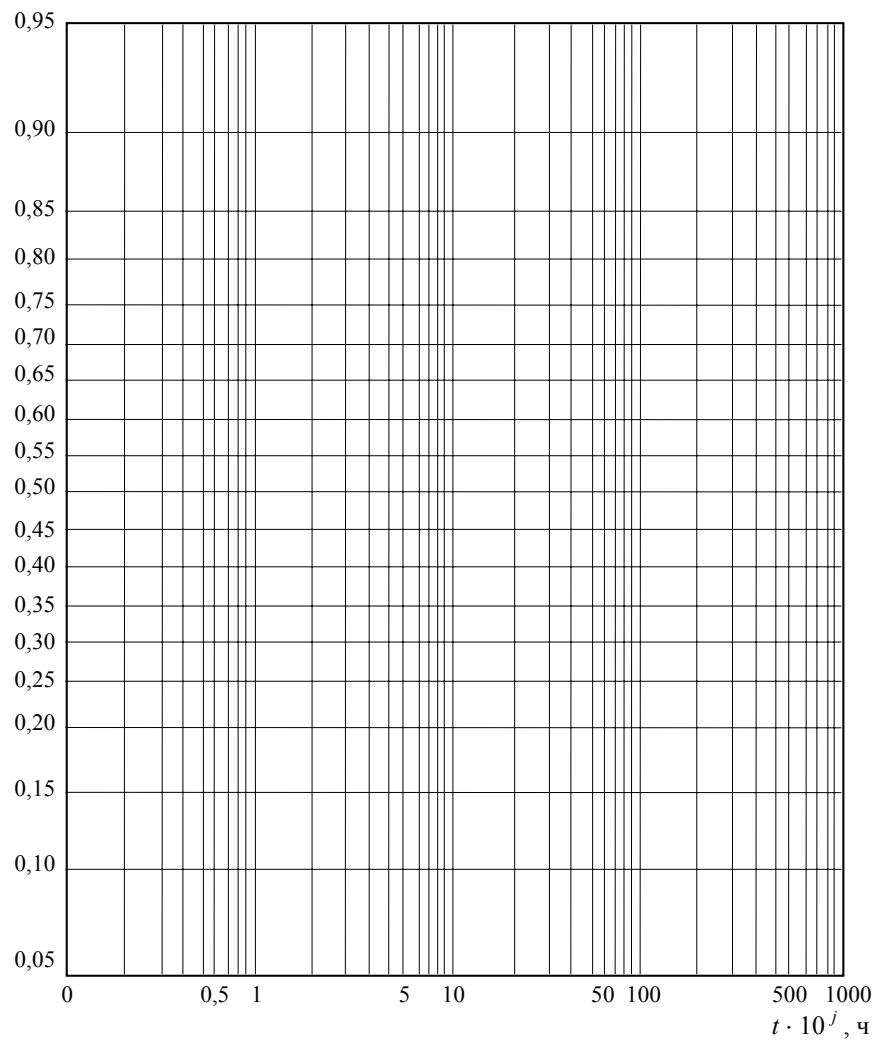


Рис. 8 Вероятностная координатная сетка усеченного нормального распределения

$$1 - \frac{H_i}{\Sigma n}$$

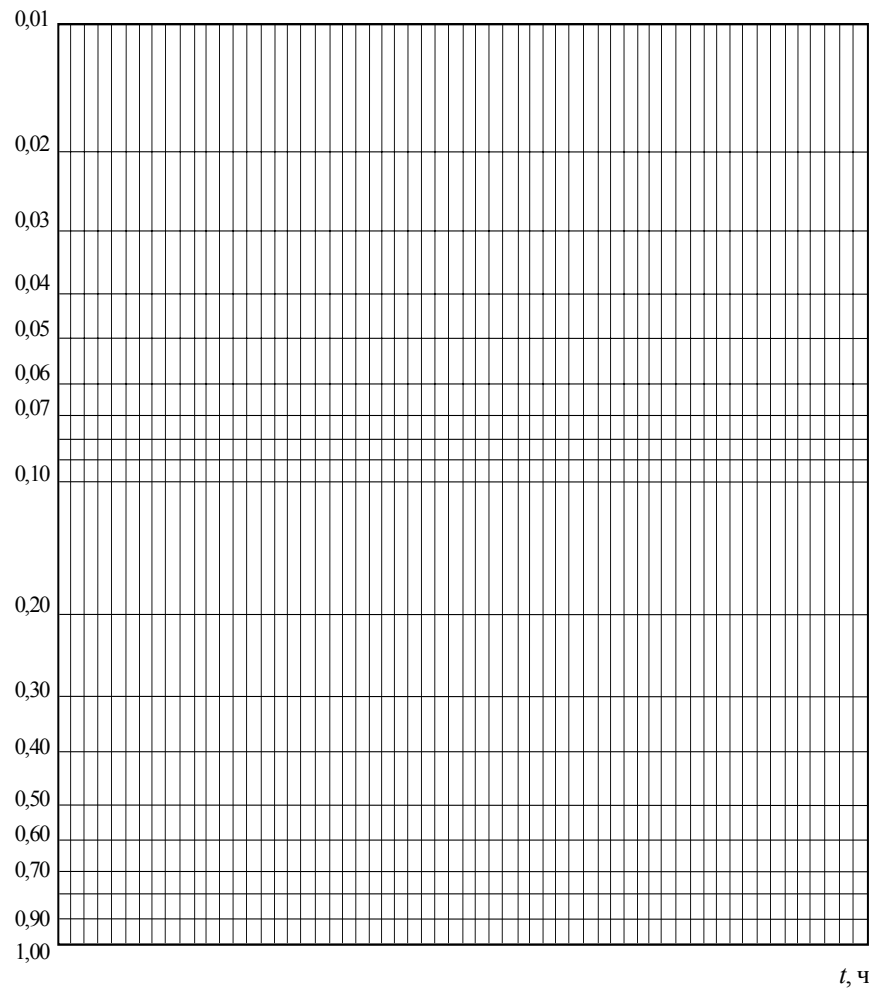


Рис. 9 Вероятностная координатная сетка логарифмически нормального закона распределения

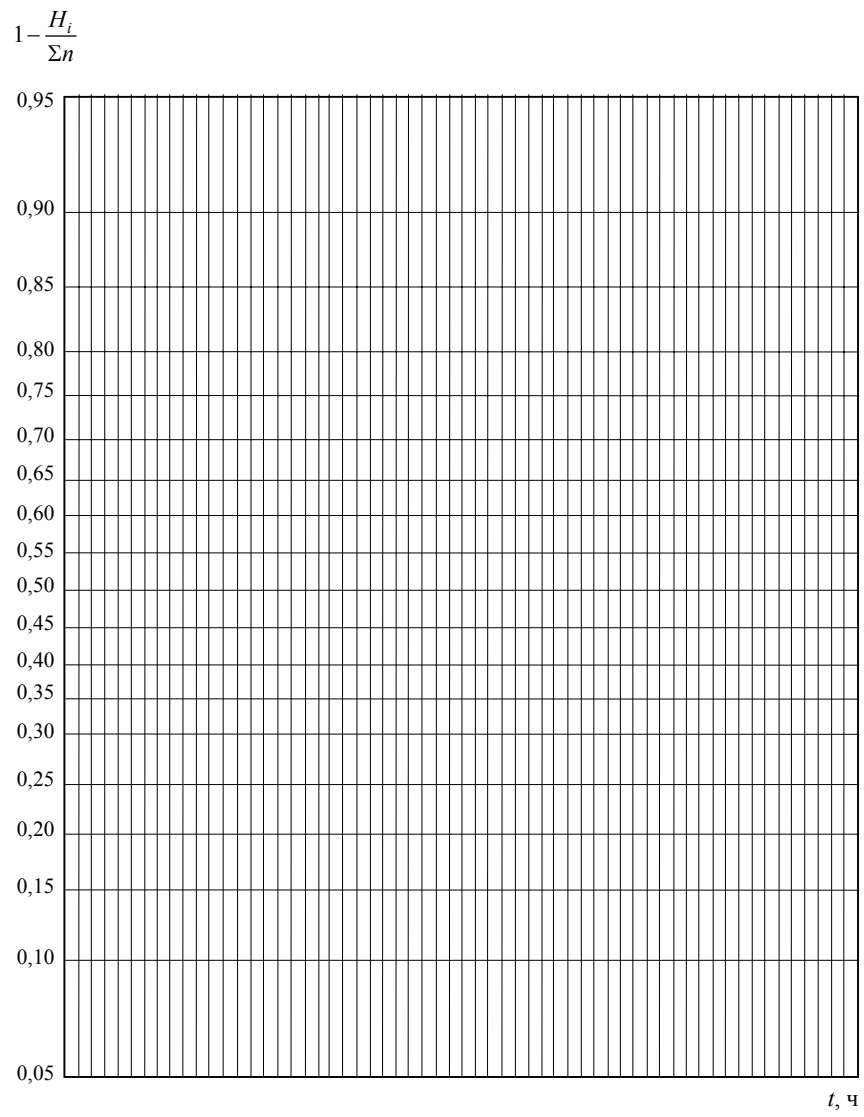


Рис. 10 Вероятностная координатная сетка экспоненциального закона распределение

$$1 - \frac{H_i}{\sum n}$$

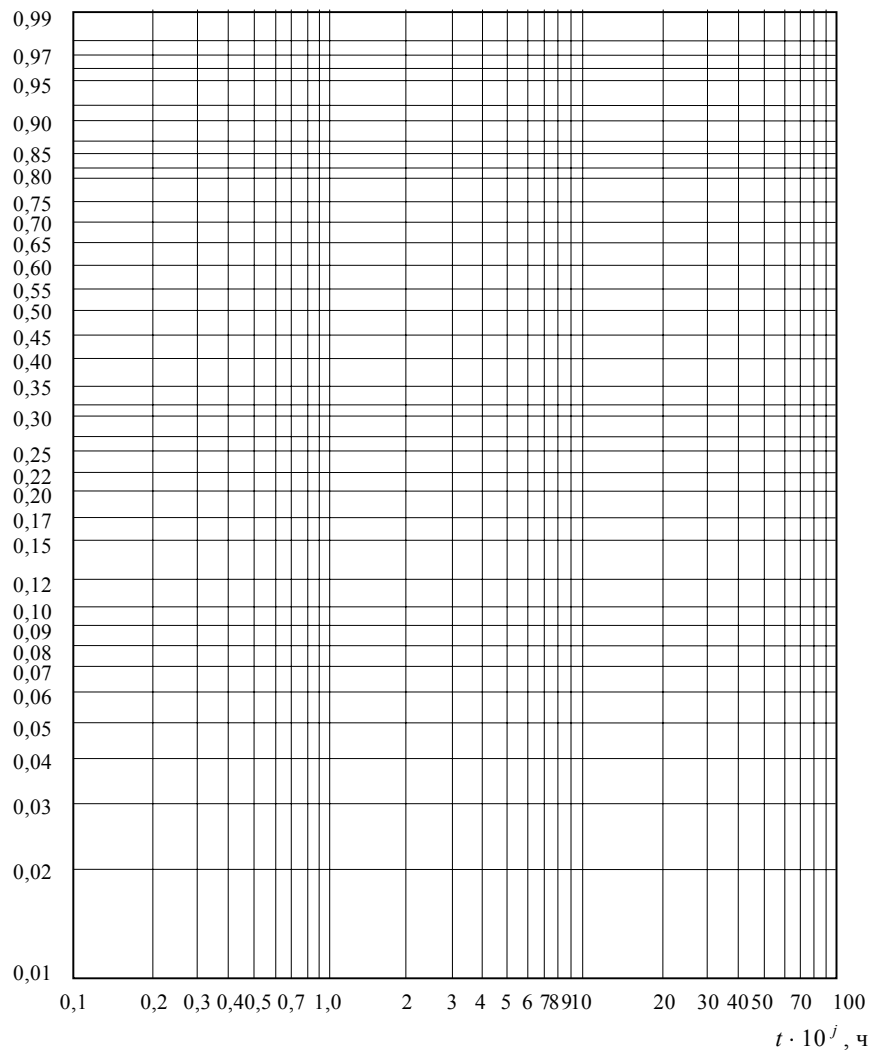


Рис. 11 Вероятностная координатная сетка закона распределения Вейбулла – Гнеденко

СХЕМЫ ДЛЯ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ

НАДЕЖНОСТЬ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ при нормальном распределении нагрузки по системам

Если рассеяние нагрузки по системам пренебрежительно мало, то несущие способности элементов независимы друг от друга, а отказы элементов статистически независимы и поэтому вероятность безотказной работы последовательной системы с несущей способностью R при нагрузке F_0 равна произведению вероятностей безотказной работы элементов.

Ниже предлагается достаточно точный метод упрощенной оценки надежности последовательной системы для случая нормального распределения нагрузки по системам. Идея метода состоит в аппроксимации закона распределения так, чтобы нормальный закон был близок к истинному в диапазоне пониженных значений несущей способности системы, так как именно эти значения определяют величину показателя надежности системы.

Сравнительные расчеты на ЭВМ по точному и предлагаемому упрощенному методу показали, что его точность достаточна для инженерных расчетов надежности систем, у которых коэффициент вариации несущей способности не превышает 0,1 ... 0,15, а число элементов системы не превышает 10 ... 15. Сам метод заключается в следующем:

– задаются двумя значениями F_A и F_B – фиксированных нагрузок; проводят расчет вероятностей безотказной работы системы при этих нагрузках; нагрузки подбирают с тем расчетом, чтобы при оценке надежности системы вероятность безотказной работы системы получилась в пределах $P_A = 0,45 \dots 0,60$ и $P_B = 0,95 \dots 0,99$, т.е. охватывали бы представляющий интерес интервал; ориентировочные значения нагрузок можно принимать близкими значениям: $F_A \approx (1 + 3\sigma_F)m_F$, $F_B \approx (1 + \sigma_F)m_F$;

– по табл. 8 приложения находят квантили нормального распределения u_{P_A} и u_{P_B} , соответствующие найденным вероятностям;

– аппроксимируют закон распределения несущей способности системы нормальным распределением с параметрами математического ожидания и коэффициента вариации;

– вероятность безотказной работы системы для случая нормального распределения нагрузки по системам с параметрами математического ожидания и коэффициента вариации находим обычным путем по квантили нормального распределения; квантиль вычисляют по формуле, отражающей тот факт, что разность двух распределенных нормально случайных величин (несущей способности системы и нагрузки) распределена нормально с математическим ожиданием, равным разности их математических ожиданий, и средним квадратическим, равным корню из суммы квадратов их средних квадратических отклонений.

Применительно к одноступенчатому редуктору, состоящему из последовательно соединенных: зубчатой передачи, подшипников входного вала и выходного вала, а также входного и выходного валов (рис. 12), расчет надежности будет выглядеть следующим образом.

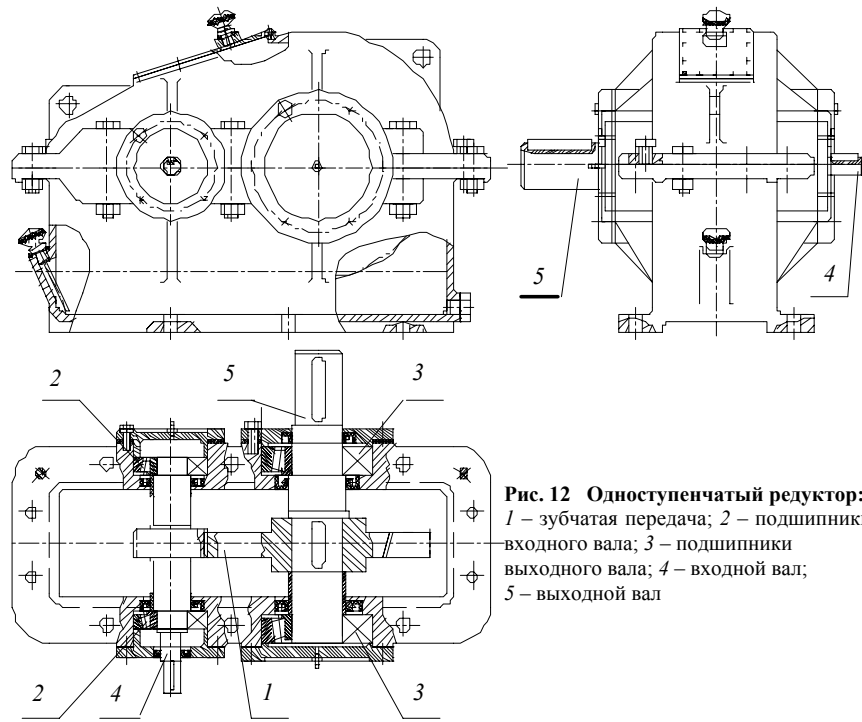


Рис. 12 Одноступенчатый редуктор:

1 – зубчатая передача; 2 – подшипники входного вала; 3 – подшипники выходного вала; 4 – входной вал; 5 – выходной вал

1 Задаемся нагрузками – значениями F_A и F_B в первом приближении, предполагая, что эти значения дадут близкие к требуемым значениям вероятностей безотказной работы систем при фиксированных нагрузках

$$F_A \approx (1 + 3v_F) m_F ;$$

$$F_B \approx (1 + v_F) m_F .$$

2 Вычисляем квантили нормального распределения элементов, соответствующие вероятностям безотказной работы при нагрузках F_A и F_B

$$u_{pAi} = \frac{F_A - m_{Ri}}{v_{Ri} m_{Ri}} ,$$

$$u_{pBi} = \frac{F_B - m_{Ri}}{v_{Ri} m_{Ri}} ,$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, 7$ – индекс элемента редуктора.

3 По квантилям нормального распределения из табл. 8 приложения находим вероятности безотказной работы элементов P_{Ai} и P_{Bi} .

4 Вероятности безотказной работы редуктора P_A и P_B при фиксированных нагрузках F_A и F_B оцениваем как произведение вероятностей безотказной работы элементов

$$P_A = \prod_{i=1}^7 P_{Ai} ;$$

$$P_B = \prod_{i=1}^7 P_{Bi} .$$

5 Сопоставляя полученные значения P_A и P_B с диапазонами допустимых значений ($P_A = 0,45 \dots 0,60$ и $P_B = 0,95 \dots 0,99$), определяем, правильно ли сделаны первые приближения нагрузок F_A и F_B . Если $P_A < 0,45$, то необходимо уменьшить нагрузку F_A , если $P_A > 0,60$ – увеличить. Аналогично, если $P_B < 0,95$, то необходимо уменьшить нагрузку F_B , если $P_B > 0,99$ – увеличить. Такие итерации необходимо делать до тех пор, пока вычисленные значения вероятностей безотказной работы не будут удовлетворять условиям

$$0,45 \leq P_A \leq 0,60 ;$$

$$0,95 \leq P_B \leq 0,99 .$$

6 Определяем математическое ожидание несущей способности редуктора

$$m_R = F_A - \frac{F_B - F_A}{u_{pB} - u_{pA}} u_{pA} ,$$

где u_{pA} , u_{pB} – квантили нормального распределения, соответствующие вероятностям безотказной работы P_A и P_B .

7 Вычисляем коэффициент вариации несущей способности редуктора

$$v_R = \frac{F_B - F_A}{F_A u_{pB} - F_B u_{pA}} .$$

8 Вычисляем квантиль нормального распределения, соответствующий вероятности безотказной работы редуктора

$$u_p = -\frac{\bar{n}-1}{\sqrt{(\bar{n}v_R)^2 + v_F^2}},$$

где \bar{n} – условный запас прочности по средним значениям несущей способности и нагрузки

$$\bar{n} = \frac{m_R}{m_F}.$$

9 По табл. 8 приложения находим искомую вероятность безотказной работы, соответствующую квантили u_p .

Задача 13 Требуется оценить вероятность безотказной работы одноступенчатого редуктора, если известно, что математические ожидания несущей способности его элементов составляют: зубчатой передачи $m_{R1} = a_1 m_F$, подшипников входного вала $m_{R2} = m_{R3} = a_2 m_F$, подшипников выходного вала $m_{R4} = m_{R5} = a_3 m_F$, выходного и входного валов $m_{R6} = m_{R7} = a_4 m_F$. Задано, что несущие способности передачи, подшипников и валов нормально распределены с коэффициентами вариации $v_{R1}, v_{R2}, v_{R3}, v_{R4}, v_{R5}, v_{R6}, v_{R7}$. Нагрузка по редуктору распределена также нормально с коэффициентом вариации v_F .

Исходные данные для расчета представлены в табл. 21 приложения.

СИСТЕМЫ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ

Система с параллельным соединением элементов не выходит из строя, пока не отказали все элементы. Блок-схема для анализа надежности системы с параллельным соединением элементов показана на рис. 13.

Вероятность безотказной работы системы вычисляется следующим образом. Если Q_s – вероятность отказа системы, то

$$Q_s = P[\bar{E}_1 \cap \bar{E}_2 \cap \dots \cap \bar{E}_n],$$

где E_n и \bar{E}_n – взаимно дополнительные события. Полагая, что все эти события независимы, имеем

$$Q_s = P(\bar{E}_1)P(\bar{E}_2) \dots P(\bar{E}_n),$$

или

$$Q_s = \prod_{i=1}^n (1 - P_i).$$

Тогда вероятность безотказной работы системы определяется как дополнение вероятности до единицы, и

$$P_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i).$$

Если интенсивности отказов элементов постоянны, то

$$P_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t}).$$

Среднее время безотказной работы

$$\begin{aligned} T_0 &= \int_0^{\infty} P_s(t) dt = \int_0^{\infty} \left\{ 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t}) \right\} dt = \\ &= \left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{\lambda_n} \right) - \left(\frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} + \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_3} + \dots \right) + \\ &+ \left(\frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} + \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4} + \dots \right) + (-1)^{n+1} \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}. \end{aligned}$$

В случае одинаковых элементов это выражение принимает вид

$$T_0 = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i}.$$

При анализе системы с параллельным соединением элементов подразумевается, что при включении системы включаются все подсистемы и что отказы не влияют на надежность подсистем, продолжающих работать.

Задача 14 Реактор непрерывного действия снабжен 6 центробежными насосами, работающими в системе с резервированием, причем если один из них выходит из строя, то другие способны работать при полной системной нагрузке. Найти вероятность безотказной работы системы в течение продолжительности выполнения технологического задания t , ч при условии, что интенсивности отказов насосов составляют $\lambda_1, \text{ч}^{-1}, \lambda_2, \text{ч}^{-1}, \lambda_3, \text{ч}^{-1}, \dots, \lambda_6, \text{ч}^{-1}$. Отказы насосов статистически независимы и все насосы начинают работать в момент времени $t = 0$.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 22 приложения.

НЕНАГРУЖЕННЫЙ РЕЗЕРВ

Рассмотренное выше параллельное соединение называется чисто параллельным включением, и, как уже говорилось, оно нетипично. Во многих случаях используются другие способы параллельного соединения. В действительности в системах с параллельным соединением элементов, особенно в механических, чаще используется включение по схеме ненагруженного резерва и параллельное соединение с распределением нагрузки.

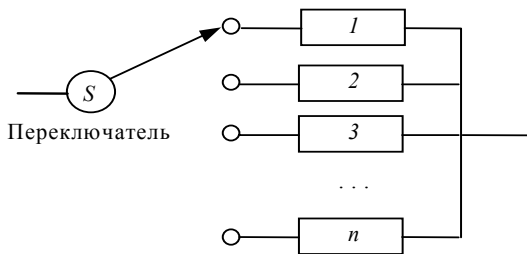


Рис. 14 Система с ненагруженным резервом

При резервировании подобного рода один элемент находится под нагрузкой, а остальные n элементов используются как ненагруженный резерв. В отличие от системы с параллельным соединением элементов, в которой функционируют все элементы, элементы ненагруженного резерва бездействуют (рис. 14).

В системе с ненагруженным резервом ненагруженный элемент не включается, пока не выйдет из строя нагруженный элемент. Переключатель S может представлять собой автоматический датчик либо просто условно означать, что оператор заменяет элемент 1 элементом 2, 3, ..., n .

Вероятность безотказной работы системы, состоящей из $(n + 1)$ элементов, один из которых функционирует, а n остальных находятся в состоянии ненагруженного резерва до момента выхода из строя нагруженного элемента, определяется как

$$P_{st}(t) = \sum_{i=0}^n \frac{(\lambda t)^i e^{-\lambda t}}{i!}.$$

Это выражение справедливо, если переключающее устройство является идеальным; все элементы идентичны; интенсивности отказов элементов постоянны; резервные элементы имеют такие же характеристики, как и новые; отказы элементов статически независимы.

Задача 15 Система состоит из n идентичных устройств, одно из которых функционирует, а другие находятся в режиме ненагруженного резерва. Интенсивности отказов всех устройств постоянны. Кроме того, предполагается, что в начале работы резервные устройства имеют такие же характеристики, как и новые. Определить вероятность безотказной работы системы в течение t часов при условии, что интенсивности отказов устройств составляют $\lambda, \text{ч}^{-1}$.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 23 приложения.

Сочетание параллельного и последовательного соединений элементов

Простые комбинации подсистемы с параллельным и последовательным соединением элементов можно легко проанализировать путем последовательного объединения подсистем в группы параллельно или последовательно соединенных эквивалентных элементов.

При рассмотрении комбинаций последовательно и параллельно соединенных элементов применимы прямые методы вычислений, используемые в случае простых систем с последовательным и параллельным соединением элементов. Таким образом, для анализа систем с комбинациями последовательных и параллельных соединений элементов основные формулы применяются последовательно.

Задача 16 Технологический аппарат состоит из 10 основных узлов и представлен структурными схемами на рис. 15. Рассчитать надежность функционирования технологического аппарата, если надежность каждого узла составляет P_i .

Исходные данные для расчета представлены в табл. 24 приложения.

Задача 17 Вероятность безотказной работы технологического аппарата, состоящего из 10 элементов, равна P_S . Найти вероятность безотказной работы каждого элемента, если известно, что они одинаковы.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 24 приложения.

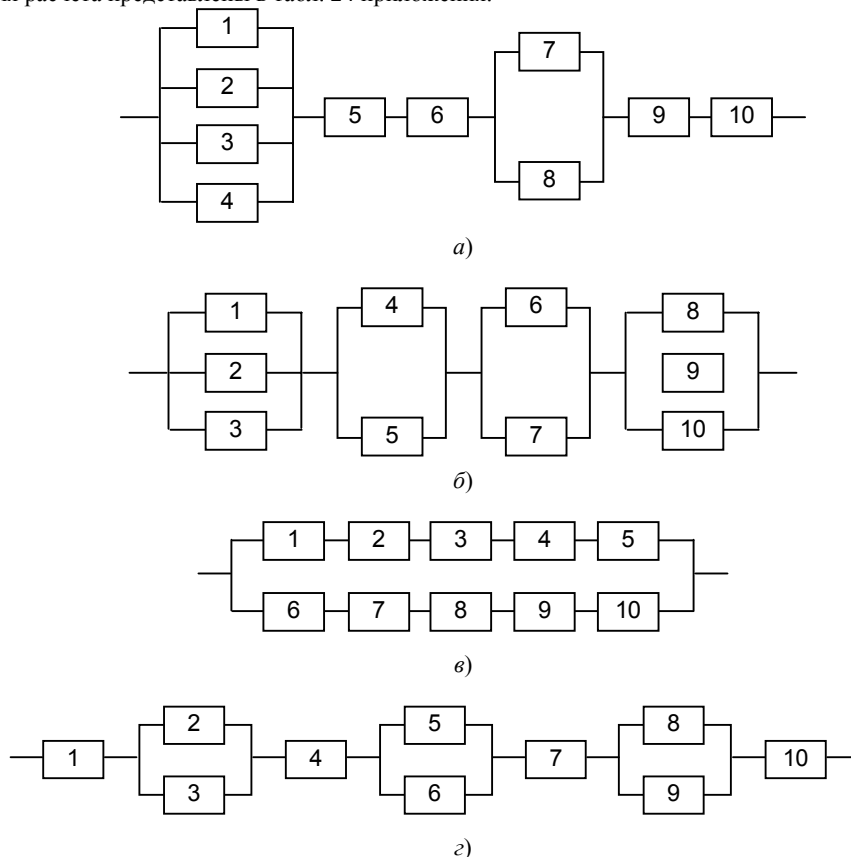


Рис. 15 Структурные схемы технологического аппарата

Система с k исправными элементами из n

В такой системе используется еще одна форма резервирования, которая обычно реализуется в тех случаях, когда для обеспечения успешного функционирования системы необходимо, чтобы определенное число устройств сохраняло свою работоспособность. Частными случаями данной системы при $k = n$ и $k = 1$ являются соответственно системы с последовательным и параллельным соединением элементов.

Вероятность безотказной работы такой системы находится с помощью биномиального распределения. Вероятность безотказной работы системы, сохраняющей работоспособность при функционировании k из n независимых и одинаковых элементов, имеет вид

$$P_{k/n} = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} P^i (1-P)^{n-i}.$$

При постоянной интенсивности отказов λ элементов это выражение принимает вид

$$P_{k/n}(t) = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} (e^{-\lambda t})^i (1 - e^{-\lambda t})^{n-i}.$$

Задача 18 Система состоит из n элементов. Рассчитать вероятность безотказной работы такой системы, сохраняющей работоспособность при функционировании k из n независимых и одинаковых элементов в течении t часов, если известно, что интенсивность отказов элементов постоянна и составляет λ , ч⁻¹.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 25 приложения.

Вероятность безотказной работы мостиковой схемы, состоящей из пяти неодинаковых и независимых элементов (рис. 16), определяется по формуле

$$P_b = 2P_1P_2P_3P_4P_5 - P_2P_3P_4P_5 - P_1P_3P_4P_5 - P_1P_2P_4P_5 - P_1P_2P_3P_5 - P_1P_2P_3P_4 + P_1P_3P_5 + P_2P_3P_4 + P_1P_4 + P_2P_5.$$

В случае идентичных элементов эта формула принимает вид

$$P_b = 2P^5 - 5P^4 + 2P^3 + 2P^2.$$

В случае элементов с постоянной интенсивностью отказов

$$P(t) = 2e^{-5\lambda t} - 5e^{-4\lambda t} + 2e^{-3\lambda t} + 2e^{-2\lambda t}.$$

Средняя наработка на отказ находится путем интегрирования

$$T_0 = \int_0^{\infty} (2e^{-5\lambda t} - 5e^{-4\lambda t} + 2e^{-3\lambda t} + 2e^{-2\lambda t}) dt = \frac{491}{60\lambda}.$$

Задача 19 Определить вероятность безотказной работы и среднюю наработку на отказ системы, состоящей из пяти независимых и одинаковых элементов, соединенных по мостиковой схеме, к моменту времени t , ч. Считается, что элементы имеют постоянную интенсивность отказов λ , ч⁻¹ и все элементы начинают работать в момент времени $t = 0$.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 26 приложения.

МОСТИКОВАЯ СХЕМА

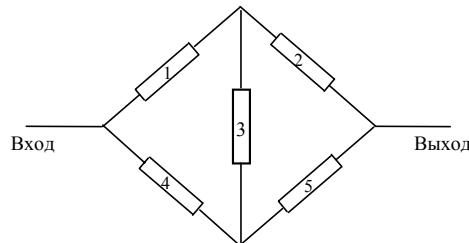


Рис. 16 Система, состоящая из пяти элементов, соединенных по мостиковой схеме

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Уровень надежности определяется в процессе проектирования и на последующих этапах изготовления, сборки и поставки системы. По этой причине невозможно повысить заложенный уровень надежности. На этапе проектирования определяется также структура системы, а выбранная структура системы влияет на уровень надежности и определяет затраты, необходимые для достижения этого уровня. Таким образом, предварительный анализ надежности и определение многих других конструктивных параметров необходимо проводить на этапе проектирования.

Конструктор, создавая систему, должен быть знаком с основными методами теории надежности, которые могут применяться для оценки конструкции. Только после завершения проектирования специальная группа надежности может провести расчетную и экспериментальную оценку показателей надежности изделия. Поэтому важно, чтобы инженер оценивал уровень надежности и стоимость различных проектов прежде, чем сделать окончательный выбор.

В основу расчетов надежности заложено то, что каждый элемент обладает определенной прочностью по отношению к нагрузкам. Обычный способ проектирования, основанный на применении таких весьма произвольных коэффициентов, как коэффициент запаса прочности не позволяет судить о вероятности отказа элемента. Некоторые конструкторы считают, что отказ элемента можно полностью исключить, используя коэффициент запаса, превышающий некоторое определенное значение. В действительности же при одном и том же коэффициенте запаса вероятность отказа может колебаться в весьма широких пределах.

Использование коэффициента запаса оправдано только в том случае, когда его значение задано на основе большого опыта применения элементов, аналогичных рассматриваемому. Кроме того, конструктивные параметры часто являются случайными величинами, что игнорируется при обычных методах проектирования.

Ясно, что обычный детерминистский подход к проектированию не является удовлетворительным с точки зрения анализа надежности. Поэтому необходима другая методика проектирования, которая учитывала бы вероятностный характер конструктивных параметров, с тем чтобы надежность элементов можно было оценивать на этапе проектирования. В этом случае в явном виде задаются все

конструктивные параметры, которые в свою очередь определяют распределение напряжения и прочности. Если оба эти распределения определены, то можно легко вычислить вероятность безотказной работы элемента.

В последнее время инженеры и конструкторы все в большей степени привлекают расчетные методы различных дисциплин при разработке технических изделий. В частности, вероятностные прочностные расчеты, получившие развитие при проектировании авиационной и космической техники, в настоящее время распространяются и на другие изделия.

Первым этапом при проектировании элемента является определение окружающих условий, так как они являются важнейшим фактором при расчетах напряжения и прочности. При расчете прочности необходимо учитывать свойства используемого материала и распределение вероятностей для таких факторов, влияющих на прочность, как например, чистота и способ обработки поверхности. При расчете напряжений необходимо учитывать статистические данные о нагрузках и распределениях факторов, влияющих на напряжение, например таких, как концентрация напряжений и температура. Путем таких расчетов можно найти распределения напряжения и прочности и их параметры. Затем эти распределения используются для вычисления такого показателя надежности элемента (в отношении определенного вида отказов), как вероятность того, что прочность элемента превышает нагрузку, действующую на элемент. Для эффективного применения этой методики инженер должен располагать достаточной информацией о распределении прочности, иметь данные о ее ухудшении и расчетные данные о распределении нагрузок.

Процесс анализа надежности состоит из следующих этапов:

- 1 Проведение предварительного проектирования.
- 2 Оценивание внешних факторов.
- 3 Анализ предварительного варианта системы, включая действующие на элементы нагрузки с учетом плотностей их распределения.
- 4 Выбор материалов на основании их механических и физических свойств, а также экономической целесообразности применения.
- 5 Характеристика прочности материала и разрушающих нагрузок, включая их распределения.
- 6 Количественная оценка прочности элементов и разрушающих нагрузок, которые зависят от характеристик материала, геометрической конфигурации элементов, ожидаемых рабочих нагрузок.
- 7 Описание совместного воздействия прочности и разрушающих нагрузок.

Если рассматривать полную программу обеспечения надежности при проектировании, то она должна включать следующие этапы:

- 1 Постановка задачи.
- 2 Определение конструктивных параметров.
- 3 Анализ характера, последствий и важности отказов.
- 4 Проверка правильности выбора наиболее важного конструктивного параметра.
- 5 Формулировка соотношения между критическими параметрами и критериями, определяющими появление отказа.
- 6 Расчет напряжения, определяющего появление отказа.
- 7 Выбор распределения напряжения, определяющего появление отказа.
- 8 Расчет прочности, определяющей появление отказа.
- 9 Выбор распределения прочности, определяющей появление отказа.
- 10 Расчет показателей надежности, связанных с этими распределениями, определяющими появление отказа, для каждого критического вида отказа.
- 11 Повторный цикл проектирования для обеспечения заданной надежности.
- 12 Оптимизация конструкции с точки зрения рабочих характеристик, стоимости, веса и т.д.
- 13 Повторный цикл оптимизации для каждого ответственного элемента системы.
- 14 Расчет показателей надежности системы.
- 15 Повторение всех этапов с целью оптимизаций надежности системы.
- 16 Рассмотрим пример проектирования нового элемента с учетом надежности, когда известно, что элемент испытывает растягивающее напряжение, имеются его прочностные характеристики и закон их распределения (нормальный). Целью расчета является определение максимального среднего квадратического отклонения прочности, гарантирующего требуемую вероятность безотказной работы. Методика расчета может быть представлена в следующем виде.

- 1 Среднее эффективное напряжение, МПа

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_t - \bar{\sigma}_c,$$

где $\bar{\sigma}_t$, $\bar{\sigma}_c$ – растягивающее и остаточное сжимающее напряжения, МПа.

- 2 Среднее квадратическое отклонение среднего эффективного напряжения

$$S_\sigma = S_t - S_c,$$

где S_t , S_c – среднее квадратическое отклонение растягивающего и остаточного сжимающего напряжений, соответственно, МПа.

3 С помощью таблицы для нормального распределения (табл. 8) определяется значение квантили нормального распределения u_p , соответствующее требуемой вероятности безотказной работы P .

- 4 Используя уравнение связи

$$u_p = -\frac{\bar{\sigma}_S - \bar{\sigma}}{\sqrt{S_S^2 + S_\sigma^2}}$$

и зная $\bar{\sigma}_S$ – среднее значение эффективной прочности, МПа, определяется максимальное значение среднего квадратического отклонения прочности

$$S_S = \sqrt{\frac{(\bar{\sigma}_S - \bar{\sigma})^2}{u_p^2} - S_\sigma^2}.$$

Задача 20 Требуется спроектировать новый элемент. Анализ напряжений показал, что элемент испытывает растягивающее напряжение. Нагрузка меняется, и растягивающее напряжение имеет нормальное распределение с математическим ожиданием $\bar{\sigma}_t$, МПа и средним квадратическим отклонением S_t , МПа. Производственные операции вызывают остаточное сжимающее напряжение, имеющее нормальное распределение с математическим ожиданием $\bar{\sigma}_c$, МПа и средним квадратическим отклонением S_c , МПа. Анализ прочности элемента показал, что среднее значение эффективной прочности составляет $\bar{\sigma}_S$, МПа. Рассчитать максимальное значение среднего квадратического отклонения прочности, при котором гарантируется, что вероятность безотказной работы элемента не окажется меньше P .

Исходные данные для расчета представлены в табл. 27 приложения.

РАСЧЕТЫ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ОТДЕЛЬНЫХ ГРУПП

Надежность соединений с натягом

Актуальность расчета надежности соединений с натягом вызывается большим рассеянием: натягов, образуемых как разность двух больших близких размеров – диаметров вала и отверстия; коэффициентов трения, зависящих от многих факторов – состояния поверхности, оксидных пленок, случайного попадания масла, а также внешних нагрузок.

В качестве примера, хорошо иллюстрирующего вариант соединения с натягом, рассмотрим соединение вала и ступицы зубчатого колеса (рис. 17).

1 Среднее значение натяга \bar{N} (мкм) равно разности средних значений отклонений вала \bar{e} и отверстия \bar{E} , которые в системе отверстия можно выразить через табличные значения допусков диаметров вала t_e , отверстия t_E (табл. 28 приложения) и нижнее отклонение диаметра вала ei (табл. 29 приложения):

$$\bar{N} = \bar{e} - \bar{E} = ei + 0,5(t_e - t_E).$$

Среднее квадратическое отклонение S_N натяга

$$S_N = \frac{1}{6} \sqrt{t_e^2 + t_E^2}.$$

Тогда коэффициент вариации v_N натяга

$$v_N = \frac{S_N}{\bar{N}}.$$

При изготовлении вала и отверстия по одинаковым квалитетам точности $t_e = t_E = t$

$$\bar{N} = ei, \quad v_N = \frac{\sqrt{2}t}{6ei} = 0,236 \frac{t}{ei}.$$

2 Поправку на обмятие микронеровностей (мкм) рассчитываем как сумму высот микронеровностей посадочных поверхностей R_{z1} и R_{z2} :

$$u = 1,2(R_{z1} + R_{z2}),$$

где R_{z1} , R_{z2} – определяются по табл. 30 приложения в зависимости от посадки и размеров деталей.

3 Безразмерный коэффициент, определяющий соотношение геометрических размеров (диаметра) вала и зубчатого колеса, рассчитывается как

$$\psi = \frac{1 + \left(\frac{d}{D}\right)^2}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2},$$

где d – диаметр вала, мм; D – диаметр зубчатого колеса, мм.

4 Среднее значение давления на посадочной поверхности для соединения сплошного вала со ступицей с наружным диаметром D , мм, из материалов с одинаковым модулем упругости E , МПа, и одинаковым коэффициентом поперечного сжатия определяется как

$$\bar{p} = \frac{(\bar{N} - u)E \cdot 10^{-3}}{d(1 + \psi)}.$$

5 Коэффициент вариации давления на посадочной поверхности

$$v_p = v_N \frac{1}{\left(1 - \frac{u}{\bar{N}}\right)}.$$

6 Расчет надежности соединения зубчатого колеса и сплошного вала по критерию прочности сцепления.

6.1 Среднее значение предельного по прочности сцепления момента рассчитывается по средним значениям давления на посадочной поверхности и коэффициента трения как

$$\bar{T}_{\text{lim}} = 0,5 \cdot 10^{-3} \pi d^2 l \bar{p} \bar{f} \frac{1}{K},$$

где l – длина посадочной поверхности, мм; \bar{f} – среднее значение коэффициента трения; K – коэффициент, учитывающий уменьшение давления контакта со временем.

6.2 Коэффициент вариации предельного по прочности сцепления момента рассчитывается в зависимости от коэффициентов вариации давления v_p и коэффициента трения v_f

$$v_{\text{lim}} = \sqrt{v_p^2 + v_f^2}.$$

6.3 Коэффициент запаса прочности по средним значениям

$$\bar{n}_c = \frac{\bar{T}_{\text{lim}}}{\bar{T}},$$

где \bar{T} – среднее значение вращающего момента, Н·м.

6.4 Квантиль нормированного нормального распределения

$$u_p = -\frac{\bar{n}_c - 1}{\sqrt{\bar{n}_c^2 v_{\text{lim}}^2 + v_T^2}}.$$

6.5 Вероятность безотказной работы P_c соединения зубчатого колеса со сплошным валом по критерию прочности сцепления определяется по табл. 8 приложения в зависимости от квантиля нормированного нормального распределения u_p .

7 Расчет надежности соединения зубчатого колеса и сплошного вала по критерию прочности охватываемой детали (ступицы колеса).

Опасные напряжения возникают у внутренней поверхности охватываемой детали – зубчатого колеса. Условие прочности

$$\sigma_3 < \sigma_{t2},$$

где σ_3 – наибольшее эквивалентное напряжение; σ_{t2} – предел текучести материала охватываемой детали.

7.1 Среднее значение эквивалентного напряжения у посадочной поверхности ступицы колеса равно

$$\bar{\sigma}_3 = \frac{2\bar{p}}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2}.$$

7.2 Коэффициент вариации эквивалентного напряжения у посадочной поверхности ступицы колеса v_3 равен коэффициенту вариации давления на посадочной поверхности

$$v_3 = v_p.$$

7.3 Коэффициент запаса прочности по средним напряжениям

$$\bar{n}_p = \frac{\bar{\sigma}_t}{\bar{\sigma}_3}.$$

7.4 Квантиль нормированного нормального распределения

$$u_p = -\frac{\bar{n}_p - 1}{\sqrt{\bar{n}_p^2 v_t^2 + v_3^2}}.$$

7.5 Вероятность безотказной работы P_n соединения зубчатого колеса со сплошным валом по критерию прочности охватываемой детали определяется по таблице 8 приложения в зависимости от квантиля нормированного нормального распределения u_p .

Задача 21 Соединение зубчатого колеса со сплошным валом диаметром d , мм, соответствует заданной посадке. Соединение нагружено вращающим моментом T , заданным случайной нормально распределенной величиной со средним значением \bar{T} , Н·м, и коэффициентом вариации v_T . Определить вероятность безотказной работы соединения по критерию прочности сцепления охватываемой (вала) и охватываемой деталей (ступицы колеса), если известно, что диаметр ступицы зубчатого колеса D , мм; длина посадочной поверхности l , мм; модуль упругости материала (сталь) деталей $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа; среднее значение и коэффициент вариации коэффициента трения соответственно равны \bar{f} и v_f ; коэффициент, учитывающий уменьшение со временем контакта, равен $K = 1,5$; среднее значение предела текучести материала охватываемой детали $\sigma_{t2} = 580$ МПа, коэффициент вариации $v_t = 0,06$.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 31 приложения.

Надежность сварных соединений

В ряде машин и аппаратов надежность конструкций в значительной степени определяется сопротивлением усталости сварных соединений.

Предел выносливости сварных соединений имеет значительное рассеяние. Чтобы оценить его коэффициент вариации, проанализированы результаты усталостных испытаний. Это позволило оценить коэффициенты вариации предела выносливости вследствие разброса качества сварного шва (табл. 32 приложения).

На усталостную прочность сварного соединения значительное влияние оказывает качество подготовки деталей под сварку (разброс угла разделки кромок, разброс зазора между кромками, степень несовпадения стыкуемых поверхностей, загрязнения кромок), наличие поверхностных дефектов шва (подрезов, кратеров, прижогов), неоднородность шва (наличие пор, шлаковых включений, несплавлений, непроваров, трещин).

Ниже предлагаемый расчет предполагает, что сварной шов выполнен качественно при контроле подготовительных операций, режима сварки и при применении различных методов дефектоскопии (радиационного, ультразвукового, магнитного, капиллярного) после сварки. В случаях, если контроль не обеспечен, неоднородность шва может существенно понизить показатели надежности соединения.

Вероятностный расчет сопротивления усталости сварного соединения может быть представлен в следующем виде.

1 Среднее значение предела выносливости (МПа)

$$\bar{\sigma}_{-1\delta} = \frac{\bar{\sigma}_{-1} \varepsilon_\sigma \beta \gamma}{k_\sigma},$$

где $\bar{\sigma}_{-1}$ – среднее значение предела выносливости гладкого образца, МПа; ε_{σ} – коэффициент влияния абсолютных размеров; β – коэффициент, учитывающий упрочнение, $\beta \geq 1,0$; γ – коэффициент, учитывающий состояние поверхности, $\gamma \leq 1,0$; k_{σ} – эффективный коэффициент концентрации напряжения, принимается по табл. 33 приложения в зависимости от характеристик сварного шва.

Примем $\beta = 1,0$, $\gamma = 1,0$, $\varepsilon_{\sigma} = 1,0$.

2 Коэффициент запаса прочности по средним напряжениям

$$\bar{n} = \frac{\bar{\sigma}_{-1\partial}}{\bar{\sigma}_a},$$

где $\bar{\sigma}_a$ – среднее значение действующих напряжений, МПа.

3 Коэффициент вариации предела выносливости сварной детали

$$v_{-1\partial} = \sqrt{v_{\partial}^2 + v_{св}^2 + v_{пл}^2 + v_{пов}^2},$$

где v_{∂} – коэффициент вариации предела выносливости детали одной плавки без сварного шва, принимается в пределах $v_{\partial} = 0,04 \dots 0,06$ (чем меньше наиболее напряженный объем, тем больше величина v_{∂}); $v_{пл}$ – коэффициент вариации среднего предела выносливости по плавкам, принимают равным $v_{пл} = 0,06 \dots 0,08$; $v_{пов}$ – коэффициент вариации среднего предела выносливости в зависимости от состояния поверхностей свариваемых деталей – если окалина удалена, кромки деталей не повреждены кислородной резкой, то принимают $v_{пов} = 0$, в противном случае $v_{пов} = 0,06$; $v_{св}$ – коэффициент вариации предела выносливости вследствие разброса качества сварного шва, принимается по табл. 32 приложения.

4 Квантиль нормированного нормального распределения

$$u_p = -\frac{\bar{n} - 1}{\sqrt{\bar{n}^2 v_{-1\partial}^2 + v_a^2}}.$$

5 Вероятность безотказной работы сварного шва $P_{св}$ определяется по табл. 8 приложения в зависимости от значения квантили нормированного нормального распределения.

Задача 22 Рассчитать вероятность безотказной работы сварного шва заданными конфигурацией и характеристиками, если среднее значение действующих напряжений составляет $\bar{\sigma}_a$, МПа; среднее значение предела выносливости гладкого образца $\bar{\sigma}_{-1}$, МПа; расчетное сечение основного металла расположено вдали от сварного шва; коэффициент вариации нагрузки $v_a = 0,1$.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 34 приложения.

Надежность резьбовых соединений

Вопрос о надежности резьбовых соединений возникает в основном в связи с рассеянием нагрузок, предела выносливости болтов, разбросом их ударной прочности при низких температурах и с недостаточной надежностью многих применяемых средств стопорения. Ниже рассматривается надежность болтов по критерию прочности при статических и переменных нагрузках.

Специфика расчета резьбовых соединений на надежность может быть сведена к учету рассеяния начальной затяжки и к уточненному учету рассеяния концентрации напряжений. В расчете принимаем случайными величинами внешнюю нагрузку, силу начальной затяжки, предел выносливости материала и эффективный коэффициент концентрации напряжений в связи с разбросом радиуса выкрутки резьбы.

Сильная затяжка повышает надежность работы резьбового соединения, так как при этом повышается жесткость стыка и существенно понижается доля переменной нагрузки, приходящейся на болт.

Чтобы обеспечить требуемую затяжку болтов, силу затяжки контролируют. Методы контроля основаны на замере: удлинения болта (шпильки), угла поворота гайки, крутящего момента при затяжке гайки. Первый метод наиболее точен, третий – наиболее распространен вследствие простоты и приспособленности для крупносерийного производства. Контроль в этом случае производят с помощью ключа предельного момента или динамометрического ключа.

Считается, что при затяжке динамометрическим ключом разброс силы затяжки составляет $\pm (25 \dots 30) \%$, при затяжке на определенный угол поворота гайки – $\pm 15 \%$, при контроле затяжки по деформации тарированной упругой шайбы – $\pm 10 \%$, при контроле удлинения болта – $\pm (3 \dots 5) \%$. Этим значениям разброса соответствуют приблизительно следующие коэффициенты вариации силы затяжки: 0,09; 0,05; 0,04; 0,02.

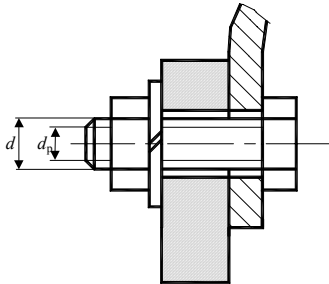


Рис. 18 Расчетная схема болтового соединения

Вероятностный расчет работоспособности и надежности болтового соединения (рис. 18) сводится к оценке вероятности безотказной работы соединения, в простейшем предположении равной произведению вероятностей безотказной работы по основным критериям: нераскрытию стыка, несдвигаемости стыка, прочности болтов и т.д. Естественно, что количество учитываемых критериев определяется в зависимости от их значимости.

1.1 Вычисляем среднее значение силы затяжки

$$\bar{F}_{зат} = \frac{0,5 \sigma_t \pi d_p^2}{4},$$

где d_p – диаметр резьбы, определяемый по табл. 35 приложения в зависимости от диаметра болта d , мм ($d_p = d_1$); σ_t – предел текучести материала болта, принимается по табл. 36 приложения в зависимости от класса прочности болта и его диаметра, МПа.

1.2 Коэффициент запаса нераскрытия стыка по средним нагрузкам

$$\bar{n}_1 = \frac{\bar{F}_{зат}}{\beta_c \bar{F} (1 - \chi)},$$

где β_c – коэффициент, учитывающий возможное ослабление затяжки вследствие обмятия

стыков, $\beta_c = 1,1$; \bar{F} – среднее значение силы, Н; $(1-\chi)$ – множитель, характеризующий долю внешней нагрузки на стык; в рабочем диапазоне внешних нагрузок при достаточных силах затяжки болтов для стальных и чугунных деталей можно принять $\chi = 0,2 \dots 0,3$.

1.3 Квантиль нормального распределения

$$u_{p1} = -\frac{\bar{n}_1 - 1}{\sqrt{\bar{n}_1^2 v_{\text{зат}}^2 + v_f^2}},$$

где $v_{\text{зат}}$ – коэффициент вариации усилия затяжки.

1.4 Вероятность безотказной работы P_1 определяем по табл. 8 приложения в зависимости от квантили нормального распределения u_{p1} .

2.1 Среднее значение расчетного напряжения, МПа

$$\bar{\sigma}_{\text{рас}} = \frac{4}{\pi d_p^2} (1,3\bar{F}_{\text{зат}} + \chi\bar{F}).$$

2.2 Коэффициент запаса прочности по средним напряжениям

$$\bar{n}_3 = \frac{\bar{\sigma}_t}{\bar{\sigma}_{\text{рас}}}.$$

2.3 Полагая, что $v_{\text{рас}} = v_{\text{зат}}$, квантиль нормального распределения составит

$$u_{p3} = -\frac{\bar{n}_3 - 1}{\sqrt{\bar{n}_3^2 v_{\text{ст}}^2 + v_{\text{зат}}^2}},$$

2.4 Вероятность безотказной работы P_3 определяем по табл. 8 приложения в зависимости от квантили нормального распределения u_{p3} .

3.1 Среднее значение предела выносливости болта (МПа)

$$\bar{\sigma}_{-1\delta} = \bar{\sigma}_{-1} \frac{\epsilon_\sigma}{k_\sigma} \beta \beta_{\text{уп}},$$

где $\bar{\sigma}_{-1}$ – среднее значение предела выносливости гладкого образца, МПа; β – коэффициент, для соединения стандартными болтами и гайками $\beta = 1$, для соединений типа стяжки $\beta = 1,5 \dots 1,6$; $\beta_{\text{уп}}$ – коэффициент технологического упрочнения, для болтов с нарезной резьбой $\beta_{\text{уп}} = 1,0$, для болтов с накатанной резьбой $\beta_{\text{уп}} = 1,2 \dots 1,3$; ϵ_σ – коэффициент влияния абсолютных размеров, примем $\epsilon_\sigma = 1,0$; k_σ – среднее значение эффективного коэффициента концентрации напряжений, принимают в зависимости от предела прочности материала σ_B по табл. 37 приложения.

Среднее значение предела выносливости гладкого образца определяется по приближенной эмпирической зависимости для случая нагружения с симметричным циклом. Для углеродистой стали при растяжении или сжатии (МПа)

$$\bar{\sigma}_{-1} = (0,40 \dots 0,46) \sigma_B.$$

3.2 Среднее значение действующих напряжений определяем по формуле

$$\bar{\sigma}_a = \frac{4}{\pi d_p^2} \left[0,5\chi\bar{F} + \frac{\psi}{k_\sigma} (\bar{F}_{\text{зат}} + 0,5\chi\bar{F}) \right],$$

где $0,5\bar{F}$ – среднее значение амплитуды нагрузки; ψ – коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла, примем $\psi = 0,1$.

3.3 Коэффициент запаса прочности по средним напряжениям

$$\bar{n}_4 = \frac{\bar{\sigma}_{-1\delta}}{\bar{\sigma}_a}.$$

3.4 Коэффициент вариации предела выносливости болта $v_{-1\delta}$ включает коэффициенты вариации предела выносливости детали одной плавки v_δ , среднего предела выносливости по плавкам $v_{\text{пл}}$ и эффективного коэффициента концентрации напряжений v_a

$$v_{-1\delta} = \sqrt{v_\delta^2 + v_{\text{пл}}^2 + v_a^2}.$$

Эффективный коэффициент концентрации напряжений приближенно можно принять равным $v_a = 0,023$. Коэффициент вариации предела выносливости детали одной плавки приближенно можно принять равным $v_\delta = 0,06 \dots 0,08$; коэффициент вариации среднего предела выносливости по плавкам можно принять $v_{\text{пл}} = 0,08$.

3.5 Квантиль нормированного нормального распределения

$$u_{p4} = -\frac{\bar{n}_4 - 1}{\sqrt{\bar{n}_4^2 v_{-1\delta}^2 + v_a^2}}.$$

3.6 Вероятность безотказной работы по критерию сопротивления усталости P_4 определяем по таблице 8 приложения в зависимости от квантили нормального распределения u_{p4} .

4 Вероятность безотказной работы соединения

$$P_S = P_1 P_3 P_4.$$

Задача 23 Две стальные детали стянуты болтом заданного класса прочности. Соединение нагружено растягивающей силой, изменяющейся от 0 до F . Среднее значение силы \bar{F} , Н, коэффициент вариации силы ν_F . Оценить вероятность безотказной работы по основным критериям: нераскрытия стыка, статической прочности и сопротивления усталости болта. Контроль затяжки осуществляется динамометрическим ключом. Прочностные характеристики соединения: коэффициент вариации предела текучести материала болта ν_{σ_t} ; коэффициент вариации усилия затяжки $\nu_{зат}$.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 38 и 39 приложения.

Надежность зубчатых передач

Расчет надежности зубчатых передач (рис. 19) состоит из двух этапов: на первом этапе производится расчет на сопротивление контактной усталости, на втором – расчет на сопротивление усталости при изгибе.

1 Расчет на сопротивление контактной усталости.

Вероятность безотказной работы P_H по критерию сопротивления контактной усталости определяется как вероятность того, что контактное напряжение (расчетный параметр) σ_H не превышает предела контактной выносливости (предельного значения расчетного параметра) $\sigma_{H \text{ lim}}$, т.е. $P_H = \text{Вер}(\sigma_H < \sigma_{H \text{ lim}})$.

1.1 Коэффициенты вариации частных коэффициентов нагрузки.

1.1.1 Коэффициент вариации коэффициента, учитывающего распределение нагрузки по ширине венца $\bar{K}_{H\beta}$

$$\nu_{H\beta} = \frac{1}{9} \frac{\bar{K}_{H\beta} - 1}{\bar{K}_{H\beta}}$$

1.1.2 Коэффициент вариации коэффициента, учитывающего динамическую нагрузку, возникающую в зацеплении \bar{K}_{HV}

$$\nu_{HV} = 0,17 \frac{\bar{K}_{HV} - 1}{\bar{K}_{HV}}$$

1.1.3 Коэффициент вариации $\nu_{H\alpha}$ коэффициента, учитывающего распределение нагрузки между зубьями $\bar{K}_{H\alpha}$, выбирается по табл. 40 приложения.

1.2 Коэффициент вариации коэффициента нагрузки

$$\nu_{H\Sigma} = \sqrt{\nu_A^2 + \nu_{H\beta}^2 + \nu_{HV}^2 + \nu_{H\alpha}^2},$$

где ν_A – коэффициент вариации коэффициента внешней нагрузки \bar{K}_A .

1.3 Коэффициент вариации контактного напряжения

$$\nu_{\sigma H} = 0,5 \nu_{H\Sigma}$$

1.4 Коэффициент вариации зубчатого колеса

$$\nu_{H \text{ lim}} = \sqrt{(\nu_{H \text{ lim}}^0)^2 + 0,05^2},$$

где $\nu_{H \text{ lim}}^0$ – коэффициент вариации базового образца.

1.5 Коэффициент запаса прочности по средним напряжениям

$$\bar{n}_H = \frac{\bar{\sigma}_{H \text{ lim}}}{\bar{\sigma}_H},$$

где $\bar{\sigma}_H$ – среднее значение контактных напряжений, МПа; $\bar{\sigma}_{H \text{ lim}}$ – среднее значение предела выносливости, МПа.

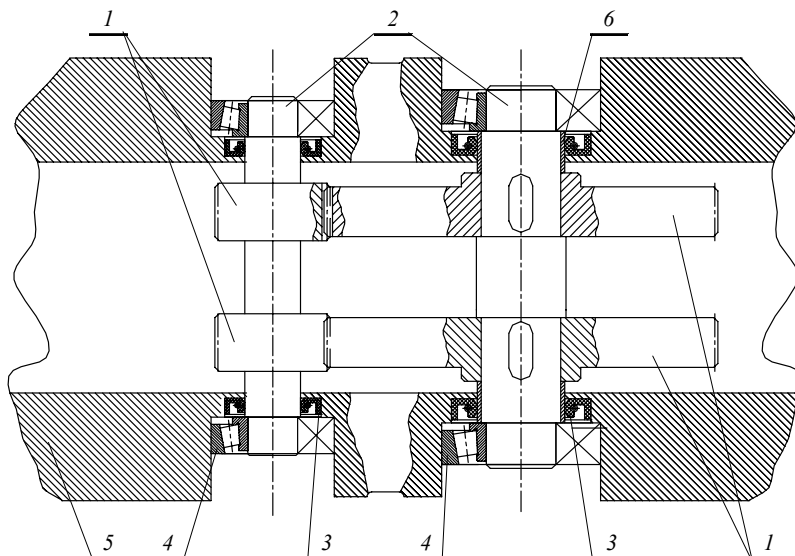


Рис. 19 Конструктивная схема зубчатой передачи:

1 – зубчатые колеса; 2 – входной и выходной валы; 3 – манжетное уплотнение;
4 – подшипниковый узел; 5 – корпус; 6 – втулка

1.6 Квантиль нормированного нормального распределения

$$u_p = -\frac{\bar{n}_H - 1}{\sqrt{\bar{n}_H^2 \upsilon_{H \lim}^2 + \upsilon_{\sigma H}^2}}.$$

1.7 По табл. 8 приложения в зависимости от величины квантили нормированного нормального распределения u_p определяем вероятность безотказной работы по критерию сопротивления контактной усталости P_H .

2 Расчет на сопротивление усталости при изгибе. В качестве расчетного параметра принимают напряжение на переходной поверхности зуба σ_F (МПа).

2.1 Среднее значение предела выносливости базового образца $\bar{\sigma}_{F \lim}^0$ вычисляется по формуле

$$\bar{\sigma}_{F \lim}^0 = (1,35HB + 100) \frac{1}{1 + 1,28 \upsilon_{F \lim}^0},$$

где HB – твердость зуба колеса; $\upsilon_{F \lim}^0$ – коэффициент вариации предела выносливости зубьев базового образца: для нормализованных и улучшенных зубчатых колес $\upsilon_{F \lim}^0 = 0,08 \dots 0,10$, для зубчатых колес с объемной закалкой ТВЧ $\upsilon_{F \lim}^0 = 0,1 \dots 0,14$, для азотированных колес $\upsilon_{F \lim}^0 = 0,1 \dots 0,12$.

2.2 Зубчатое колесо можно рассматривать как последовательную систему, состоящую из z элементов – зубьев. Разрушение колеса (системы) отождествляем с разрушением наименее прочного зуба – «слабого звена». Среднее значение и коэффициент вариации предела выносливости наименее прочного зуба меньше, чем аналогичные характеристики предела выносливости зубьев. Это учитывается введением в расчетные зависимости коэффициентов: K_z – при определении среднего значения $\bar{\sigma}_{F \lim}$; α_z – при определении коэффициента вариации $\upsilon_{F \lim}$ предела выносливости рассчитываемого колеса.

Значение коэффициентов K_z и α_z для числа зубьев $z = 20 \dots 100$ в зависимости от различных значений $\upsilon_{F \lim}^0$ (меньшие значения K_z и α_z соответствуют большему числу зубьев) определяются по табл. 41 приложения.

2.3 Среднее значение предела выносливости рассчитываемого зубчатого колеса (МПа)

$$\bar{\sigma}_{F \lim} = \bar{\sigma}_{F \lim}^0 K_z K_{FL} \prod_{i=1}^m K_i,$$

где K_{FL} – коэффициент долговечности; $\prod_{i=1}^m K_i$ – произведение корректирующих коэффициентов, учитывающих отличие коэффициентов концентрации и шероховатостей поверхностей выкружек базового и рассчитываемого колеса, масштабный фактор, технологию изготовления, назначаемых на основе накопленных ранее результатов исследований.

2.4 Коэффициент вариации предела выносливости рассчитываемого зубчатого колеса

$$\upsilon_{F \lim} = \sqrt{(\alpha_z \upsilon_{F \lim}^0)^2 + 0,14^2}.$$

2.5 Коэффициент запаса прочности по средним напряжениям

$$\bar{n}_F = \frac{\bar{\sigma}_{F \lim}}{\bar{\sigma}_F}.$$

2.6 Квантиль нормированного нормального распределения

$$u_p = -\frac{\bar{n}_F - 1}{\sqrt{\bar{n}_F^2 \upsilon_{F \lim}^2 + \upsilon_{\sigma F}^2}}.$$

2.7 По табл. 8 приложения в зависимости от величины квантили нормированного нормального распределения u_p определяем вероятность безотказной работы по критерию сопротивления усталости зубчатого колеса при изгибе P_F .

3 Надежность зубчатых передач в комплексе. Вероятность безотказной работы P зубчатой передачи определяется как произведение вероятностей безотказной работы по отдельным критериям. Для широкого круга зубчатых передач, у которых наиболее опасны усталостные разрушения, вероятность безотказной работы равна

$$P = P_F P_H,$$

где P_H и P_F – вероятности безотказной работы по критерию сопротивления усталости при контакте и изгибе, соответственно.

Задача 24 Для цилиндрической прямозубой передачи рассчитать вероятность безотказной работы. Среднее значение контактных напряжений $\bar{\sigma}_H$, МПа; средние значения частных коэффициентов \bar{K}_A , $\bar{K}_{H\beta}$, \bar{K}_{HV} , $\bar{K}_{H\alpha}$; коэффициент вариации коэффициента внешней нагрузки υ_A . Колеса выполнены из стали, подвергнутой обработке, среднее значение предела выносливости $\bar{\sigma}_{H \lim}$, МПа; твердость зуба колеса HB. Коэффициент долговечности \bar{K}_{FL} и корректирующие коэффициенты $K_i = 1,0$. Среднее значение и коэффициент вариации напряжения изгиба в опасном сечении зуба соответственно равны $\bar{\sigma}_F$, МПа, и $\upsilon_{\sigma F}$.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 42 и 43 приложения.

НАДЕЖНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА КАК ЗВЕНА СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ

Существует множество систем, взаимосвязанных только благодаря наличию такого основного звена как человек. Однако до недавнего времени внимание уделялось исключительно оборудованию и совсем не учитывалась надежность человека как элемента системы. В то время как согласно статистическим данным до 30 % отказов прямо или косвенно связаны с ошибками человека. По этой причине анализ надежности реальных систем обязательно должен включать и человеческий фактор.

Надежность работы человека определяется как вероятность успешного выполнения им работы или поставленной задачи на данном этапе функционирования системы в течение заданного промежутка времени при определенных требованиях к продолжительности выполнения работы. При этом ошибка человека определяется как невыполнение поставленной задачи или выполнение запрещенного действия, которое может привести к повреждению оборудования или имущества либо нарушению нормального хода запланированных операций.

Поскольку в реальных условиях в большинстве систем независимо от степени их автоматизации требуется в той или иной мере участие человека, можно утверждать, что там, где работает человек, появляются ошибки. Они возникают независимо от уровня подготовки, квалификации или опыта. Поэтому прогнозирование надежности оборудования без учета надежности работы человека не может дать истинной картины.

Соотношение между качеством работы человека и действующими нагрузками отображено на рис. 20. Оно показывает, что зависимость частоты появления ошибок от действующих нагрузок является нелинейной. При очень низком уровне нагрузок большинство операторов работают неэффективно, так как задание кажется скучным и не вызывает интереса. Качество работы при этом далеко от оптимального. При умеренных нагрузках качество работы оператора оказывается оптимальным, и поэтому умеренную нагрузку можно рассматривать как достаточное

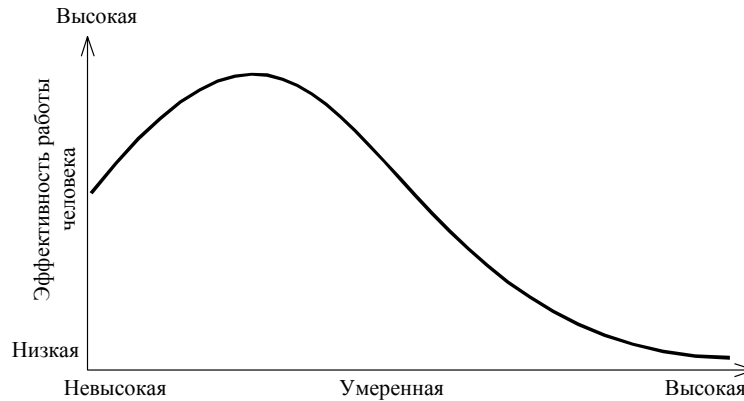


Рис. 20 Гипотетическая зависимость эффективности работы человека от действующей нагрузки

условие обеспечения внимательной работы человека-оператора. При дальнейшем увеличении нагрузок качество работы человека начинает ухудшаться, что объясняется главным образом такими видами физического стресса, как страх, беспокойство и т.п. Отсюда следует, что при самом высоком уровне нагрузок надежность работы человека достигает минимального значения. Ошибки по вине человека могут возникнуть в следующих случаях: 1) когда оператор или какое-либо лицо стремится к достижению ошибочной цели; 2) поставленная цель не может быть достигнута из-за неправильных действий оператора; 3) оператор бездействует в тот момент, когда его участие необходимо.

Среди основных причин ошибок человека можно выделить такие, как: 1) неудовлетворительная подготовка или низкая квалификация обслуживающего персонала; 2) следование обслуживающего персонала неудовлетворительным процедурам технического обслуживания или эксплуатации; 3) плохие условия работы, связанные, например, с плохой доступностью оборудования, теснотой рабочего помещения или чрезмерно высокой температурой; 4) неудовлетворительное оснащение необходимой аппаратурой и инструментами; 5) недостаточное стимулирование операторов или специалистов по техническому обслуживанию, не позволяющее достигнуть оптимального уровня качества их работы.

Рассматривать надежность обслуживающего персонала как элемента сложной системы можно в качестве функции надежности работы человека в непрерывной временной области. К этой категории действий, имеющих непрерывный характер, относятся наблюдение, контроль и слежение, в случае которых вероятность безошибочной работы человека можно вычислить по следующему общему выражению

$$P_h(t) = e^{-\int_0^t e(t) dt},$$

где $e(t)$ – частота появления ошибок по вине человека в момент времени t . Этот показатель аналогичен интенсивности отказов $\lambda(t)$ в классической теории надежности.

Таким образом, для расчета вероятности безошибочной работы человека к моменту времени t необходимо знать величину частоты появления ошибок $e(t)$.

1 Частота появления ошибок человека, $ч^{-1}$

$$e(t) = \frac{n(t)}{Nt},$$

где \bar{N} – среднее количество правильных решений к моменту времени t

$$\bar{N} = N_0 - \frac{1}{2}n(t).$$

2 Вероятность безошибочной работы человека-оператора

$$P_h(t) = e^{-e(t)t}.$$

Задача 25 Рассчитать вероятность безошибочной работы человека-оператора, ведущего наблюдение и контроль за реакционным отделением цеха анилинокрасочной промышленности, если к моменту времени t часов из N_0 общего количества принятых решений число ошибочных, допущенных по той или иной причине, составило $n(t)$.

Исходные для расчета представлены в табл. 44 приложения.

Одним из основных методов анализа надежности человека является построение дерева вероятностей. При использовании этого метода задается некоторая условная вероятность успешного или ошибочного выполнения человеком каждой важной операции либо вероятность появления соответствующего события. Исход каждого события изображается ветвями дерева вероятностей. Полная вероятность успешного выполнения определенной операции находится суммированием соответствующих вероятностей в конечной точке пути успешных исходов на диаграмме дерева вероятностей. Этот метод с некоторыми уточнениями может учитывать такие факторы, как стресс, вызываемый нехваткой времени; эмоциональная нагрузка; нагрузка, определяемая необходимостью ответных действий, результатами взаимодействий и отказами оборудования.

Следует отметить, что данный метод обеспечивает хорошую наглядность, а связанные с ним математические вычисления просты, что в свою очередь снижает вероятность появления вычислительных ошибок. Кроме того, он позволяет специалисту по инженерной психологии легко оценить условную вероятность, которую в противном случае можно получить только с помощью решения сложных вероятностных уравнений.

Рассмотрим вариант, когда оператор выполняет два задания: сначала x , а затем y . При этом он может выполнять их как правильно, так и неправильно. То есть неправильно выполняемые задания – это единственные ошибки, которые могут появляться в данной ситуации. Предполагая, что вероятности правильного и не

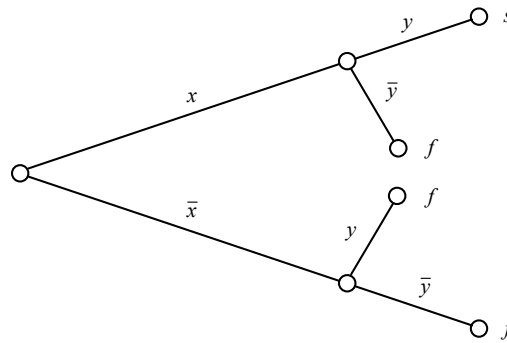


Рис. 21 Схема дерева исходов в случае гипотетического задания:
 x – первое задания; y – второе задания; f – невыполнение задания;
 s – успешное выполнение задания; \bar{x} – невыполнение задания x ;
 \bar{y} – невыполнение задания y

правильного выполнения задания статистически независимы, общая вероятность неправильного выполнения задания может быть рассчитана с помощью дерева возможных исходов.

Дерево возможных исходов может быть изображено в виде рис. 21.

Согласно этому рисунку, вероятность успешного выполнения задания составит

$$P_s = P_x P_y,$$

где P_x – вероятность успешного выполнения задания x ; P_y – вероятность успешного выполнения задания y .

Аналогично выражение для вероятности невыполнения задания

$$Q_f = P_x Q_{\bar{y}} + Q_{\bar{x}} P_y + Q_{\bar{x}} Q_{\bar{y}},$$

где $Q_{\bar{x}}$ – вероятность невыполнения задания x ; $Q_{\bar{y}}$ – вероятность невыполнения задания y .

После преобразований оно примет вид

$$Q_f = 1 - P_x P_y.$$

Задача 26 Построить дерево возможных исходов и найти общую вероятность правильного и неправильного выполнения задания оператора, ведущего наблюдение и контроль за сушильным агрегатом, если его первое задание заключается в выводе сушилки на рабочий режим сушки, а второе – в обеспечении загрузки сушилки исходным влажным материалом. При этом наблюдение за работой оператора показало, что в n_x случаях из N_{0x} он допускает ошибки, приводящие к невыполнению первого задания, и соответственно в n_y случаях из N_{0y} – второго.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 44 приложения.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1 Исходные данные для расчета

№ варианта	Данные к задаче 1		Данные к задаче 2				
	N_0 , шт.	n , шт.	N_0 , шт.	t , ч	$n(t)$, шт.	Δt , ч	$n(\Delta t)$, шт.
1	450	10	150	2500	32	150	10
2	362	25	125	2200	20	210	18
3	480	36	160	3000	40	250	5
4	940	158	280	3400	60	300	65
5	580	305	130	4100	16	98	35
6	800	104	420	5000	100	125	85
7	300	27	380	4800	62	324	120
8	1000	36	240	5120	58	300	50
9	840	10	190	3420	60	180	10
10	650	65	140	1560	32	82	50
11	950	600	280	2700	26	96	6
12	690	129	640	1450	182	84	10
13	485	65	480	3600	114	652	100
14	654	509	500	5600	258	342	50
15	250	200	410	3580	138	240	62
16	160	100	290	4700	56	400	25
17	350	29	340	6000	96	560	100
18	230	135	200	1460	48	304	40
19	600	450	170	1230	52	85	36
20	570	100	240	2600	60	62	85
21	940	87	410	2890	106	185	56
22	870	92	390	3600	124	263	20
23	475	15	330	4200	109	384	60
24	640	64	250	4780	84	574	81
25	582	215	490	3210	168	258	101
26	940	291	300	4520	100	456	84
27	234	32	450	5480	148	159	10
28	260	10	290	3690	96	357	56
29	690	96	310	4870	104	157	5
30	820	408	200	5820	60	359	84
31	570	29	460	3640	84	153	112
32	840	27	280	2580	26	256	64
33	1000	500	300	4510	38	420	50
34	690	100	400	3210	84	100	114
35	870	64	150	1280	20	48	5
36	500	28	360	2580	16	65	10
37	430	62	280	4000	24	84	4
38	610	72	190	2560	28	68	10
39	980	527	410	2500	98	240	25
40	540	139	360	5120	68	540	105
41	210	97	170	3280	24	320	5
42	160	124	280	2640	54	120	15
43	100	36	160	4580	62	258	34
44	190	164	130	4400	30	420	12
45	940	627	320	1560	42	360	12
46	580	210	410	2400	65	140	40
47	630	97	500	4560	89	256	158
48	520	58	290	3580	64	364	65
49	900	638	310	3690	105	256	56
50	750	10	250	3470	78	300	50

2 Результаты вычислений

№	Время испытаний t_i , ч	Вероятность безотказной работы $P(t_i)$	Среднее время испытаний \bar{t}_i , ч	Частота отказов $f(\bar{t}_i)$, ч ⁻¹	Интенсивность отказов $\lambda(\bar{t}_i)$, ч ⁻¹
1	t_1	$P(t_1)$	\bar{t}_1	$f(\bar{t}_1)$	$\lambda(\bar{t}_1)$
...
i	t_i	$P(t_i)$	\bar{t}_i	$f(\bar{t}_i)$	$\lambda(\bar{t}_i)$

3 Исходные данные для расчета

№ вари-анта	N ₀ , шт.	Δt, ч	n(Δt) _i														
1	1000	150	90	57	37	32	29	29	27	27	26	27	26	25	30	45	70
2	1500	200	150	90	52	44	43	43	43	44	44	45	60	83	110	140	–
3	2400	240	250	130	103	101	100	100	99	100	100	120	141	168	200	230	260
4	3000	160	255	146	135	135	135	134	135	134	135	134	135	138	167	230	270
5	1640	180	170	105	77	77	76	76	76	77	80	114	160	186	–	–	–
6	3560	220	310	228	180	162	156	156	155	156	156	155	156	171	223	280	–
7	2480	340	240	160	126	125	125	126	126	125	126	131	140	150	180	220	250
8	2000	400	225	148	121	117	116	115	115	116	120	149	180	210	235	–	–
9	1700	380	176	90	52	38	33	32	33	32	32	33	40	78	118	160	–
10	1820	140	202	123	86	73	71	71	70	71	70	71	72	90	120	150	190
11	2640	160	190	100	94	93	93	93	94	93	94	102	160	205	–	–	–
12	1580	280	192	147	100	72	66	66	65	65	65	66	80	107	130	158	181
13	2890	300	290	170	148	146	146	145	145	145	146	146	146	147	165	224	280
14	3120	400	305	185	170	170	169	170	169	169	170	170	172	176	205	280	–
15	4000	420	350	236	224	224	223	223	224	224	223	224	228	256	320	360	–
16	3680	400	340	215	202	201	202	201	201	202	202	201	201	205	234	300	350
17	3260	360	360	291	254	222	212	211	211	212	211	212	220	280	340	–	–
18	1450	250	177	67	52	52	51	52	51	52	51	52	52	56	82	153	190
19	2410	260	210	158	125	121	120	120	121	120	120	121	132	158	185	220	–
20	2750	220	260	169	158	157	157	157	156	156	157	157	157	160	180	250	280
21	3100	200	300	202	164	148	140	139	139	139	140	140	142	150	180	230	284
22	4100	180	390	300	268	260	259	260	260	261	278	320	370	–	–	–	–
23	4050	140	400	320	289	275	272	271	272	271	272	276	298	340	391	–	–
24	2090	280	190	123	95	88	84	84	83	84	89	100	122	151	180	204	–
25	3400	240	290	195	156	148	148	147	148	148	147	147	148	152	172	210	280
26	2540	320	208	127	123	123	122	122	123	123	160	208	–	–	–	–	–
27	2620	300	220	140	100	96	95	95	95	96	95	96	98	125	154	207	–
28	3870	360	310	226	192	192	193	192	193	192	192	200	238	300	–	–	–
29	2450	380	220	136	122	119	118	118	117	118	118	119	121	140	170	210	250
30	1680	240	175	82	60	60	59	59	60	60	61	85	182	–	–	–	–
31	3900	280	370	262	230	222	221	222	221	222	221	222	225	240	272	310	350
32	1200	200	180	81	58	55	54	53	54	54	55	60	110	152	210	–	–

33	1050	200	116	38	27	26	27	26	26	27	27	28	28	40	51	108	130
34	2150	340	240	128	92	91	91	92	92	91	92	99	127	153	188	219	240
35	2560	400	210	162	147	145	143	142	142	142	143	146	152	178	215	250	–
36	2400	360	200	113	106	106	105	105	106	105	106	406	112	185	–	–	–
37	2800	380	270	186	155	151	150	150	151	151	150	151	151	160	181	210	250
38	3650	400	390	305	265	264	265	264	265	271	300	380	–	–	–	–	–
39	4180	420	370	286	253	241	240	241	240	240	241	240	241	252	280	320	360
40	3050	360	302	205	170	165	164	164	165	164	165	170	191	230	280	–	–
41	2600	360	238	149	137	136	136	137	136	136	137	137	137	140	160	220	–
42	3800	420	360	250	218	209	208	209	208	209	208	209	222	277	340	–	–
43	3600	280	290	169	160	159	159	160	160	159	159	160	160	162	181	280	–
44	2580	260	202	136	115	112	112	111	112	112	113	113	119	140	180	230	270
45	4100	240	380	265	250	250	249	250	249	249	250	249	250	255	284	350	–
46	3250	160	290	190	183	183	182	183	182	182	186	195	250	300	–	–	–
47	2060	200	230	136	132	131	131	132	131	132	137	190	240	–	–	–	–
48	4200	260	360	290	245	231	230	231	230	231	230	231	242	277	318	352	–
49	3960	280	410	338	295	291	290	291	292	312	350	400	–	–	–	–	–
50	5000	400	415	308	302	301	302	301	302	301	302	310	378	420	–	–	–

4 Исходные данные для расчета средней наработки на отказ

№ варианта	t_n , ч	t_k , ч	n , шт.	№ варианта	t_n , ч	t_k , ч	n , шт.
1	248	1456	23	26	150	1000	10
2	250	2080	15	27	134	1250	13
3	164	1640	12	28	290	2400	21
4	203	2580	32	29	315	2000	33
5	298	3060	21	30	307	2350	45
6	309	3250	41	31	269	1670	10
7	240	2470	20	32	209	2560	15
8	352	1940	16	33	218	2150	16
9	398	1280	65	34	245	3210	51
10	400	2560	48	35	261	2100	38
11	254	3080	35	36	134	2160	28
12	169	2580	18	37	109	1050	52
13	150	2000	14	38	254	1160	64
14	124	1890	10	39	369	3450	50
15	105	1560	10	40	400	1450	28
16	287	2450	14	41	158	3100	26
17	236	2900	19	42	327	2100	57
18	300	3450	27	43	194	1800	16
19	364	4000	36	44	137	1950	20
20	254	4200	27	45	251	2500	36
21	260	3800	28	46	250	3260	58
22	289	3000	20	47	300	1450	56
23	219	2500	16	48	280	2100	10
24	207	3600	22	49	137	2680	15
25	257	2450	30	50	150	3020	20

5 Исходные данные для расчета надежности в период нормальной эксплуатации

№ варианта	t , ч	λ , ч ⁻¹	№ варианта	t , ч	λ , ч ⁻¹	№ варианта	t , ч	λ , ч ⁻¹
1	10 000	$1,00 \cdot 10^{-6}$	18	17 890	$1,11 \cdot 10^{-3}$	35	11 240	$9,37 \cdot 10^{-6}$
2	10 500	$1,92 \cdot 10^{-6}$	19	10 800	$1,95 \cdot 10^{-3}$	36	14 500	$8,03 \cdot 10^{-6}$
3	10 540	$2,88 \cdot 10^{-6}$	20	10 040	$2,22 \cdot 10^{-3}$	37	17 090	$7,48 \cdot 10^{-6}$
4	11 000	$3,71 \cdot 10^{-6}$	21	13 200	$1,78 \cdot 10^{-3}$	38	10 050	$1,38 \cdot 10^{-5}$
5	10 060	$5,09 \cdot 10^{-6}$	22	10 840	$2,29 \cdot 10^{-3}$	39	10 000	$1,50 \cdot 10^{-5}$
6	14 000	$4,41 \cdot 10^{-6}$	23	18 070	$1,44 \cdot 10^{-3}$	40	13 607	$1,19 \cdot 10^{-3}$
7	12 400	$5,85 \cdot 10^{-6}$	24	19 990	$1,37 \cdot 10^{-3}$	41	14 500	$1,20 \cdot 10^{-5}$
8	17 800	$4,68 \cdot 10^{-6}$	25	19 020	$1,51 \cdot 10^{-3}$	42	12 340	$1,51 \cdot 10^{-5}$
9	13 600	$6,93 \cdot 10^{-6}$	26	10 010	$1,00 \cdot 10^{-6}$	43	18 090	$1,09 \cdot 10^{-5}$
10	14 200	$7,41 \cdot 10^{-6}$	27	11 500	$1,75 \cdot 10^{-6}$	44	17 180	$1,22 \cdot 10^{-3}$
11	18 700	$6,23 \cdot 10^{-6}$	28	10 640	$2,86 \cdot 10^{-6}$	45	10 200	$2,18 \cdot 10^{-5}$
12	10 060	$1,27 \cdot 10^{-5}$	29	11 040	$3,69 \cdot 10^{-6}$	46	14 080	$1,67 \cdot 10^{-5}$
13	17 800	$7,82 \cdot 10^{-6}$	30	10 040	$5,10 \cdot 10^{-6}$	47	13 640	$1,82 \cdot 10^{-5}$

14	13 400	$1,12 \cdot 10^{-5}$	31	12 340	$5,01 \cdot 10^{-6}$	48	17 250	$1,51 \cdot 10^{-5}$
15	14 900	$1,09 \cdot 10^{-5}$	32	10 100	$7,18 \cdot 10^{-6}$	49	13 400	$2,05 \cdot 10^{-5}$
16	19 000	$9,17 \cdot 10^{-6}$	33	10 840	$7,69 \cdot 10^{-6}$	50	12 220	$2,35 \cdot 10^{-5}$
17	14 050	$1,32 \cdot 10^{-5}$	34	19 070	$4,94 \cdot 10^{-6}$			

6 Значения функции нормированного нормального распределения

x	Значения функции $F_0(x)$ для $0,00 \leq x \leq 4,99$									
	,00	,01	,02	,03	,04	,05	,06	,07	,08	,09
0,0	,5000	,5040	,5080	,5120	,5160	,5199	,5239	,5279	,5319	,5359
0,1	,5398	,5438	,5478	,5517	,5557	,5596	,5636	,5675	,5714	,5753
0,2	,5793	,5832	,5871	,5910	,5948	,5987	,6026	,6064	,6103	,6141
0,3	,6179	,6217	,6255	,6293	,6331	,6368	,6406	,6443	,6480	,6517
0,4	,6554	,6591	,6628	,6664	,6700	,6736	,6772	,6808	,6844	,6879
0,5	,6915	,6950	,6985	,7019	,7054	,7088	,7123	,7157	,7190	,7224
0,6	,7257	,7291	,7374	,7357	,7389	,7422	,7454	,7486	,7517	,7549
0,7	,7580	,7611	,7642	,7673	,7703	,7734	,7764	,7794	,7823	,7852
0,8	,7881	,7910	,7939	,7967	,7995	,8023	,8051	,8078	,8106	,8133
0,9	,8159	,8186	,8212	,8238	,8264	,8289	,8315	,8340	,8365	,8389
1,0	,8413	,8438	,8461	,8485	,8508	,8531	,8554	,8577	,8599	,8621
1,1	,8643	,8665	,8686	,8708	,8729	,8749	,8770	,8790	,8810	,8830
1,2	,8849	,8869	,8888	,8907	,8925	,8944	,98962	,8980	,8997	,90147
1,3	,90320	,90490	,90658	,90824	,90988	,91149	,91309	,91466	,91621	,91774
1,4	,91924	,92073	,92220	,92364	,92507	,92647	,92785	,92922	,93056	,93189
1,5	,93319	,93448	,93574	,93669	,93822	,93943	,94062	,94179	,94295	,94408
1,6	,94520	,94630	,94738	,94845	,94950	,95053	,95154	,95254	,95352	,95449
1,7	,95543	,95637	,95728	,95818	,95907	,95994	,96080	,96164	,96246	,96327
1,8	,96407	,96485	,96562	,96638	,96712	,96784	,96856	,96926	,96995	,97062
1,9	,97128	,97193	,97257	,97320	,97381	,97441	,97500	,97558	,97615	,97670
2,0	,97725	,97778	,97831	,97882	,97932	,97982	,98030	,98077	,98124	,98169
2,1	,98214	,98257	,98300	,98341	,98382	,98422	,98461	,98500	,98537	,98574
2,2	,98610	,98645	,98679	,98713	,98745	,98778	,98809	,98840	,98870	,98899
2,3	,98928	,98956	,98988	,92009	,92035	,92061	,92086	,92110	,92134	,92157
			3	7	8	3	3	6	4	6
2,4	,92180	,92202	,92224	,92245	,92265	,92285	,92305	,92324	,92343	,92361
	2	4	0	1	6	7	3	4	1	3

Продолжение табл. 6

x	Значения функции $F_0(x)$ для $0,00 \leq x \leq 4,99$									
	,00	,01	,02	,03	,04	,05	,06	,07	,08	,09
2,5	,92379	,92396	,92413	,92429	,92445	,92461	,92476	,92491	,92506	,92520
	0	3	2	7	7	4	6	5	0	1
2,6	,92533	,92547	,92560	,92573	,92585	,92597	,92609	,92620	,92631	,92642
	9	3	4	1	5	5	3	7	9	7
2,7	,92653	,92663	,92673	,92683	,92692	,92702	,92711	,92719	,92728	,92736
	3	6	6	3	8	0	0	7	2	5
2,8	,92744	,92752	,92759	,92767	,92774	,92781	,92788	,92794	,92801	,92807

	5	3	9	3	4	4	2	8	2	4
2,9	,9 ² 813 4	,9 ² 819 3	,9 ² 825 0	,9 ² 830 5	,9 ² 835 9	,9 ² 841 1	,9 ² 846 2	,9 ² 851 1	,9 ² 855 9	,9 ² 860 5
3,0	,9 ² 865 0	,9 ² 869 4	,9 ² 873 6	,9 ² 877 7	,9 ² 881 7	,9 ² 885 6	,9 ² 889 3	,9 ² 893 0	,9 ² 896 5	,9 ² 899 9
3,1	,9 ³ 032 4	,9 ³ 064 6	,9 ³ 095 7	,9 ³ 126 0	,9 ³ 155 3	,9 ³ 183 6	,9 ³ 211 2	,9 ³ 237 8	,9 ³ 263 6	,9 ³ 288 6
3,2	,9 ³ 312 9	,9 ³ 336 3	,9 ³ 359 0	,9 ³ 381 0	,9 ³ 402 4	,9 ³ 423 0	,9 ³ 442 9	,9 ³ 462 3	,9 ³ 481 0	,9 ³ 499 1
3,3	,9 ³ 516 6	,9 ³ 533 5	,9 ³ 549 9	,9 ³ 565 8	,9 ³ 581 1	,9 ³ 595 9	,9 ³ 610 3	,9 ³ 624 2	,9 ³ 637 6	,9 ³ 650 5
3,4	,9 ³ 663 1	,9 ³ 675 2	,9 ³ 686 9	,9 ³ 698 2	,9 ³ 709 1	,9 ³ 719 7	,9 ³ 729 9	,9 ³ 739 8	,9 ³ 749 3	,9 ³ 758 5
3,5	,9 ³ 767 4	,9 ³ 775 9	,9 ³ 784 2	,9 ³ 792 2	,9 ³ 799 9	,9 ³ 807 4	,9 ³ 814 6	,9 ³ 821 5	,9 ³ 828 2	,9 ³ 834 7
3,6	,9 ³ 840 9	,9 ³ 846 9	,9 ³ 852 7	,9 ³ 858 3	,9 ³ 863 7	,9 ³ 868 9	,9 ³ 873 9	,9 ³ 878 7	,9 ³ 883 4	,9 ³ 887 9
3,7	,9 ³ 892 2	,9 ³ 896 4	,9 ⁴ 003 9	,9 ⁴ 042 6	,9 ⁴ 079 9	,9 ⁴ 115 8	,9 ⁴ 150 4	,9 ⁴ 183 8	,9 ⁴ 215 9	,9 ⁴ 256 8
3,8	,9 ⁴ 276 5	,9 ⁴ 305 2	,9 ⁴ 332 7	,9 ⁴ 359 3	,9 ⁴ 384 8	,9 ⁴ 409 4	,9 ⁴ 433 1	,9 ⁴ 455 8	,9 ⁴ 477 7	,9 ⁴ 498 8
3,9	,9 ⁴ 519 0	,9 ⁴ 538 5	,9 ⁴ 557 3	,9 ⁴ 575 3	,9 ⁴ 592 6	,9 ⁴ 609 2	,9 ⁴ 625 3	,9 ⁴ 640 6	,9 ⁴ 655 4	,9 ⁴ 669 6
4,0	,9 ⁴ 683 3	,9 ⁴ 696 4	,9 ⁴ 709 0	,9 ⁴ 721 1	,9 ⁴ 732 7	,9 ⁴ 743 9	,9 ⁴ 754 6	,9 ⁴ 764 9	,9 ⁴ 774 8	,9 ⁴ 784 3
4,1	,9 ⁴ 393 4	,9 ⁴ 802 2	,9 ⁴ 810 6	,9 ⁴ 818 6	,9 ⁴ 826 3	,9 ⁴ 833 8	,9 ⁴ 840 9	,9 ⁴ 847 7	,9 ⁴ 854 2	,9 ⁴ 860 5
4,2	,9 ⁴ 866 5	,9 ⁴ 872 3	,9 ⁴ 877 8	,9 ⁴ 883 2	,9 ⁴ 888 2	,9 ⁴ 893 1	,9 ⁴ 897 8	,9 ⁵ 022 6	,9 ⁵ 065 5	,9 ⁵ 106 6
4,3	,9 ⁵ 146 0	,9 ⁵ 183 7	,9 ⁵ 219 9	,9 ⁵ 254 5	,9 ⁵ 287 6	,9 ⁵ 319 3	,9 ⁵ 349 7	,9 ⁵ 378 8	,9 ⁵ 406 6	,9 ⁵ 433 2
4,4	,9 ⁵ 458 7	,9 ⁵ 483 1	,9 ⁵ 506 5	,9 ⁵ 528 8	,9 ⁵ 550 2	,9 ⁵ 570 6	,9 ⁵ 590 2	,9 ⁵ 608 9	,9 ⁵ 626 8	,9 ⁵ 643 9
4,5	,9 ⁵ 660 2	,9 ⁵ 675 9	,9 ⁵ 690 8	,9 ⁵ 705 1	,9 ⁵ 718 7	,9 ⁵ 731 8	,9 ⁵ 744 2	,9 ⁵ 756 1	,9 ⁵ 767 5	,9 ⁵ 778 4
4,6	,9 ⁵ 788 8	,9 ⁵ 798 7	,9 ⁵ 808 1	,9 ⁵ 817 2	,9 ⁵ 825 8	,9 ⁵ 834 0	,9 ⁵ 841 9	,9 ⁵ 849 4	,9 ⁵ 856 6	,9 ⁵ 863 4
4,7	,9 ⁵ 869 9	,9 ⁵ 876 1	,9 ⁵ 882 1	,9 ⁵ 887 7	,9 ⁵ 893 1	,9 ⁵ 898 3	,9 ⁶ 032 0	,9 ⁶ 078 9	,9 ⁶ 123 5	,9 ⁶ 166 1
4,8	,9 ⁶ 206 7	,9 ⁶ 245 3	,9 ⁶ 282 2	,9 ⁶ 317 3	,9 ⁶ 350 8	,9 ⁶ 382 7	,9 ⁶ 413 1	,9 ⁶ 442 0	,9 ⁶ 469 6	,9 ⁶ 495 8
4,9	,9 ⁶ 520 8	,9 ⁶ 544 6	,9 ⁶ 567 3	,9 ⁶ 588 9	,9 ⁶ 609 4	,9 ⁶ 628 9	,9 ⁶ 647 5	,9 ⁶ 665 2	,9 ⁶ 682 1	,9 ⁶ 698 1

7 Значения ординат плотности нормированного нормального распределения

x	Значения функции $\phi_0(x)$ для $0,00 \leq x \leq 4,99$									
	,00	,01	,02	,03	,04	,05	,06	,07	,08	,09
0,0	,3989	,3989	,3989	,3988	,3986	,3984	,3982	,3980	,3977	,3973
0,1	,3970	,3965	,3961	,3956	,3951	,3945	,3939	,3932	,3925	,3918
0,2	,3910	,3902	,3894	,3885	,3876	,3867	,3857	,3847	,3836	,3825
0,3	,3814	,3802	,3790	,3778	,3765	,3752	,3739	,3725	,3712	,3697

0,4	,3683	,3668	,3653	,3637	,3621	,3605	,3589	,3572	,3555	,3538
0,5	,3521	,3503	,3485	,3467	,3448	,3429	,3410	,3391	,3372	,3352
0,6	,3332	,3312	,3292	,3271	,3251	,3230	,3209	,3187	,3166	,3144
0,7	,3123	,3101	,3079	,3056	,3034	,3011	,2989	,2966	,2943	,2920
0,8	,2897	,2874	,2850	,2827	,2803	,2780	,2756	,2732	,2709	,2685
0,9	,2661	,2637	,2613	,2589	,2565	,2541	,2516	,2492	,2468	,2444
1,0	,2420	,2398	,2371	,2347	,2323	,2299	,2275	,2251	,2227	,2203
1,1	,2179	,2155	,2131	,2107	,2083	,2059	,2036	,2012	,1989	,1965
1,2	,1942	,1919	,1895	,1872	,1849	,1826	,1804	,1781	,1758	,1736
1,3	,1714	,1691	,1669	,1647	,1626	,1604	,1582	,1561	,1539	,1518
1,4	,1497	,1476	,1456	,1435	,1415	,1394	,1374	,1354	,1334	,1315
1,5	,1295	,1276	,1257	,1238	,1219	,1200	,1182	,1163	,1145	,1127
1,6	,1109	,1092	,1074	,1057	,1040	,1023	,1006	,09893	,09728	,09566
1,7	,09405	,09246	,09089	,08933	,08780	,08628	,08478	,08329	,08183	,08038
1,8	,07895	,07754	,07614	,07477	,07341	,07206	,07074	,06943	,06814	,06687
1,9	,06562	,06438	,06316	,06195	,06077	,05959	,05854	,05730	,05618	,05508
2,0	,05399	,05292	,05186	,05082	,04980	,04879	,04780	,04682	,04586	,04491
2,1	,04398	,04307	,04217	,04128	,04041	,03955	,03871	,03788	,03706	,03626
2,2	,03547	,03470	,03394	,03319	,03246	,03174	,03103	,03034	,02965	,02898
2,3	,02833	,02768	,02705	,02643	,02582	,02522	,02463	,02406	,02349	,02294
2,4	,02239	,02186	,02134	,02083	,02033	,01984	,01936	,01888	,01842	,01797
2,5	,01753	,01709	,01667	,01625	,01585	,01545	,01506	,01468	,01431	,01394
2,6	,01358	,01323	,01289	,01256	,01223	,01191	,01160	,01130	,01100	,01071
2,7	,01042	,01014	,0 ² 987 1	,0 ² 960 6	,0 ² 934 7	,0 ² 909 4	,0 ² 884 6	,0 ² 860 5	,0 ² 837 0	,0 ² 814 0
2,8	,0 ² 791 5	,0 ² 769 7	,0 ² 748 3	,0 ² 727 4	,0 ² 707 1	,0 ² 687 3	,0 ² 667 9	,0 ² 649 1	,0 ² 630 7	,0 ² 612 7
2,9	,0 ² 595 3	,0 ² 578 2	,0 ² 561 6	,0 ² 545 4	,0 ² 529 6	,0 ² 514 3	,0 ² 499 3	,0 ² 484 7	,0 ² 470 5	,0 ² 456 7
3,0	,0 ² 443 2	,0 ² 430 1	,0 ² 417 3	,0 ² 404 9	,0 ² 292 8	,0 ² 381 0	,0 ² 369 5	,0 ² 358 4	,0 ² 347 5	,0 ² 337 0
3,1	,0 ² 326 7	,0 ² 316 7	,0 ² 307 0	,0 ² 297 5	,0 ² 288 4	,0 ² 279 4	,0 ² 270 7	,0 ² 262 3	,0 ² 254 1	,0 ² 246 1
3,2	,0 ² 238 4	,0 ² 230 9	,0 ² 223 6	,0 ² 216 5	,0 ² 209 6	,0 ² 209 9	,0 ² 196 4	,0 ² 190 1	,0 ² 184 0	,0 ² 178 0
3,3	,0 ² 172 3	,0 ² 166 7	,0 ² 161 2	,0 ² 156 0	,0 ² 150 8	,0 ² 145 9	,0 ² 141 1	,0 ² 136 4	,0 ² 131 9	,0 ² 127 5
3,4	,0 ² 123 2	,0 ² 119 1	,0 ² 115 1	,0 ² 111 2	,0 ² 107 5	,0 ² 103 8	,0 ² 100 3	,0 ³ 968 9	,0 ³ 935 8	,0 ³ 903 7
3,5	,0 ³ 872 7	,0 ³ 842 6	,0 ³ 813 5	,0 ³ 785 3	,0 ³ 758 1	,0 ² 731 7	,0 ³ 706 1	,0 ³ 681 4	,0 ³ 657 5	,0 ³ 634 3
3,6	,0 ³ 611 9	,0 ³ 590 2	,0 ³ 569 3	,0 ³ 549 0	,0 ³ 529 4	,0 ³ 510 5	,0 ³ 492 1	,0 ³ 474 4	,0 ³ 457 3	,0 ³ 440 8
3,7	,0 ³ 424 8	,0 ³ 409 3	,0 ³ 394 4	,0 ³ 380 0	,0 ³ 366 1	,0 ³ 352 6	,0 ³ 339 6	,0 ³ 327 1	,0 ³ 314 9	,0 ³ 303 2
3,8	,0 ³ 291	,0 ³ 281	,0 ³ 270	,0 ³ 260	,0 ³ 250	,0 ³ 241	,0 ³ 232	,0 ³ 223	,0 ³ 214	,0 ³ 206

	9	0	5	4	6	1	0	2	7	5
3,9	,0 ³ 198 7	,0 ³ 191 0	,0 ³ 183 7	,0 ³ 176 6	,0 ³ 169 8	,0 ³ 163 3	,0 ³ 156 9	,0 ³ 150 8	,0 ³ 144 9	,0 ³ 139 3
4,0	,0 ³ 133 8	,0 ³ 128 6	,0 ³ 123 5	,0 ³ 118 6	,0 ³ 114 0	,0 ³ 109 4	,0 ³ 105 1	,0 ³ 100 9	,0 ⁴ 968 7	,0 ⁴ 929 9
4,1	,0 ⁴ 892 6	,0 ⁴ 856 7	,0 ⁴ 822 2	,0 ⁴ 789 0	,0 ⁴ 757 0	,0 ³ 726 3	,0 ⁴ 696 7	,0 ⁴ 668 3	,0 ⁴ 641 0	,0 ⁴ 614 7
4,2	,0 ⁴ 589 4	,0 ⁴ 565 2	,0 ⁴ 541 8	,0 ⁴ 519 4	,0 ⁴ 497 9	,0 ⁴ 477 2	,0 ⁴ 457 3	,0 ⁴ 438 2	,0 ⁴ 419 9	,0 ⁴ 402 3
4,3	,0 ⁴ 385 4	,0 ⁴ 369 1	,0 ⁴ 353 5	,0 ⁴ 338 6	,0 ⁴ 324 2	,0 ⁴ 310 4	,0 ⁴ 297 2	,0 ⁴ 284 5	,0 ⁴ 272 3	,0 ⁴ 260 6
4,4	,0 ⁴ 249 4	,0 ⁴ 238 7	,0 ⁴ 228 4	,0 ⁴ 218 5	,0 ⁴ 209 0	,0 ⁴ 199 9	,0 ⁴ 191 2	,0 ⁴ 182 9	,0 ⁴ 174 9	,0 ⁴ 167 2
4,5	,0 ⁴ 159 8	,0 ⁴ 152 8	,0 ⁴ 146 1	,0 ⁴ 139 6	,0 ⁴ 133 4	,0 ⁴ 127 5	,0 ⁴ 121 8	,0 ⁴ 116 4	,0 ⁴ 111 2	,0 ⁴ 106 2
4,6	,0 ⁴ 101 4	,0 ⁵ 968 4	,0 ⁵ 924 8	,0 ⁵ 883 0	,0 ⁵ 843 0	,0 ⁴ 804 7	,0 ⁵ 768 1	,0 ⁵ 733 1	,0 ⁵ 699 6	,0 ⁵ 667 6
4,7	,0 ⁵ 637 0	,0 ⁵ 607 7	,0 ⁵ 579 7	,0 ⁵ 553 0	,0 ⁵ 527 4	,0 ⁵ 503 0	,0 ⁵ 479 6	,0 ⁵ 457 3	,0 ⁵ 436 0	,0 ⁵ 415 6
4,8	,0 ⁵ 396 1	,0 ⁵ 377 5	,0 ⁵ 359 8	,0 ⁵ 342 8	,0 ⁵ 326 7	,0 ⁵ 311 2	,0 ⁵ 296 5	,0 ⁵ 282 4	,0 ⁵ 269 0	,0 ⁵ 256 1
4,9	,0 ⁵ 243 9	,0 ⁵ 232 2	,0 ⁵ 221 1	,0 ⁵ 210 5	,0 ⁵ 200 3	,0 ⁵ 190 7	,0 ⁵ 181 4	,0 ⁵ 172 7	,0 ⁵ 164 3	,0 ⁵ 156 3

8 Значения квантилей нормального распределения в зависимости от требуемой вероятности безотказной работы

№	Квантиль u_p	Вероятность безотказной работы $P(t)$	№	Квантиль u_p	Вероятность безотказной работы $P(t)$
1	0,000	0,5000	28	-1,751	0,9600
2	-0,100	0,5398	29	-1,800	0,9641
3	-0,126	0,5500	30	-1,881	0,9700
4	-0,200	0,5793	31	-2,000	0,9772
5	-0,253	0,6000	32	-2,054	0,9800
6	-0,300	0,6179	33	-2,100	0,9821
7	-0,385	0,6500	34	-2,170	0,9850
8	-0,400	0,6554	35	-2,200	0,9861
9	-0,500	0,6915	36	-2,300	0,9893
10	-0,524	0,7000	37	-2,326	0,9900
11	-0,600	0,7257	38	-2,400	0,9918
12	-0,674	0,7500	39	-2,409	0,9920
13	-0,700	0,7580	40	-2,500	0,9938
14	-0,800	0,7881	41	-2,576	0,9950
15	-0,842	0,8000	42	-2,600	0,9953
16	-0,900	0,8159	43	-2,652	0,9960
17	-1,000	0,8413	44	-2,700	0,9965
18	-1,036	0,8500	45	-2,748	0,9970
19	-1,100	0,8643	46	-2,800	0,9974
20	-1,200	0,8849	47	-2,878	0,9980
21	-1,282	0,9000	48	-2,900	0,9981
22	-1,300	0,9032	49	-3,000	0,9986
23	-1,400	0,9192	50	-3,090	0,9990
24	-1,500	0,9332	51	-3,291	0,9995
25	-1,600	0,9452	52	-3,500	0,9998
26	-1,645	0,9500	53	-3,719	0,9999
27	-1,700	0,9554			

9 Исходные данные к задачам 6 и 7

№ варианта	Исходные данные к задаче 6			Исходные данные к задаче 7		
	t , ч	m_t , ч	S , ч	$P(t)$, %	m_t , ч	S , ч
1	$1,5 \cdot 10^3$	$4,0 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^3$	99,0	$1,4 \cdot 10^5$	$3,1 \cdot 10^4$
2	$2,9 \cdot 10^4$	$7,2 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^5$	54,0	$1,6 \cdot 10^6$	$3,2 \cdot 10^5$
3	$6,5 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^2$	68,0	$1,0 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^6$

4	$4,0 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^6$	$2,0 \cdot 10^5$	75,5	$1,3 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^3$
5	$2,6 \cdot 10^4$	$8,9 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^4$	87,2	$1,5 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^2$
6	$1,2 \cdot 10^4$	$4,7 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^4$	90,1	$5,0 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$
7	$9,8 \cdot 10^4$	$2,3 \cdot 10^3$	$5,3 \cdot 10^4$	88,0	$3,5 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^5$
8	$5,0 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^7$	$3,0 \cdot 10^7$	50,0	$1,6 \cdot 10^4$	$5,4 \cdot 10^3$
9	$6,0 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^3$	62,0	$1,3 \cdot 10^6$	$4,6 \cdot 10^5$

Продолжение табл. 9

№ варианта	Исходные данные к задаче 6			Исходные данные к задаче 7		
	$t, ч$	$m, ч$	$S, ч$	$P(t), \%$	$m, ч$	$S, ч$
10	$3,6 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^5$	57,0	$1,4 \cdot 10^7$	$4,0 \cdot 10^6$
11	$7,5 \cdot 10^4$	$3,8 \cdot 10^3$	$8,7 \cdot 10^4$	64,5	$3,4 \cdot 10^3$	$4,9 \cdot 10^3$
12	$5,3 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^4$	$3,4 \cdot 10^3$	87,0	$1,7 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^5$
13	$8,1 \cdot 10^5$	$2,7 \cdot 10^6$	$6,7 \cdot 10^5$	96,5	$4,0 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^3$
14	$4,9 \cdot 10^6$	$9,9 \cdot 10^6$	$5,0 \cdot 10^7$	60,0	$7,2 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^5$
15	$1,0 \cdot 10^2$	$2,6 \cdot 10^2$	$8,0 \cdot 10^2$	99,5	$1,4 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^2$
16	$2,6 \cdot 10^5$	$5,3 \cdot 10^5$	$9,1 \cdot 10^5$	99,9	$1,0 \cdot 10^6$	$2,0 \cdot 10^5$
17	$1,5 \cdot 10^4$	$5,1 \cdot 10^4$	$9,0 \cdot 10^4$	64,0	$8,9 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^4$
18	$3,7 \cdot 10^4$	$8,3 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^5$	69,0	$3,8 \cdot 10^5$	$8,7 \cdot 10^4$
19	$9,4 \cdot 10^2$	$3,4 \cdot 10^3$	$4,9 \cdot 10^3$	72,5	$1,4 \cdot 10^4$	$3,4 \cdot 10^3$
20	$5,0 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^5$	86,2	$2,7 \cdot 10^6$	$6,7 \cdot 10^5$
21	$8,5 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^6$	$9,2 \cdot 10^5$	80,8	$9,9 \cdot 10^6$	$5,0 \cdot 10^7$
22	$1,2 \cdot 10^3$	$3,0 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^3$	98,0	$2,6 \cdot 10^2$	$8,0 \cdot 10^2$
23	$2,3 \cdot 10^6$	$6,3 \cdot 10^6$	$4,4 \cdot 10^6$	90,5	$3,8 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^4$
24	$3,9 \cdot 10^4$	$9,3 \cdot 10^4$	$5,4 \cdot 10^4$	97,0	$1,5 \cdot 10^3$	$5,2 \cdot 10^2$
25	$7,7 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^6$	$4,8 \cdot 10^5$	92,8	$5,0 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$
26	$4,5 \cdot 10^4$	$9,6 \cdot 10^4$	$4,2 \cdot 10^4$	96,4	$3,5 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^5$
27	$6,0 \cdot 10^2$	$1,8 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^2$	97,9	$1,6 \cdot 10^4$	$5,4 \cdot 10^3$
28	$2,5 \cdot 10^3$	$5,9 \cdot 10^3$	$2,6 \cdot 10^3$	86,0	$1,4 \cdot 10^5$	$4,2 \cdot 10^4$
29	$8,6 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^5$	$9,5 \cdot 10^4$	56,0	$1,2 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^4$
30	$6,1 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^5$	$4,9 \cdot 10^4$	52,0	$3,6 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^5$
31	$2,0 \cdot 10^5$	$8,7 \cdot 10^5$	$4,5 \cdot 10^5$	73,4	$5,6 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^2$
32	$3,8 \cdot 10^6$	$8,4 \cdot 10^6$	$2,8 \cdot 10^6$	63,4	$1,2 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^2$
33	$8,6 \cdot 10^4$	$4,6 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^5$	59,4	$8,3 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^5$
34	$6,4 \cdot 10^4$	$3,8 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^4$	70,8	$3,4 \cdot 10^3$	$4,9 \cdot 10^3$
35	$5,1 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^3$	$5,2 \cdot 10^2$	85,0	$1,7 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^5$
36	$5,5 \cdot 10^3$	$5,0 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$	89,9	$9,6 \cdot 10^4$	$4,2 \cdot 10^4$
40	$4,2 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^7$	$4,0 \cdot 10^6$	94,8	$1,3 \cdot 10^5$	$4,9 \cdot 10^4$
41	$3,4 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^5$	$4,2 \cdot 10^4$	99,6	$5,3 \cdot 10^5$	$9,1 \cdot 10^5$
42	$7,6 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^4$	82,0	$5,1 \cdot 10^4$	$9,0 \cdot 10^4$
43	$1,9 \cdot 10^5$	$3,6 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^5$	75,0	$8,3 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^5$
44	$2,0 \cdot 10^3$	$5,6 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^2$	85,0	$3,4 \cdot 10^3$	$4,9 \cdot 10^3$
37	$7,0 \cdot 10^4$	$3,5 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^5$	88,8	$1,8 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^2$
38	$4,0 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^4$	$5,4 \cdot 10^3$	66,6	$5,9 \cdot 10^3$	$2,6 \cdot 10^3$
39	$2,4 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^6$	$4,6 \cdot 10^5$	77,7	$2,1 \cdot 10^5$	$9,5 \cdot 10^4$
45	$5,3 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^2$	95,8	$1,7 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^5$
46	$4,9 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^5$	$3,1 \cdot 10^4$	65,7	$4,7 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^4$
47	$6,4 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^6$	$3,2 \cdot 10^5$	86,0	$2,3 \cdot 10^5$	$5,3 \cdot 10^4$
48	$3,0 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^6$	90,0	$1,1 \cdot 10^7$	$3,0 \cdot 10^7$
49	$2,5 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^3$	99,0	$1,5 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^3$
50	$4,0 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^2$	100,0	$1,0 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^5$

10 Исходные данные для расчета

№ варианта	Исходные данные к задаче 6					№ варианта	Исходные данные к задаче 7				
	$t, ч$	$t_0, ч$	$a, ч$	$b, ч$	$S, ч$		$t, ч$	$t_0, ч$	$a, ч$	$b, ч$	$S, ч$
1	10 254	10 254	10 254	18 322	3362	26	47 500	19 882	23 528	74 012	11 047
2	40 560	39 251	40 560	71 961	13 084	27	94 100	94 100	103 185	146 016	21 632
3	34 700	32 496	34 700	61 138	11 016	28	62 000	60 590	68 059	95 818	14 091
4	12 470	11 300	12 470	21 822	3897	29	32 100	30 657	35 129	49 411	7213
5	36 500	32 007	36 500	63 454	11 231	30	42 000	39 200	46 013	64 399	9333
6	14 700	12 472	14 700	25 392	4455	31	87 400	79 716	95 467	133	19 209

										501	
7	57 450	47 160	57 450	98 607	17 149	32	45 800	40 821	50 081	69 696	9957
8	64 140	50 934	64 140	109 416	18 865	33	34 120	29 717	37 201	51 731	7338
9	57 800	44 396	57 800	98 009	16 754	34	21 400	18 212	18 486	32 327	4553
10	64 000	47 542	64 000	107 886	18 286	35	65 000	54 052	56 379	97 841	13 684
11	54 120	38 875	54 120	90 708	15 245	36	78 000	63 375	67 600	117 000	16 250
12	14 720	10222	10 426	24 533	4089	37	80 800	64 140	70 304	120 784	16 660
13	32 150	21 580	22 901	53 289	8808	38	71 080	55 123	61 796	105 894	14 506
14	65 420	42 434	46 854	107 854	17 681	39	10 090	7644	8806	14 981	2038
15	14 825	9290	10 674	24 312	3953	40	19 000	14 060	16 568	28 120	3800
16	32 132	19 448	23 253	52 426	8456	41	11 000	7950	9627	16 227	2178
17	65 412	38 228	47 572	106 188	16 990	42	12 200	8612	10 669	17 940	2392
18	36 520	20 601	26 687	58 993	9364	43	45 000	31 019	39 495	65 971	8738
19	12 540	6825	9206	20 160	3175	44	47 200	31 769	41 390	68 984	9077
20	10 000	5250	7375	16 000	2500	45	13 600	8938	9145	19 816	2590
21	12 500	6328	9259	19 906	3086	46	12 800	8211	8646	18 596	2415
22	13 000	6340	9670	20 610	3171	47	11 110	6956	7392	16 094	2077
23	14 000	6579	6646	22 095	3373	48	10 060	6147	6837	14 531	1863
24	16 000	7237	7694	25 144	3810	49	16 800	10 017	11 435	24 199	3083
25	18 400	8010	8962	28 789	4329	50	31 250	18 181	21249	44 886	5682

11 Исходные данные для расчета

№ вари- анта	μ	S	t , ч	№ вари- анта	μ	S	t , ч
1	1,0	61,34	1254	26	-9,9	7,32	4510
2	-0,1	81,53	3146	27	6,4	27,63	9540
3	-0,9	44,27	2850	28	-5,2	143,97	9870
4	2,3	21,59	6500	29	3,1	28,42	6540
5	-5,4	31,74	1480	30	-0,7	29,24	3210
6	1,8	10,21	1000	31	0,2	19,51	3000
7	6,7	1,58	2100	32	-3,7	25,11	7040
8	-2,8	15,38	2900	33	6,4	4,52	9100
9	6,7	1,67	3100	34	-5,8	21,44	9990
10	9,0	0,23	9980	35	1,9	8,61	6600
11	-5,8	14,23	4600	36	-6,7	17,48	8410
12	-3,7	11,51	7800	37	2,0	5,82	2510
13	3,8	4,49	9870	38	-8,0	13,89	1450

14	-6,9	12,06	6540	39	-0,7	7,41	3620
15	8,7	0,31	9230	40	5,1	2,99	8000
16	-4,6	8,91	6430	41	6,4	1,81	7500
17	-5,9	8,13	1230	42	-3,1	8,13	9000
18	0,8	4,48	4560	43	5,6	1,94	6090
19	0,4	4,76	7890	44	-4,7	7,51	3140
20	-1,9	5,82	9510	45	0,9	3,74	2080
21	5,6	1,29	3570	46	0,0	4,72	7890
22	-9,8	8,68	4580	47	-5,1	6,65	3640
23	6,7	0,28	1520	48	4,9	1,06	1250
24	-2,3	4,54	3510	49	0,0	4,18	9870
25	5,8	1,24	6570	50	-1,0	4,17	5410

12 Распределение Вейбулла

№	Параметр формы m	$\frac{1}{m}$	b_m	c_m	Коэффициент вариации $v = c_m / b_m$
1	0,400	2,5	3,32	10,4	3,14
2	0,417	2,4	2,98	8,74	2,93
3	0,435	2,3	2,68	7,38	2,75
4	0,455	2,2	2,42	6,22	2,57
5	0,476	2,1	2,20	5,27	2,40
6	0,500	2,0	2,00	4,47	2,24
7	0,526	1,9	1,83	3,81	2,08
8	0,556	1,8	1,68	3,26	1,94
9	0,588	1,7	1,54	2,78	1,80
10	0,625	1,6	1,43	2,39	1,67
11	0,667	1,5	1,33	2,06	1,55
12	0,714	1,4	1,24	1,78	1,43
13	0,769	1,3	1,17	1,54	1,32
14	0,833	1,2	1,10	1,33	1,21
15	0,909	1,1	1,05	1,15	1,10
16	1,0	1,0	1,00	1,00	1,00
17	1,1	0,909	0,965	0,878	0,910
18	1,2	0,833	0,941	0,787	0,837
19	1,3	0,769	0,924	0,716	0,775
20	1,4	0,714	0,911	0,659	0,723
21	1,5	0,667	0,903	0,615	0,681
22	1,6	0,625	0,897	0,574	0,640
23	1,7	0,588	0,892	0,540	0,605
24	1,8	0,556	0,889	0,512	0,575
25	1,9	0,526	0,887	0,485	0,547
26	2,0	0,500	0,886	0,463	0,523
27	2,1	0,476	0,886	0,439	0,496
28	2,2	0,455	0,886	0,425	0,480
29	2,3	0,435	0,886	0,409	0,461
30	2,4	0,417	0,887	0,394	0,444
31	2,5	0,400	0,887	0,380	0,428

13 Параметры распределения Вейбулла

№ вари-анта	t , ч	t_0 , ч	m	№ вари-анта	t , ч	t_0 , ч	m
1	1247	50	0,4	26	4580	301	0,7
2	3650	8	0,2	27	3412	10	0,2
3	1470	921 150	1,8	28	2140	$4,88 \cdot 10^7$	2,2
4	5745	$2,02 \cdot 10^9$	2,5	29	6500	$4,41 \cdot 10^8$	2,3
5	6414	74 300	1,3	30	7800	$1,71 \cdot 10^9$	2,4
6	5780	297	0,5	31	8080	$3,14 \cdot 10^{10}$	2,5
7	6400	6	0,2	32	7108	437	0,5
8	5412	113	0,4	33	1009	4	0,1
9	1472	804	0,7	34	1900	29 973	0,8
10	3215	$6,74 \cdot 10^7$	2,1	35	1100	1443	0,7
11	6542	$5,53 \cdot 10^9$	2,5	36	1220	242 209	1,8
12	1482	1 200 152	1,9	37	4500	$2,40 \cdot 10^7$	1,9
13	3213	$6,98 \cdot 10^7$	2,0	38	4720	$1,10 \cdot 10^9$	2,0
14	6541	934 590	1,4	39	1360	2 697 398	2,1
15	3652	2 625 630	1,8	40	1025	26 141	1,4
16	1254	32 328	1,0	41	4056	2	0,2
17	1000	14 500	1,1	42	3470	$1,78 \cdot 10^9$	1,7
18	1250	11 021	1,2	43	1247	$3,37 \cdot 10^7$	2,3
19	1300	215 839	1,3	44	3650	6501	1,0
20	4750	3 831 433	1,4	45	1280	1131	0,9
21	9410	1 416 084	1,5	46	1111	14	0,5
22	6200	4 409 402	1,6	47	1006	1764	1,2
23	3210	871 923	1,7	48	1680	$2,45 \cdot 10^8$	2,4
24	4200	$1,78 \cdot 10^8$	2,2	49	3125	3 474 147	1,9
25	8740	1 078 244	1,5	50	2400	2 126 600	1,8

14 Результаты вычислений

Номер интервала, i	Граница интервалов t_i , ч	Аргумент u_i	Функция $\varphi(u_i)$	Частота m_i	Частота n_i	$n_i - m_i$	$(n_i - m_i)^2$	$\frac{(n_i - m_i)^2}{m_i}$

15 Значения табулированной функции $\varphi(u_i)$

u_i	Сотые доли									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,3989	0,3989	0,3989	0,3988	0,3986	0,3984	0,3982	0,3980	0,3977	0,3973
0,1	0,3970	0,3965	0,3961	0,3956	0,3952	0,3945	0,3939	0,3932	0,3925	0,3918
0,2	0,3910	0,3902	0,3894	0,3885	0,3876	0,3867	0,3857	0,3847	0,3836	0,3825
0,3	0,3814	0,3802	0,3790	0,3778	0,3765	0,3752	0,3739	0,3726	0,3712	0,3697
0,4	0,3683	0,3668	0,3652	0,3637	0,3621	0,3605	0,3589	0,3572	0,3555	0,3538
0,5	0,3521	0,3503	0,3485	0,3467	0,3448	0,3429	0,3410	0,3391	0,3372	0,3352
0,6	0,3332	0,3312	0,3292	0,3271	0,3251	0,3230	0,3209	0,3187	0,3166	0,3144
0,7	0,3123	0,3101	0,3079	0,3056	0,3034	0,3011	0,2989	0,2966	0,2943	0,2920
0,8	0,2897	0,2874	0,2850	0,2827	0,2803	0,2780	0,2756	0,2732	0,2709	0,2685
0,9	0,2661	0,2637	0,2613	0,2589	0,2565	0,2541	0,2516	0,2492	0,2468	0,2444
1,0	0,2420	0,2396	0,2371	0,2347	0,2323	0,2299	0,2275	0,2251	0,2227	0,2203
1,1	0,2179	0,2155	0,2131	0,2107	0,2083	0,2059	0,2036	0,2012	0,1989	0,1965
1,2	0,1942	0,1919	0,1895	0,1872	0,1849	0,1826	0,1804	0,1781	0,1758	0,1736
1,3	0,1714	0,1691	0,1669	0,1647	0,1626	0,1604	0,1582	0,1561	0,1539	0,1518
1,4	0,1497	0,1476	0,1456	0,1435	0,1415	0,1394	0,1374	0,1354	0,1334	0,1315
1,5	0,1295	0,1276	0,1257	0,1238	0,1219	0,1200	0,1182	0,1163	0,1145	0,1127

1,6	0,1109	0,1092	0,1074	0,1057	0,1040	0,1023	0,1006	0,0989	0,0973	0,0957
1,7	0,0940	0,0925	0,0909	0,0893	0,0878	0,0863	0,0848	0,0833	0,0818	0,0804
1,8	0,0790	0,0775	0,0761	0,0748	0,0734	0,0721	0,0707	0,0694	0,0681	0,0669
1,9	0,0656	0,0644	0,0632	0,0620	0,0608	0,0596	0,0584	0,0573	0,0562	0,0551
2,0	0,0540	0,0529	0,0519	0,0508	0,0498	0,0488	0,0478	0,0468	0,0459	0,0449
2,1	0,0440	0,0431	0,0422	0,0413	0,0404	0,0396	0,0387	0,0379	0,0371	0,0363
2,2	0,0355	0,0347	0,0339	0,0332	0,0325	0,0317	0,0310	0,0303	0,0297	0,0290
2,3	0,0283	0,0277	0,0270	0,0264	0,0258	0,0252	0,0246	0,0241	0,0235	0,0229
2,4	0,0224	0,0219	0,0213	0,0208	0,0203	0,0198	0,0194	0,0189	0,0184	0,0180
2,5	0,0175	0,0171	0,0167	0,0163	0,0158	0,0154	0,0151	0,0147	0,0143	0,0139
2,6	0,0136	0,0132	0,0129	0,0126	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110	0,0107
2,7	0,0104	0,0101	0,0099	0,0096	0,0093	0,0091	0,0088	0,0086	0,0084	0,0081
2,8	0,0079	0,0077	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0067	0,0065	0,0063	0,0061
2,9	0,0060	0,0058	0,0056	0,0055	0,0053	0,0051	0,0050	0,0048	0,0047	0,0046
3,0	0,0044	0,0043	0,0042	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036	0,0035	0,0034
3,1	0,0033	0,0032	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026	0,0025	0,0025
3,2	0,0024	0,0023	0,0022	0,0022	0,0021	0,0020	0,0020	0,0019	0,0018	0,0018
3,3	0,0017	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014	0,0013	0,0013
3,4	0,0012	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0010	0,0010	0,0010	0,0009	0,0009

16 Критические точки распределения χ^2

Число степеней свободы ν	Уровень значимости α				
	0,01	0,005	0,995	0,99	0,975
1	6,63	7,88	0,00039	0,00016	0,00098
2	9,21	10,60	0,0100	0,0201	0,0506
3	11,34	12,84	0,0717	0,115	0,216
4	13,28	14,86	0,207	0,297	0,484
5	15,09	16,75	0,412	0,554	0,831
6	16,81	18,55	0,676	0,872	1,24
7	18,48	20,28	0,989	1,24	1,69
8	20,09	21,96	1,34	1,65	2,18
9	21,67	23,59	1,73	2,09	2,70
10	23,21	25,19	2,16	2,56	3,25
11	24,73	26,76	2,60	3,05	3,82
12	26,22	28,30	3,07	3,57	4,40
13	27,69	29,82	3,57	4,11	5,01
14	29,14	31,32	4,07	4,66	5,63
15	30,58	32,80	4,60	5,23	6,26
16	32,00	34,27	5,14	5,81	6,91
18	34,81	37,16	6,26	7,01	8,23
20	37,57	40,00	7,43	8,26	9,59
24	42,98	45,56	9,89	10,86	12,40
30	50,89	53,67	13,79	14,95	16,79
40	63,69	66,77	20,71	22,16	24,43
60	88,38	91,95	35,53	37,48	40,48
120	158,95	163,64	83,85	86,92	91,58

17 Значения наработки на отказ технологического объекта

№ варианта	α	Значения наработки на отказ
		1
2	0,005	50, 78, 81, 80, 91, 90, 62, 87, 94, 96, 85, 53, 68, 105, 110, 108, 117, 128, 139, 147, 124, 130, 158, 163, 175, 183, 194, 180, 210, 138, 147, 225, 259, 285, 273, 319, 335, 400
3	0,995	49, 100, 138, 151, 153, 157, 168, 165, 180, 168, 172, 193, 203, 207, 226, 235, 231, 244, 240, 228, 204, 200, 209, 216, 217, 221, 222, 248, 250, 256, 259, 270, 274, 283, 287, 291, 318, 335, 392

4	0,99	50, 112, 129, 156, 169, 183, 209, 216, 225, 241, 252, 263, 278, 281, 294, 309, 317, 320, 326, 334, 341, 345, 352, 357, 361, 365, 372, 381, 392, 389, 400, 380, 374, 360, 366, 375, 394, 398
5	0,975	35, 71, 98, 107, 108, 111, 119, 117, 128, 119, 122, 137, 144, 147, 161, 167, 164, 173, 170, 162, 145, 142, 148, 153, 154, 156, 158, 176, 177, 181, 184, 191, 195, 201, 204, 206, 225, 238, 278
6	0,01	32, 66, 91, 100, 101, 104, 111, 109, 119, 111, 114, 128, 134, 137, 150, 155, 153, 161, 159, 151, 135, 132, 138, 143, 143, 146, 147, 164, 165, 169, 171, 178, 181, 187, 190, 192, 210, 222, 259
7	0,005	11, 23, 32, 35, 35, 36, 39, 38, 42, 39, 40, 45, 47, 48, 52, 54, 54, 56, 56, 53, 47, 46, 48, 50, 50, 51, 51, 57, 58, 59, 60, 62, 64, 66, 66, 67, 74, 78, 91
8	0,995	49, 101, 139, 152, 154, 158, 169, 166, 181, 169, 174, 194, 204, 208, 228, 237, 233, 246, 242, 230, 205, 201, 210, 217, 218, 222, 224, 249, 251, 257, 260, 271, 276, 285, 289, 293, 319, 337, 394
9	0,99	46, 93, 128, 140, 142, 146, 156, 153, 168, 156, 160, 179, 189, 192, 210, 219, 215, 227, 223, 212, 189, 186, 194, 200, 201, 205, 207, 230, 232, 238, 240, 251, 255, 263, 267, 271, 295, 312, 364
10	0,975	25, 39, 40, 40, 46, 45, 31, 44, 47, 48, 42, 26, 34, 52, 55, 54, 58, 64, 70, 74, 62, 65, 79, 82, 88, 92, 97, 90, 105, 69, 74, 112, 130, 142, 136, 160, 168, 200
11	0,995	41, 84, 116, 127, 129, 132, 141, 139, 152, 141, 145, 162, 171, 174, 190, 198, 195, 205, 202, 192, 172, 168, 176, 181, 182, 186, 187, 209, 210, 215, 218, 227, 231, 238, 242, 245, 267, 282, 330
12	0,99	41, 85, 117, 128, 129, 133, 142, 139, 153, 142, 146, 163, 172, 175, 192, 199, 196, 207, 203, 193, 173, 169, 177, 183, 183, 187, 188, 210, 212, 217, 219, 228, 232, 240, 243, 246, 269, 284, 332
13	0,975	14, 28, 39, 43, 44, 45, 48, 47, 51, 48, 49, 55, 58, 59, 65, 67, 66, 70, 68, 65, 58, 57, 59, 61, 62, 63, 63, 71, 71, 73, 74, 77, 78, 81, 82, 83, 91, 96, 112
14	0,01	23, 48, 66, 72, 73, 75, 80, 79, 86, 80, 82, 92, 97, 99, 108, 112, 111, 117, 115, 109, 97, 96, 100, 103, 104, 105, 106, 119, 120, 122, 124, 129, 131, 135, 137, 139, 152, 160, 187
15	0,005	15, 30, 42, 46, 47, 48, 51, 50, 55, 51, 52, 59, 62, 63, 69, 72, 70, 74, 73, 69, 62, 61, 64, 66, 66, 67, 68, 75, 76, 78, 79, 82, 83, 86, 87, 89, 97, 102, 119
16	0,995	31, 64, 88, 96, 97, 100, 106, 105, 115, 106, 110, 123, 129, 131, 144, 149, 147, 155, 153, 145, 130, 127, 133, 137, 138, 140, 141, 158, 159, 163, 164, 171, 174, 180, 182, 185, 202, 213, 249
17	0,99	30, 60, 84, 91, 92, 95, 101, 100, 109, 101, 104, 117, 123, 125, 137, 142, 140, 148, 145, 138, 123, 121, 126, 130, 131, 133, 134, 150, 151, 155, 156, 163, 166, 171, 174, 176, 192, 203, 237
18	0,975	38, 78, 108, 118, 120, 123, 131, 129, 141, 131, 135, 151, 159, 162, 177, 184, 181, 191, 188, 179, 160, 156, 163, 169, 170, 173, 174, 194, 196, 200, 203, 211, 215, 222, 225, 228, 249, 262, 307
19	0,995	26, 54, 74, 81, 82, 84, 90, 88, 97, 90, 92, 103, 109, 111, 121, 126, 124, 131, 129, 122, 109, 107, 112, 115, 116, 118, 119, 133, 134, 137, 139, 144, 147, 152, 154, 156, 170, 180, 210
20	0,99	70, 109, 113, 112, 127, 126, 87, 122, 132, 134, 119, 74, 95, 147, 154, 151, 164, 179, 195, 206, 174, 182, 221, 228, 245, 256, 272, 252, 294, 193, 206, 315, 363, 399, 382, 447, 469, 560
21	0,975	47, 97, 134, 146, 148, 152, 162, 160, 175, 162, 167, 187, 197, 200, 219, 228, 224, 236, 233, 221, 198, 194, 202, 209, 210, 214, 216, 240, 242, 248, 251, 261, 266, 274, 278, 282, 308, 325, 380
22	0,01	44, 89, 123, 134, 136, 139, 149, 146, 160, 149, 153, 172, 180, 184, 201, 209, 206, 217, 214, 203, 181, 178, 186, 192, 193, 196, 198, 220, 222, 227, 230, 240, 244, 252, 255, 259, 282, 298, 349
23	0,005	29, 60, 83, 91, 92, 94, 101, 99, 108, 101, 104, 116, 122, 124, 136, 141, 139, 147, 144, 137, 123, 120, 125, 130, 130, 133, 134, 149, 150, 154, 156, 162, 165, 170, 173, 175, 191, 201, 236
24	0,995	25, 56, 64, 78, 84, 92, 104, 108, 112, 120, 126, 132, 139, 140, 147, 154, 158, 160, 163, 167, 170, 172, 176, 178, 180, 182, 186, 190, 196, 194, 200, 190, 187, 180, 183, 188, 197, 199
25	0,99	40, 81, 111, 122, 123, 126, 135, 133, 145, 135, 139, 156, 164, 167, 183, 190, 187, 197, 194, 184, 164, 161, 168, 174, 175, 178, 179, 200, 202, 206, 209, 217, 221, 228, 232, 235, 256, 270, 316
26	0,975	43, 88, 122, 133, 135, 138, 148, 145, 159, 148, 152, 170, 179, 182, 199, 207, 204, 215, 211, 201, 179, 176, 184, 190, 191, 194, 196, 218, 220, 225, 228, 237, 242, 249, 253, 256, 279, 295, 345
27	0,995	21, 42, 58, 64, 65, 66, 71, 70, 76, 71, 73, 82, 86, 87, 96, 99, 98, 103, 101, 96, 86, 84, 88, 91, 92, 93, 94, 105, 106, 108, 109, 114, 116, 120, 121, 123, 134, 142, 166
28	0,99	12, 20, 20, 20, 23, 22, 16, 22, 24, 24, 21, 13, 17, 26, 28, 27, 29, 32, 35, 37, 31, 32, 40, 41, 44, 46, 48, 45, 52, 34, 37, 56, 65, 71, 68, 80, 84, 100
29	0,975	38, 78, 107, 117, 119, 122, 130, 128, 140, 130, 134, 150, 157, 161, 176, 183, 180, 189, 186, 177, 158, 155, 162, 167, 168, 171, 173, 192, 194, 199, 201, 209, 213, 220, 223, 226, 246, 260, 304

30	0,01	41, 83, 115, 125, 127, 130, 139, 137, 150, 139, 143, 160, 169, 172, 188, 195, 192, 203, 200, 190, 169, 166, 173, 179, 180, 183, 185, 206, 208, 213, 215, 224, 228, 235, 239, 242, 264, 279, 326
31	0,005	70, 157, 181, 218, 237, 256, 293, 302, 315, 337, 353, 368, 389, 393, 412, 433, 444, 448, 456, 468, 477, 483, 493, 500, 505, 511, 521, 533, 549, 545, 560, 532, 524, 504, 512, 525, 552, 557
32	0,995	15, 31, 43, 46, 47, 48, 52, 51, 56, 52, 53, 59, 63, 64, 70, 72, 71, 75, 74, 70, 63, 62, 64, 66, 67, 68, 69, 76, 77, 79, 80, 83, 85, 87, 88, 90, 98, 103, 121
33	0,99	14, 30, 41, 45, 45, 46, 50, 49, 53, 50, 51, 57, 60, 61, 67, 69, 68, 72, 71, 67, 60, 59, 62, 64, 64, 65, 66, 73, 74, 76, 76, 80, 81, 84, 85, 86, 94, 99, 116
34	0,975	29, 59, 82, 89, 90, 93, 99, 97, 107, 99, 102, 114, 120, 122, 134, 139, 137, 144, 142, 135, 121, 118, 123, 127, 128, 130, 132, 147, 148, 151, 153, 159, 162, 167, 170, 172, 188, 198, 232
35	0,975	38, 58, 61, 60, 68, 68, 46, 65, 70, 72, 64, 40, 51, 79, 82, 81, 88, 96, 104, 110, 93, 98, 118, 122, 131, 137, 146, 135, 158, 104, 110, 169, 194, 214, 205, 239, 251, 300
36	0,995	35, 72, 99, 109, 110, 113, 121, 119, 130, 121, 124, 139, 146, 149, 163, 169, 167, 176, 173, 164, 147, 144, 150, 155, 156, 159, 160, 179, 180, 184, 186, 194, 198, 204, 207, 210, 229, 241, 282
37	0,99	12, 28, 32, 39, 42, 46, 52, 54, 56, 60, 63, 66, 70, 70, 74, 77, 79, 80, 82, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 91, 93, 95, 98, 97, 100, 95, 94, 90, 92, 94, 98, 100
38	0,975	27, 54, 75, 82, 83, 85, 91, 90, 98, 91, 94, 105, 110, 113, 123, 128, 126, 133, 131, 124, 111, 109, 114, 117, 118, 120, 121, 135, 136, 139, 141, 147, 149, 154, 156, 158, 173, 182, 213
39	0,01	62, 98, 101, 100, 114, 112, 78, 109, 118, 120, 106, 66, 85, 131, 138, 135, 146, 160, 174, 184, 155, 162, 198, 204, 219, 229, 242, 225, 262, 172, 184, 281, 324, 356, 341, 399, 419, 500
40	0,005	12, 25, 34, 38, 38, 39, 42, 41, 45, 42, 43, 48, 50, 51, 56, 59, 58, 61, 60, 57, 51, 50, 52, 54, 54, 55, 55, 62, 62, 64, 64, 67, 68, 70, 71, 72, 79, 83, 98
41	0,995	48, 98, 136, 148, 150, 154, 164, 162, 177, 164, 169, 190, 199, 203, 222, 231, 227, 240, 236, 224, 200, 196, 205, 212, 213, 216, 218, 243, 245, 251, 254, 265, 269, 278, 282, 286, 312, 329, 385
42	0,99	19, 38, 53, 58, 58, 60, 64, 63, 69, 64, 66, 74, 77, 79, 86, 90, 88, 93, 92, 87, 78, 76, 80, 82, 83, 84, 85, 95, 95, 97, 99, 103, 105, 108, 109, 111, 121, 128, 149
43	0,975	38, 84, 97, 117, 127, 137, 157, 162, 169, 181, 189, 197, 208, 211, 220, 232, 238, 240, 244, 250, 256, 259, 264, 268, 271, 274, 279, 286, 294, 292, 300, 285, 280, 270, 274, 281, 296, 298
44	0,995	39, 79, 109, 119, 121, 124, 132, 130, 143, 132, 136, 153, 160, 163, 179, 186, 183, 193, 190, 181, 161, 158, 165, 170, 171, 174, 176, 196, 198, 202, 205, 213, 217, 224, 227, 230, 251, 265, 310
45	0,99	62, 140, 161, 195, 211, 229, 261, 270, 281, 301, 315, 329, 348, 351, 368, 386, 396, 400, 408, 418, 426, 431, 440, 446, 451, 456, 465, 476, 490, 486, 500, 475, 468, 450, 458, 469, 492, 498
46	0,975	13, 27, 37, 41, 41, 42, 45, 44, 49, 45, 46, 52, 55, 56, 61, 63, 62, 66, 65, 61, 55, 54, 56, 58, 58, 59, 60, 67, 67, 69, 70, 73, 74, 76, 77, 78, 85, 90, 106
47	0,01	70, 157, 181, 218, 237, 256, 293, 302, 315, 337, 353, 368, 389, 393, 412, 433, 444, 448, 456, 468, 477, 483, 493, 500, 505, 511, 521, 533, 549, 545, 560, 532, 524, 504, 512, 525, 552, 557
48	0,005	18, 37, 51, 56, 57, 58, 62, 61, 67, 62, 64, 72, 75, 77, 84, 87, 86, 91, 89, 85, 76, 74, 78, 80, 80, 82, 83, 92, 93, 95, 96, 100, 102, 105, 107, 108, 118, 124, 146
49	0,995	35, 72, 100, 109, 111, 113, 121, 119, 130, 121, 125, 140, 147, 150, 164, 170, 167, 177, 174, 165, 147, 145, 151, 156, 157, 160, 161, 179, 181, 185, 187, 195, 199, 205, 208, 211, 230, 242, 284
50	0,99	35, 71, 98, 107, 108, 111, 119, 117, 128, 119, 122, 137, 144, 147, 161, 167, 164, 173, 170, 162, 145, 142, 148, 153, 154, 156, 158, 176, 177, 181, 184, 191, 195, 201, 204, 206, 225, 238, 278

18 Данные, наносимые на вероятностную бумагу

x_i	n_i	H_i	$H_i / \sum n_i$	$1 - H_i / \sum n_i$

Примечание. x_i – значение каждого i -го члена вариационного ряда (например, работа до отказа или между отказами); n_i – число отказов i -го интервала; $\sum n_i$ – общее число отказов; H_i – накопленное количество отказов; $H_i / \sum n_i$ – частота отказов; $1 - H_i / \sum n_i$ – вероятность, откладываемая по оси ординат координатной сетки бумаги распределения

19 Сводная таблица экспериментальных данных

№	Интервалы вариационного ряда $\Delta t_i, \text{ч}$	Число отказов i -го интервала n_i	Условная частота отказов $h_i = \frac{\Delta n_i}{\Delta t_i}, \text{ч}^{-1}$	Накопленное количество отказов H_i	Частость отказов $R_i = H_i / \sum n_i$	Вероятность отказа $1 - H_i / \sum n_i$
1	Δt_1	n_1	h_1	n_1	R_1	$1 - n_1 / \sum n_i$
...
i	Δt_i	n_i	h_i	$\sum n_i$	1	0

20 Результаты ускоренных испытаний невосстанавливаемых изделий на надежность

№ варианта	$\Delta t_i, \text{ч}$	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	n_7	n_8	n_9	n_{10}	n_{11}	n_{12}	n_{13}	n_{14}	n_{15}	n_{16}	n_{17}	n_{18}	n_{19}
1	60	526	400	310	245	190	150	120	90	70	55	42	32	25	18	13	10	8	3	0
2	60	410	27	7	6	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	10 5	60	60	45	30	24	21	12	12	10	6	4	4	2	2	2	1	1	1	1
4	60	210	17	8	8	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	0	0
5	70	120	120	90	60	48	42	24	24	19	13	8	8	4	5	4	2	2	1	1
6	60	280	18	5	4	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	12 0	140	11	6	6	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0
8	10 5	165	165	124	83	66	58	33	33	26	17	12	11	6	7	5	3	3	2	1
9	12 0	340	27	14	14	5	5	5	5	5	5	2	2	2	1	1	1	1	0	0
10	35	84	84	63	42	34	29	17	17	13	9	6	5	3	3	3	2	2	1	1
11	18 0	160	13	6	6	2	2	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0
12	40	78	60	47	36	28	23	18	14	11	7	6	5	3	3	2	1	1	1	0
13	300	10	20	40	97	133	300	333	500	467	433	400	267	167	90	47	20	7	2	1
14	140	5	10	20	48	67	150	167	250	233	217	200	133	83	45	23	10	3	1	1
15	60	310	20	6	4	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	90	3	6	12	29	40	90	100	150	140	130	120	80	50	27	14	6	2	1	1
17	35	98	98	74	49	39	34	20	20	16	10	7	6	3	4	3	2	2	1	1
18	160	7	14	28	68	93	210	233	350	327	303	280	187	117	63	33	14	5	1	1
19	60	220	14	4	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	120	52	40	31	24	19	15	12	9	7	5	4	3	2	2	1	1	1	1	0
21	250	9	18	36	87	120	270	300	450	420	390	360	240	150	81	42	18	6	2	1
22	35	75	75	56	38	30	26	15	15	12	8	5	5	3	3	2	2	2	1	1
23	60	240	16	4	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	12 0	280	22	11	11	4	4	4	4	4	4	2	2	2	1	1	1	1	0	0
25	60	360	23	7	5	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	10 5	102	102	77	51	41	36	20	20	16	11	7	7	4	4	3	2	2	1	1
27	180	8	16	32	77	107	240	267	400	373	347	320	213	133	72	37	16	5	1	1
28	60	270	22	11	11	4	4	4	4	4	4	2	2	2	1	1	1	1	0	0
29	60	440	28	8	6	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	60	260	21	10	10	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	1	0	0
31	210	4	8	16	39	53	120	133	200	187	173	160	107	67	36	19	8	3	1	1
32	70	86	86	65	43	34	30	17	17	14	9	6	6	3	3	3	2	2	1	1
33	60	260	17	5	4	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	12	290	23	12	12	4	4	4	4	4	4	2	2	2	1	1	1	1	0	0

	0																			
35	60	270	17	5	4	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	200	6	12	24	58	80	180	200	300	280	260	240	160	100	54	28	12	4	1	1
37	105	150	150	113	75	60	52	30	30	24	16	10	10	5	6	4	3	3	2	1
38	80	156	120	93	72	57	45	36	27	21	15	12	9	6	6	3	2	2	1	0
39	35	100	100	75	50	40	35	20	20	16	10	7	6	4	4	3	2	2	1	1
40	70	136	136	102	68	54	48	27	27	22	14	10	9	5	5	4	3	3	1	1
41	100	1	2	4	10	13	30	33	50	47	43	40	27	17	9	5	2	1	1	1
42	120	220	18	9	9	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	0	0
43	60	290	19	5	4	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	50	104	80	62	48	38	30	24	18	14	10	8	6	4	3	2	2	2	1	0
45	180	310	25	12	12	4	4	4	4	4	4	2	2	2	1	1	1	1	0	0
46	105	96	96	72	48	38	34	19	19	15	10	7	6	3	4	3	2	2	1	1
47	150	2	4	8	19	27	60	67	100	93	87	80	53	33	18	9	4	1	1	1
48	200	6	12	24	58	80	180	200	300	280	260	240	160	100	54	28	12	4	1	1
49	105	90	90	68	45	36	32	18	18	14	9	6	6	3	4	3	2	2	1	1
50	300	10	20	40	97	133	300	333	500	467	433	400	267	167	90	47	20	7	2	1

21 Исходные данные для расчета

№ варианта	a_1	a_2	a_3	a_4	v_{R1}	v_{R2}	v_{R3}	v_{R4}	v_{R5}	v_{R6}	v_{R7}	v_F
1	1,5	1,4	1,6	2,1	0,1	0,08	0,09	0,1	0,09	0,11	0,11	0,1
2	1,6	1,6	1,7	2,0	0,08	0,1	0,12	0,1	0,08	0,09	0,12	0,08
3	1,7	1,6	1,8	2,0	0,11	0,11	0,11	0,1	0,1	0,12	0,14	0,9
4	1,4	1,3	1,5	2,1	0,09	0,1	0,1	0,1	0,12	0,14	0,15	0,1
5	1,5	1,3	1,9	2,2	0,12	0,09	0,09	0,08	0,1	0,1	0,09	0,11
6	1,3	1,0	1,4	2,0	0,14	0,1	0,08	0,9	0,15	0,1	0,08	0,12
7	1,6	1,2	1,8	2,3	0,1	0,12	0,1	0,1	0,13	0,11	0,16	0,14
8	1,8	1,5	1,9	2,1	0,1	0,11	0,12	0,11	0,14	0,12	0,18	0,15
9	1,9	1,7	1,7	2,5	0,15	0,13	0,1	0,12	0,18	0,14	0,09	0,09
10	1,5	1,3	1,6	2,0	0,14	0,1	0,1	0,14	0,09	0,15	0,1	0,08
11	1,6	1,5	1,8	2,1	0,12	0,1	0,14	0,15	0,07	0,11	0,07	0,16
12	1,2	1,1	1,3	1,9	0,09	0,08	0,09	0,09	0,12	0,12	0,09	0,18
13	1,2	1,0	1,5	1,8	0,08	0,09	0,13	0,08	0,14	0,1	0,12	0,09
14	1,4	1,3	1,6	1,9	0,13	0,1	0,15	0,16	0,11	0,1	0,11	0,1
15	1,5	1,2	1,6	2,0	0,1	0,11	0,16	0,18	0,1	0,09	0,11	0,1
16	1,6	1,2	1,8	2,2	0,16	0,13	0,11	0,09	0,16	0,09	0,12	0,12
17	1,5	1,3	1,6	2,1	0,15	0,14	0,12	0,1	0,08	0,16	0,14	0,13
18	1,4	1,2	1,8	1,9	0,14	0,1	0,1	0,1	0,09	0,14	0,15	0,16
19	1,8	1,4	1,9	2,3	0,1	0,09	0,1	0,12	0,16	0,17	0,09	0,12
20	1,7	1,6	1,9	2,4	0,1	0,15	0,09	0,13	0,14	0,18	0,08	0,1
21	1,9	1,5	2,0	2,6	0,15	0,19	0,08	0,16	0,17	0,09	0,16	0,1
22	1,5	1,2	1,7	2,0	0,14	0,16	0,08	0,12	0,18	0,12	0,18	0,09
23	1,6	1,3	1,8	2,1	0,17	0,09	0,08	0,1	0,19	0,1	0,09	0,1
24	1,3	1,2	1,6	2,0	0,16	0,12	0,09	0,1	0,16	0,11	0,1	0,11
25	1,1	1,0	1,5	2,3	0,1	0,11	0,1	0,09	0,18	0,1	0,12	0,09
26	1,8	1,6	1,9	2,5	0,1	0,08	0,09	0,1	0,09	0,11	0,11	0,1
27	1,7	1,4	1,8	2,6	0,08	0,1	0,12	0,1	0,08	0,09	0,12	0,08
28	1,6	1,5	1,8	2,3	0,11	0,11	0,11	0,1	0,1	0,12	0,14	0,9
29	1,5	1,2	1,8	2,4	0,09	0,1	0,1	0,1	0,12	0,14	0,15	0,1
30	1,4	1,3	1,8	2,0	0,12	0,09	0,09	0,08	0,1	0,1	0,09	0,11
31	1,8	1,6	1,9	2,5	0,14	0,1	0,08	0,9	0,15	0,1	0,08	0,12

32	1,6	1,5	1,7	2,1	0,1	0,12	0,1	0,1	0,13	0,11	0,16	0,14
33	1,7	1,3	1,8	2,2	0,1	0,11	0,12	0,11	0,14	0,12	0,18	0,15
34	1,2	1,1	1,4	1,8	0,15	0,13	0,1	0,12	0,18	0,14	0,09	0,09
35	1,1	1,0	1,3	1,7	0,14	0,1	0,1	0,14	0,09	0,15	0,1	0,08
36	1,4	1,3	1,5	2,0	0,12	0,1	0,14	0,15	0,07	0,11	0,07	0,16
37	1,6	1,5	1,8	2,1	0,09	0,08	0,09	0,09	0,12	0,12	0,09	0,18
38	1,4	1,2	1,6	2,3	0,08	0,09	0,13	0,08	0,14	0,1	0,12	0,09
39	1,5	1,0	1,6	2,1	0,13	0,1	0,15	0,16	0,11	0,1	0,11	0,1
40	1,6	1,2	1,9	2,3	0,1	0,11	0,16	0,18	0,1	0,09	0,11	0,1
41	1,8	1,5	1,9	2,6	0,16	0,13	0,11	0,09	0,16	0,09	0,12	0,12
42	1,2	1,1	1,5	2,1	0,15	0,14	0,12	0,1	0,08	0,16	0,14	0,13
43	1,5	1,3	1,6	2,3	0,14	0,1	0,1	0,1	0,09	0,14	0,15	0,16
44	1,8	1,4	1,9	2,2	0,1	0,09	0,1	0,12	0,16	0,17	0,09	0,12
45	1,4	1,3	1,6	2,4	0,1	0,15	0,09	0,13	0,14	0,18	0,08	0,1
46	1,7	1,4	1,8	2,1	0,15	0,19	0,08	0,16	0,17	0,09	0,16	0,1
47	1,6	1,5	1,8	2,3	0,14	0,16	0,08	0,12	0,18	0,12	0,18	0,09
48	1,5	1,3	1,6	2,0	0,17	0,09	0,08	0,1	0,19	0,1	0,09	0,1
49	1,6	1,4	1,7	2,0	0,16	0,12	0,09	0,1	0,16	0,11	0,1	0,11
50	1,5	1,2	1,8	2,0	0,1	0,11	0,1	0,09	0,18	0,1	0,12	0,09

22 Данные для расчета надежности системы с параллельным соединением элементов

№ варианта	$t, ч$	$\lambda_1, ч^{-1}$	$\lambda_2, ч^{-1}$	$\lambda_3, ч^{-1}$	$\lambda_4, ч^{-1}$	$\lambda_5, ч^{-1}$	$\lambda_6, ч^{-1}$
1	1000	$4,883 \cdot 10^{-3}$	$5,606 \cdot 10^{-3}$	$1,820 \cdot 10^{-5}$	$2,080 \cdot 10^{-5}$	$4,930 \cdot 10^{-6}$	$1,567 \cdot 10^{-3}$
2	1050	$1,880 \cdot 10^{-3}$	$4,565 \cdot 10^{-3}$	$1,570 \cdot 10^{-3}$	$1,990 \cdot 10^{-3}$	$4,260 \cdot 10^{-4}$	$6,040 \cdot 10^{-4}$
3	1054	$2,382 \cdot 10^{-3}$	$5,457 \cdot 10^{-2}$	$2,080 \cdot 10^{-4}$	$2,900 \cdot 10^{-4}$	$5,650 \cdot 10^{-5}$	$7,650 \cdot 10^{-4}$
4	1100	$5,348 \cdot 10^{-3}$	$4,109 \cdot 10^{-3}$	$1,121 \cdot 10^{-3}$	$1,840 \cdot 10^{-3}$	$6,722 \cdot 10^{-3}$	$1,717 \cdot 10^{-3}$
5	1006	$5,255 \cdot 10^{-3}$	$8,453 \cdot 10^{-3}$	$2,460 \cdot 10^{-4}$	$1,640 \cdot 10^{-3}$	$2,827 \cdot 10^{-3}$	$1,687 \cdot 10^{-3}$
6	1400	$5,468 \cdot 10^{-3}$	$4,472 \cdot 10^{-3}$	$1,020 \cdot 10^{-3}$	$1,680 \cdot 10^{-3}$	$2,770 \cdot 10^{-4}$	$1,755 \cdot 10^{-3}$
7	1240	$2,638 \cdot 10^{-3}$	$5,433 \cdot 10^{-3}$	$1,433 \cdot 10^{-3}$	$1,420 \cdot 10^{-3}$	$5,315 \cdot 10^{-3}$	$1,403 \cdot 10^{-2}$
8	1780	$3,020 \cdot 10^{-4}$	$2,447 \cdot 10^{-3}$	$8,580 \cdot 10^{-4}$	$9,830 \cdot 10^{-4}$	$2,330 \cdot 10^{-4}$	$9,680 \cdot 10^{-5}$
9	1360	$3,480 \cdot 10^{-3}$	$1,959 \cdot 10^{-3}$	$1,136 \cdot 10^{-3}$	$1,302 \cdot 10^{-3}$	$3,090 \cdot 10^{-4}$	$1,117 \cdot 10^{-3}$
10	1420	$5,430 \cdot 10^{-4}$	$7,466 \cdot 10^{-3}$	$5,280 \cdot 10^{-4}$	$6,050 \cdot 10^{-4}$	$1,430 \cdot 10^{-4}$	$1,740 \cdot 10^{-4}$
11	1870	$1,468 \cdot 10^{-3}$	$2,773 \cdot 10^{-3}$	$3,463 \cdot 10^{-3}$	$3,968 \cdot 10^{-3}$	$9,400 \cdot 10^{-4}$	$4,710 \cdot 10^{-4}$
12	1006	$5,634 \cdot 10^{-3}$	$7,369 \cdot 10^{-3}$	$3,204 \cdot 10^{-2}$	$3,671 \cdot 10^{-2}$	$8,701 \cdot 10^{-3}$	$1,809 \cdot 10^{-3}$
13	1780	$1,830 \cdot 10^{-5}$	$4,361 \cdot 10^{-3}$	$3,913 \cdot 10^{-2}$	$4,483 \cdot 10^{-2}$	$1,063 \cdot 10^{-2}$	$5,870 \cdot 10^{-6}$
14	1340	$2,437 \cdot 10^{-3}$	$8,510 \cdot 10^{-4}$	$6,089 \cdot 10^{-3}$	$6,976 \cdot 10^{-3}$	$1,653 \cdot 10^{-3}$	$7,820 \cdot 10^{-4}$
15	1490	$2,820 \cdot 10^{-4}$	$8,243 \cdot 10^{-3}$	$1,417 \cdot 10^{-2}$	$1,624 \cdot 10^{-2}$	$3,850 \cdot 10^{-4}$	$9,050 \cdot 10^{-5}$
16	1900	$1,021 \cdot 10^{-2}$	$1,419 \cdot 10^{-3}$	$4,594 \cdot 10^{-3}$	$6,690 \cdot 10^{-4}$	$1,590 \cdot 10^{-4}$	$3,279 \cdot 10^{-3}$
17	1405	$3,045 \cdot 10^{-3}$	$6,610 \cdot 10^{-3}$	$1,937 \cdot 10^{-2}$	$2,219 \cdot 10^{-2}$	$5,261 \cdot 10^{-3}$	$9,780 \cdot 10^{-4}$
18	1789	$6,135 \cdot 10^{-3}$	$1,566 \cdot 10^{-3}$	$8,946 \cdot 10^{-3}$	$1,025 \cdot 10^{-2}$	$2,429 \cdot 10^{-3}$	$1,969 \cdot 10^{-3}$
19	1080	$1,016 \cdot 10^{-3}$	$1,324 \cdot 10^{-3}$	$5,800 \cdot 10^{-3}$	$6,645 \cdot 10^{-3}$	$1,575 \cdot 10^{-3}$	$3,260 \cdot 10^{-4}$
20	1004	$1,524 \cdot 10^{-3}$	$8,224 \cdot 10^{-3}$	$3,658 \cdot 10^{-2}$	$4,191 \cdot 10^{-2}$	$9,932 \cdot 10^{-3}$	$4,890 \cdot 10^{-4}$
21	1320	$1,546 \cdot 10^{-3}$	$8,950 \cdot 10^{-4}$	$3,130 \cdot 10^{-4}$	$1,310 \cdot 10^{-3}$	$3,100 \cdot 10^{-4}$	$4,960 \cdot 10^{-4}$
22	1084	$1,040 \cdot 10^{-3}$	$4,866 \cdot 10^{-3}$	$3,023 \cdot 10^{-3}$	$5,350 \cdot 10^{-4}$	$1,270 \cdot 10^{-4}$	$3,340 \cdot 10^{-4}$
23	1807	$6,985 \cdot 10^{-3}$	$4,302 \cdot 10^{-3}$	$3,857 \cdot 10^{-2}$	$7,450 \cdot 10^{-5}$	$1,770 \cdot 10^{-5}$	$2,242 \cdot 10^{-3}$
24	1999	$7,662 \cdot 10^{-3}$	$9,707 \cdot 10^{-3}$	$1,147 \cdot 10^{-2}$	$3,920 \cdot 10^{-4}$	$9,280 \cdot 10^{-5}$	$2,460 \cdot 10^{-3}$
25	1902	$5,100 \cdot 10^{-4}$	$3,282 \cdot 10^{-3}$	$2,412 \cdot 10^{-2}$	$1,709 \cdot 10^{-3}$	$4,050 \cdot 10^{-4}$	$1,640 \cdot 10^{-4}$
26	1001	$5,290 \cdot 10^{-4}$	$8,690 \cdot 10^{-3}$	$6,157 \cdot 10^{-2}$	$7,510 \cdot 10^{-4}$	$1,780 \cdot 10^{-4}$	$1,700 \cdot 10^{-4}$
27	1150	$4,880 \cdot 10^{-3}$	$9,072 \cdot 10^{-3}$	$7,221 \cdot 10^{-2}$	$1,316 \cdot 10^{-4}$	$3,120 \cdot 10^{-4}$	$1,566 \cdot 10^{-3}$
28	1064	$5,423 \cdot 10^{-3}$	$6,926 \cdot 10^{-3}$	$2,553 \cdot 10^{-2}$	$4,220 \cdot 10^{-4}$	$1,000 \cdot 10^{-4}$	$1,741 \cdot 10^{-3}$
29	1104	$3,423 \cdot 10^{-3}$	$3,201 \cdot 10^{-3}$	$1,742 \cdot 10^{-2}$	$6,710 \cdot 10^{-4}$	$1,590 \cdot 10^{-4}$	$1,099 \cdot 10^{-3}$
30	1004	$2,792 \cdot 10^{-3}$	$1,710 \cdot 10^{-3}$	$6,150 \cdot 10^{-5}$	$9,780 \cdot 10^{-4}$	$2,320 \cdot 10^{-4}$	$8,960 \cdot 10^{-4}$
31	1234	$6,073 \cdot 10^{-3}$	$3,370 \cdot 10^{-4}$	$3,236 \cdot 10^{-3}$	$2,620 \cdot 10^{-4}$	$6,220 \cdot 10^{-5}$	$1,949 \cdot 10^{-3}$
32	1010	$2,282 \cdot 10^{-3}$	$7,012 \cdot 10^{-3}$	$4,775 \cdot 10^{-2}$	$1,239 \cdot 10^{-3}$	$2,940 \cdot 10^{-4}$	$7,330 \cdot 10^{-4}$
33	1084	$1,718 \cdot 10^{-3}$	$1,594 \cdot 10^{-3}$	$1,156 \cdot 10^{-2}$	$1,326 \cdot 10^{-3}$	$6,100 \cdot 10^{-3}$	$5,520 \cdot 10^{-4}$
34	1907	$5,121 \cdot 10^{-3}$	$2,297 \cdot 10^{-3}$	$1,528 \cdot 10^{-2}$	$3,770 \cdot 10^{-4}$	$7,321 \cdot 10^{-3}$	$1,644 \cdot 10^{-3}$
35	1124	$1,209 \cdot 10^{-3}$	$9,894 \cdot 10^{-3}$	$8,875 \cdot 10^{-2}$	$3,160 \cdot 10^{-4}$	$1,531 \cdot 10^{-3}$	$3,880 \cdot 10^{-4}$
36	1450	$9,360 \cdot 10^{-5}$	$3,767 \cdot 10^{-3}$	$2,179 \cdot 10^{-2}$	$7,420 \cdot 10^{-7}$	$3,140 \cdot 10^{-3}$	$3,000 \cdot 10^{-5}$
37	1709	$1,670 \cdot 10^{-3}$	$7,516 \cdot 10^{-3}$	$5,731 \cdot 10^{-2}$	$1,709 \cdot 10^{-3}$	$1,467 \cdot 10^{-3}$	$5,360 \cdot 10^{-4}$
38	1005	$3,080 \cdot 10^{-3}$	$7,613 \cdot 10^{-3}$	$1,609 \cdot 10^{-2}$	$1,465 \cdot 10^{-3}$	$7,438 \cdot 10^{-3}$	$9,890 \cdot 10^{-4}$
39	1000	$2,990 \cdot 10^{-3}$	$1,101 \cdot 10^{-3}$	$3,250 \cdot 10^{-3}$	$1,053 \cdot 10^{-3}$	$7,921 \cdot 10^{-3}$	$9,600 \cdot 10^{-4}$

40	1360	$2,820 \cdot 10^{-4}$	$8,704 \cdot 10^{-3}$	$3,355 \cdot 10^{-3}$	$1,460 \cdot 10^{-3}$	$7,994 \cdot 10^{-3}$	$9,050 \cdot 10^{-5}$
41	1450	$4,744 \cdot 10^{-3}$	$1,014 \cdot 10^{-3}$	$4,662 \cdot 10^{-3}$	$1,771 \cdot 10^{-3}$	$5,721 \cdot 10^{-3}$	$1,523 \cdot 10^{-3}$
42	1234	$1,007 \cdot 10^{-3}$	$9,862 \cdot 10^{-3}$	$1,789 \cdot 10^{-3}$	$6,560 \cdot 10^{-4}$	$8,420 \cdot 10^{-3}$	$4,929 \cdot 10^{-3}$
43	1809	$3,733 \cdot 10^{-3}$	$1,792 \cdot 10^{-3}$	$1,712 \cdot 10^{-2}$	$1,649 \cdot 10^{-3}$	$9,015 \cdot 10^{-3}$	$5,620 \cdot 10^{-3}$
44	1718	$6,848 \cdot 10^{-3}$	$9,340 \cdot 10^{-4}$	$2,888 \cdot 10^{-3}$	$7,380 \cdot 10^{-4}$	$1,067 \cdot 10^{-2}$	$5,000 \cdot 10^{-4}$
45	1020	$2,050 \cdot 10^{-4}$	$8,990 \cdot 10^{-3}$	$9,739 \cdot 10^{-3}$	$3,210 \cdot 10^{-4}$	$3,320 \cdot 10^{-3}$	$3,217 \cdot 10^{-3}$
46	1408	$5,820 \cdot 10^{-3}$	$8,699 \cdot 10^{-3}$	$4,614 \cdot 10^{-2}$	$5,060 \cdot 10^{-4}$	$5,705 \cdot 10^{-3}$	$3,205 \cdot 10^{-3}$
47	1364	$1,000 \cdot 10^{-2}$	$6,100 \cdot 10^{-3}$	$3,891 \cdot 10^{-2}$	$3,040 \cdot 10^{-4}$	$5,197 \cdot 10^{-3}$	$8,480 \cdot 10^{-4}$
48	1725	$4,164 \cdot 10^{-3}$	$5,809 \cdot 10^{-3}$	$2,532 \cdot 10^{-2}$	$1,573 \cdot 10^{-3}$	$9,472 \cdot 10^{-3}$	$9,167 \cdot 10^{-3}$
49	1340	$2,374 \cdot 10^{-3}$	$5,999 \cdot 10^{-3}$	$1,457 \cdot 10^{-2}$	$2,240 \cdot 10^{-4}$	$1,141 \cdot 10^{-2}$	$4,459 \cdot 10^{-3}$
50	1222	$3,580 \cdot 10^{-4}$	$1,881 \cdot 10^{-3}$	$6,280 \cdot 10^{-3}$	$8,680 \cdot 10^{-4}$	$2,821 \cdot 10^{-3}$	$2,038 \cdot 10^{-3}$

23 Данные для расчета системы с ненагруженным резервом

№ варианта	$t, ч$	n	$\lambda, ч^{-1}$	№ варианта	$t, ч$	n	$\lambda, ч^{-1}$
1	1060	2	$9,7 \cdot 10^{-4}$	26	9760	4	$5,3 \cdot 10^{-5}$
2	2040	3	$7,2 \cdot 10^{-4}$	27	1050	4	$9,5 \cdot 10^{-4}$
3	9890	4	$1,5 \cdot 10^{-4}$	28	2010	2	$1,0 \cdot 10^{-4}$
4	1670	2	$4,3 \cdot 10^{-4}$	29	3860	3	$3,1 \cdot 10^{-4}$
5	8770	3	$1,5 \cdot 10^{-4}$	30	4760	4	$2,5 \cdot 10^{-4}$
6	3450	4	$1,5 \cdot 10^{-4}$	31	5000	2	$4,0 \cdot 10^{-4}$
7	1130	2	$5,3 \cdot 10^{-4}$	32	2830	4	$9,2 \cdot 10^{-4}$
8	9660	2	$1,4 \cdot 10^{-4}$	33	2480	2	$2,3 \cdot 10^{-4}$
9	5810	2	$6,7 \cdot 10^{-5}$	34	1000	4	$3,5 \cdot 10^{-4}$
10	2000	3	$3,0 \cdot 10^{-4}$	35	3870	2	$3,9 \cdot 10^{-4}$
11	1610	4	$2,0 \cdot 10^{-4}$	36	2170	3	$1,6 \cdot 10^{-4}$
12	4270	3	$2,5 \cdot 10^{-4}$	37	6340	2	$1,1 \cdot 10^{-4}$
13	4470	3	$1,4 \cdot 10^{-4}$	38	2340	3	$2,6 \cdot 10^{-4}$
14	1030	4	$1,9 \cdot 10^{-3}$	39	5410	4	$1,8 \cdot 10^{-4}$
15	5470	4	$7,6 \cdot 10^{-5}$	40	4220	2	$3,7 \cdot 10^{-4}$
16	2970	2	$9,9 \cdot 10^{-4}$	41	2200	4	$1,3 \cdot 10^{-4}$
17	4110	3	$1,3 \cdot 10^{-4}$	42	8500	3	$1,9 \cdot 10^{-4}$
18	6230	2	$3,6 \cdot 10^{-4}$	43	9040	4	$1,4 \cdot 10^{-4}$
19	2460	3	$3,2 \cdot 10^{-4}$	44	5390	2	$3,2 \cdot 10^{-4}$
20	2880	2	$1,9 \cdot 10^{-4}$	45	2390	3	$3,2 \cdot 10^{-4}$
21	2540	3	$2,8 \cdot 10^{-4}$	46	7920	4	$8,3 \cdot 10^{-5}$
22	1520	2	$2,2 \cdot 10^{-4}$	47	3870	2	$3,5 \cdot 10^{-4}$
23	3200	2	$4,7 \cdot 10^{-4}$	48	4940	4	$2,3 \cdot 10^{-4}$
24	9380	3	$3,7 \cdot 10^{-5}$	49	1040	2	$9,4 \cdot 10^{-4}$
25	9550	3	$8,7 \cdot 10^{-5}$	50	5620	3	$2,7 \cdot 10^{-4}$

24 Данные для расчета надежности функционирования технологического аппарата

№ варианта	Данные к задаче 16										Данные к задаче 17		
	Расчетная схема	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}	схема	P_S
1	Рис. 15, а	0,95	0,85	0,95	0,91	0,92	0,99	0,85	0,78	0,93	0,99	Рис. 15, в	0,90
2	Рис. 15, б	0,87	0,90	0,87	0,92	0,93	0,98	0,89	0,77	0,94	1,00	Рис. 15, б	0,85
3	Рис. 15, в	0,85	0,98	0,74	0,92	0,64	0,97	0,87	0,78	0,92	0,99	Рис. 15, а	0,78
4	Рис. 15, г	0,90	0,99	0,87	0,93	0,79	0,95	0,84	0,87	0,90	0,98	Рис. 15, б	0,68
5	Рис. 15, б	0,98	1,00	0,80	0,94	0,71	0,96	0,86	0,78	0,91	0,97	Рис. 15, г	0,54
6	Рис. 15, в	0,99	0,93	0,85	0,92	0,73	0,95	0,82	0,74	0,93	0,96	Рис. 15, г	0,90
7	Рис. 15, г	1,00	0,85	0,86	0,90	0,92	0,97	0,83	0,75	0,93	0,95	Рис. 15, в	0,46

8	Рис. 15, б	0,93	0,74	0,84	0,91	0,90	0,98	0,84	0,76	0,93	0,98	Рис. 15, а	0,48
9	Рис. 15, в	0,85	1,00	0,82	0,93	1,00	0,99	0,87	0,79	0,92	0,91	Рис. 15, б	0,36
10	Рис. 15, в	0,74	0,97	0,83	0,93	0,97	0,98	0,89	0,78	0,91	0,93	Рис. 15, а	0,84
11	Рис. 15, б	0,76	0,93	0,81	0,93	0,93	1,00	0,85	0,77	0,90	0,91	Рис. 15, в	0,54
12	Рис. 15, а	0,68	0,82	0,87	0,92	0,82	0,96	0,86	0,76	0,85	0,90	Рис. 15, б	0,92
13	Рис. 15, б	0,81	0,81	0,90	0,91	0,81	0,97	0,83	0,75	0,89	0,90	Рис. 15, з	0,82
14	Рис. 15, а	0,70	0,83	0,91	0,90	0,83	0,98	0,89	0,78	0,87	0,90	Рис. 15, в	0,70
15	Рис. 15, в	0,96	0,84	0,92	0,92	0,84	0,95	0,88	0,79	0,84	0,97	Рис. 15, а	0,64
16	Рис. 15, з	0,98	0,93	0,90	0,91	0,93	0,96	0,87	0,74	0,86	0,98	Рис. 15, з	0,82
17	Рис. 15, б	0,92	0,90	0,80	0,93	0,90	0,97	0,85	0,75	0,82	0,94	Рис. 15, а	0,94
18	Рис. 15, в	0,93	0,98	0,78	0,92	0,98	0,99	0,84	0,78	0,83	0,98	Рис. 15, б	0,90
19	Рис. 15, б	0,64	0,93	0,79	0,91	0,93	0,99	0,89	0,77	0,84	0,97	Рис. 15, а	0,58
20	Рис. 15, а	0,79	0,80	0,82	0,93	0,80	0,99	0,86	0,76	0,87	0,92	Рис. 15, з	0,56
21	Рис. 15, з	0,71	0,87	0,81	0,90	0,87	0,98	0,82	0,78	0,89	0,93	Рис. 15, а	0,54
22	Рис. 15, а	0,73	0,68	0,80	0,92	0,68	0,94	0,81	0,77	0,85	0,94	Рис. 15, б	0,50
23	Рис. 15, з	0,92	0,79	0,80	0,90	0,79	0,95	0,87	0,79	0,86	0,98	Рис. 15, з	0,70
24	Рис. 15, з	0,90	0,72	0,83	0,91	0,72	0,96	0,88	0,74	0,83	0,97	Рис. 15, в	0,60
25	Рис. 15, б	1,00	0,70	0,90	0,92	0,70	0,98	0,85	0,78	0,89	0,99	Рис. 15, а	0,80
26	Рис. 15, в	0,97	0,69	0,91	0,91	0,69	0,97	0,89	0,75	0,88	0,96	Рис. 15, а	0,90
27	Рис. 15, б	0,93	0,91	0,99	0,92	0,91	0,98	0,84	0,72	0,78	0,98	Рис. 15, б	0,56
28	Рис. 15, а	0,82	0,97	0,84	0,92	0,97	0,96	0,82	0,73	0,77	0,96	Рис. 15, в	0,66
29	Рис. 15, б	0,81	0,90	0,85	0,93	0,98	0,99	0,85	0,78	0,76	0,97	Рис. 15, з	0,78
30	Рис. 15, з	0,83	0,98	0,83	0,94	0,90	0,99	0,85	0,77	0,78	0,98	Рис. 15, б	0,94
31	Рис. 15, з	0,84	0,93	0,81	0,92	0,99	0,98	0,80	0,79	0,77	0,92	Рис. 15, в	0,82
32	Рис. 15, в	0,93	0,80	0,82	0,90	0,92	0,98	0,86	0,74	0,79	0,97	Рис. 15, з	0,48
33	Рис. 15, а	0,90	0,87	0,87	0,91	1,00	0,97	0,84	0,70	0,98	0,99	Рис. 15, б	0,64
34	Рис. 15, б	0,98	0,68	0,88	0,93	0,95	0,96	0,87	0,78	0,93	1,00	Рис. 15, в	0,38
35	Рис. 15, а	0,93	0,79	0,89	0,93	0,92	0,98	0,89	0,74	0,80	0,99	Рис. 15, в	0,58
36	Рис. 15, в	0,80	0,72	0,88	0,93	0,87	0,96	0,87	0,78	0,87	0,98	Рис. 15, б	0,90
37	Рис. 15, б	0,87	0,70	0,87	0,92	0,82	0,97	0,89	0,79	0,68	0,97	Рис. 15, а	0,84
38	Рис. 15, з	0,68	0,69	0,86	0,91	0,83	0,97	0,85	0,79	0,79	0,96	Рис. 15, б	0,48
39	Рис. 15, в	0,79	0,91	0,82	0,90	0,78	0,98	0,84	0,78	0,72	0,95	Рис. 15, а	0,54
40	Рис. 15, а	0,72	0,68	0,84	0,92	0,91	0,94	0,86	0,76	0,70	0,98	Рис. 15, в	0,95
41	Рис. 15, з	0,70	0,97	0,87	0,91	0,93	0,95	0,88	0,77	0,69	0,91	Рис. 15, з	0,64
42	Рис. 15, а	0,69	0,90	0,85	0,93	0,92	0,96	0,85	0,78	0,91	0,93	Рис. 15, б	0,38
43	Рис. 15, б	0,91	0,95	0,82	0,92	0,98	0,97	0,89	0,74	0,97	0,91	Рис. 15, в	0,44
44	Рис. 15, а	0,97	0,77	0,89	0,91	0,99	0,98	0,87	0,76	0,85	0,90	Рис. 15, б	0,58
45	Рис. 15, з	0,98	0,78	0,90	0,93	1,00	0,99	0,89	0,79	0,84	0,90	Рис. 15, а	0,62
46	Рис. 15, а	0,90	0,64	0,91	0,90	0,85	0,99	0,88	0,78	0,89	0,90	Рис. 15, з	0,60
47	Рис. 15, б	0,99	0,98	0,89	0,92	0,93	0,98	0,85	0,74	0,95	0,97	Рис. 15, а	0,82
48	Рис. 15, з	0,92	0,92	0,80	0,90	0,98	0,95	0,84	0,78	0,85	0,98	Рис. 15, з	0,64
49	Рис. 15, в	1,00	0,90	0,82	0,91	0,97	0,97	0,85	0,78	0,78	0,94	Рис. 15, з	0,90
50	Рис. 15, а	0,95	0,93	0,88	0,92	0,93	0,96	0,88	0,75	0,96	0,98	Рис. 15, б	0,50

25 Данные для расчета системы с k исправными элементами из n

№ варианта	k	n	$t, ч$	$\lambda, ч^{-1}$	№ варианта	k	n	$t, ч$	$\lambda, ч^{-1}$
1	2	3	780	$9,7 \cdot 10^{-4}$	26	3	4	650	$5,3 \cdot 10^{-5}$
2	2	3	780	$7,2 \cdot 10^{-4}$	27	3	4	650	$9,5 \cdot 10^{-4}$
3	2	3	780	$1,5 \cdot 10^{-4}$	28	3	4	650	$1,0 \cdot 10^{-4}$
4	2	3	780	$4,3 \cdot 10^{-4}$	29	3	4	650	$3,1 \cdot 10^{-4}$
5	2	3	780	$1,5 \cdot 10^{-4}$	30	3	4	650	$2,5 \cdot 10^{-4}$
6	2	3	780	$1,5 \cdot 10^{-4}$	31	3	4	650	$4,0 \cdot 10^{-4}$
7	2	3	780	$5,3 \cdot 10^{-4}$	32	3	4	650	$9,2 \cdot 10^{-4}$
8	2	3	780	$1,4 \cdot 10^{-4}$	33	3	4	650	$2,3 \cdot 10^{-4}$
9	2	3	780	$6,7 \cdot 10^{-5}$	34	3	4	650	$3,5 \cdot 10^{-4}$
10	2	3	780	$3,0 \cdot 10^{-4}$	35	3	4	650	$3,9 \cdot 10^{-4}$
11	2	3	780	$2,0 \cdot 10^{-4}$	36	3	4	650	$1,6 \cdot 10^{-4}$
12	2	3	780	$2,5 \cdot 10^{-4}$	37	3	4	650	$1,1 \cdot 10^{-4}$
13	2	3	780	$1,4 \cdot 10^{-4}$	38	3	4	650	$2,6 \cdot 10^{-4}$
14	2	3	780	$1,9 \cdot 10^{-3}$	39	3	4	650	$1,8 \cdot 10^{-4}$
15	2	3	780	$7,6 \cdot 10^{-5}$	40	3	4	650	$3,7 \cdot 10^{-4}$

16	2	3	780	$9,9 \cdot 10^{-4}$	41	3	4	650	$1,3 \cdot 10^{-4}$
17	2	3	780	$1,3 \cdot 10^{-4}$	42	3	4	650	$1,9 \cdot 10^{-4}$
18	2	3	780	$3,6 \cdot 10^{-4}$	43	3	4	650	$1,4 \cdot 10^{-4}$
19	2	3	780	$3,2 \cdot 10^{-4}$	44	3	4	650	$3,2 \cdot 10^{-4}$
20	2	3	780	$1,9 \cdot 10^{-4}$	45	3	4	650	$3,2 \cdot 10^{-4}$
21	2	3	780	$2,8 \cdot 10^{-4}$	46	3	4	650	$8,3 \cdot 10^{-5}$
22	2	3	780	$2,2 \cdot 10^{-4}$	47	3	4	650	$3,5 \cdot 10^{-4}$
23	2	3	780	$4,7 \cdot 10^{-4}$	48	3	4	650	$2,3 \cdot 10^{-4}$
24	2	3	780	$3,7 \cdot 10^{-5}$	49	3	4	650	$9,4 \cdot 10^{-4}$
25	2	3	780	$8,7 \cdot 10^{-5}$	50	3	4	650	$2,7 \cdot 10^{-4}$

26 Данные для расчета системы, состоящей из пяти элементов, соединенных по мостиковой схеме

№ варианта	$\lambda, \text{ч}^{-1}$	$t, \text{ч}$	№ варианта	$\lambda, \text{ч}^{-1}$	$t, \text{ч}$
1	0,000801	340	26	0,000183	280
2	0,000536	780	27	0,000816	170
3	0,000787	820	28	0,000220	240
4	0,000996	200	29	0,000490	120
5	0,000742	770	30	0,000121	980
6	0,000381	750	31	0,000699	580
7	0,000587	950	32	0,000358	540
8	0,000396	860	33	0,000993	240
9	0,000533	780	34	0,000230	220
10	0,000864	550	35	0,000517	130
11	0,000514	840	36	0,000223	100
12	0,000313	870	37	0,000432	840
13	0,000732	600	38	0,000799	690
14	0,000485	870	39	0,000317	500
15	0,000154	950	40	0,000475	790
16	0,000444	550	41	0,000069	110
17	0,000794	340	42	0,000518	310
18	0,000685	110	43	0,000893	670
19	0,000824	740	44	0,000809	140
20	0,000312	730	45	0,000135	750
21	0,000132	180	46	0,000278	800
22	0,000214	430	47	0,000488	320
23	0,000334	190	48	0,000426	420
24	0,000987	650	49	0,000580	460
25	0,000941	660	50	0,000899	100

27 Исходные данные для расчета элемента, испытывающего растягивающее напряжение

№ варианта	$\bar{\sigma}_t, \text{МПа}$	$S_t, \text{МПа}$	$\bar{\sigma}_c, \text{МПа}$	$S_c, \text{МПа}$	$\bar{\sigma}_s, \text{МПа}$	P
1	255	30	73	10	345	0,9960
2	240	29	69	9	324	0,9965
3	230	28	66	9	311	0,9970
4	280	33	80	11	378	0,9974
5	260	31	75	10	351	0,9980
6	245	29	70	9	331	0,9995
7	235	28	68	9	318	0,9998
8	230	28	66	9	311	0,9999
9	240	29	69	9	324	0,6915
10	280	33	80	11	378	0,7000
11	294	35	84	11	397	0,7257
12	265	32	76	10	358	0,7500
13	247	30	71	10	334	0,9850
14	258	31	74	10	349	0,9861

15	231	28	66	9	312	0,9893
16	245	29	70	9	331	0,9900
17	268	32	77	10	362	0,9918
18	290	35	83	11	392	0,8500
19	270	32	78	10	365	0,8643
20	258	31	74	10	349	0,8849
21	264	32	76	10	357	0,9000
22	274	33	79	11	370	0,9032
23	258	31	74	10	349	0,9192
24	259	31	74	10	350	0,9332
25	230	28	66	9	311	0,9452
26	220	26	63	9	297	0,9500
27	215	26	62	8	291	0,9554
28	240	29	69	9	324	0,9600
29	260	31	75	10	351	0,9641
30	278	33	80	11	376	0,9700
31	290	35	83	11	392	0,9772
32	296	35	85	11	400	0,9800
33	248	30	71	10	335	0,9821
34	250	30	72	10	338	0,7580
35	240	29	69	9	324	0,7881
36	230	28	66	9	311	0,8000
37	285	34	82	11	385	0,8159
38	264	32	76	10	357	0,8413
39	270	32	78	10	365	0,9920
40	240	29	69	9	324	0,9938
41	236	28	68	9	319	0,9950
42	210	25	60	8	284	0,9953
43	236	28	68	9	319	0,5000
44	296	35	85	11	400	0,5398
45	258	31	74	10	349	0,5500
46	250	30	72	10	338	0,5793
47	260	31	75	10	351	0,6000
48	274	33	79	11	370	0,9981
49	258	31	74	10	349	0,9986
50	283	34	81	11	383	0,9990

28 Допуски размеров до 500 мм (по ГОСТ 25346–89 и ГОСТ 25348–82)

Номинальные размеры, мм	Квалитеты																		
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Допуски																		
	мкм													мм					
До 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,12	0,14	0,25	0,4	0,6	1
Св. 3 до 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,14	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2
Св. 6 до 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5
Св. 10 до 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8
Св. 18 до 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1
Св. 30 до 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1,00	1,6	2,5
Св. 50 до 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3,0
Св. 80 до 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5
Св. 120 до 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1,00	1,6	2,5	4,0
Св. 180 до 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6
Св. 250 до 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2
Св. 315 до 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7
Св. 400 до 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,5	4,0	6,3

29 Предельные отклонения валов в посадках с натягом, мкм (система отверстия)

Номинальные размеры	Квалитеты													
	4	5				6				7		8		
	Поля допусков													
	<i>p4</i>	<i>p5</i>	<i>r5</i>	<i>s5</i>	<i>p6</i>	<i>r6</i>	<i>s6</i>	<i>t6</i>	<i>s7</i>	<i>u7</i>	<i>u8</i>	<i>k8</i>	<i>z8</i>	
От 1 до 3	+7	+10	+14	+18	+12	+16	+20	–	+24	+28	+32	+34	+40	
	+4	+6	+10	+14	+6	+10	+14	–	+14	+18	+18	+20	+26	
Св. 3 до 6	+12	+17	+20	+24	+20	+23	+27	–	+31	+35	+41	+46	+53	
	+8	+12	+15	+19	+12	+15	+19	–	+19	+23	+23	+28	+35	
Св. 6 до 10	+14	+21	+25	+29	+24	+28	+32	–	+38	+43	+50	+56	+64	
	+10	+15	+19	+23	+15	+19	+23	–	+23	+28	+28	+34	+42	
Св. 10 до 14	+17	+26	+31	+36	+29	+34	+39	–	+46	+51	+60	+67	+77	
	+12	+18	+23	+28	+18	+23	+28	–	+28	+33	+33	+40	+50	
Св. 14 до 18	+17	+26	+31	+36	+29	+34	+39	–	+46	+51	+60	+67	+77	
	+12	+18	+23	+28	+18	+23	+28	–	+28	+33	+33	+40	+50	
Св. 18 до 24	+21	+31	+37	+44	+35	+41	+48	–	+56	+62	+74	+87	+106	
	+15	+22	+28	+35	+22	+28	+35	–	+36	+41	+41	+54	+73	
Св. 24 до 30	+21	+31	+37	+44	+35	+41	+48	+54	+56	+69	+81	+97	+121	
	+15	+22	+28	+35	+22	+28	+35	+41	+36	+48	+48	+64	+88	
Св. 30 до 40	+24	+37	+45	+54	+42	+50	+59	+64	+68	+85	+99	+119	+151	
	+17	+26	+34	+43	+26	+34	+43	+48	+43	+60	+60	+80	+112	
Св. 40 до 50	+24	+37	+45	+54	+42	+50	+59	+64	+68	+85	+99	+119	+151	
	+17	+26	+34	+43	+26	+34	+43	+48	+43	+60	+60	+80	+112	
Св. 50 до 65	+28	+45	+54	+66	+51	+60	+72	+85	+83	+117	+133	+168	+218	
	+28	+45	+54	+66	+51	+41	+53	+66	+53	+87	+87	+122	+172	
Св. 65 до 80	+20	+32	+56	+72	+32	+62	+78	+94	+89	+132	+148	+192	+256	
	+20	+32	+43	+59	+32	+43	+59	+75	+59	+102	+102	+146	+210	
Св. 80 до 100	+33	+52	+66	+86	+59	+73	+93	+113	+106	+159	+173	+232	+312	
	+23	+37	+51	+71	+37	+51	+71	+91	+71	+124	+124	+178	+258	
Св. 100 до 120	+33	+52	+66	+86	+59	+73	+93	+113	+106	+159	+173	+232	+312	
	+23	+37	+51	+71	+37	+51	+71	+91	+71	+124	+124	+178	+258	
Св. 120 до 140	+39	+61	+81	+110	+68	+88	+117	+147	+132	+210	+233	+311	+428	
	+27	+43	+63	+92	+43	+63	+92	+122	+92	+170	+170	+248	+365	
Св. 140 до 160	+39	+61	+81	+110	+68	+90	+125	+159	+140	+230	+253	+343	+478	
	+27	+43	+65	+100	+43	+65	+100	+134	+100	+190	+190	+280	+415	
Св. 160 до 180	+39	+61	+81	+110	+68	+93	+133	+171	+148	+250	+273	+373	+528	
	+27	+43	+68	+108	+43	+68	+108	+146	+108	+210	+210	+310	+465	
Св. 180 до 200	+45	+70	+97	+142	+79	+106	+151	+195	+168	+282	+308	+422	+592	
	+31	+50	+77	+122	+50	+77	+122	+166	+122	+236	+236	+350	+520	

Св. 200 до 225			+100 +80	+150 +130		+109 +80	+159 +130	+209 +180	+176 +130	+304 +258	+330 +258	+457 +385	+647 +575
Св. 225 до 250			+104 +84	+160 +140		+113 +84	+169 +140	+225 +196	+186 +140	+330 +284	+356 +284	+497 +425	+712 +640
Св. 250 до 280	+50	+79	+117 +94	+181 +158	+88	+126 +94	+190 +158	+250 +218	+210 +158	+367 +315	+396 +315	+556 +475	+791 +710
Св. 280 до 315	+34	+56	+121 +98	+193 +170	+56	+130 +98	+202 +170	+272 +240	+222 +170	+402 +350	+431 +350	+606 +525	+871 +790
Св. 315 до 355	+55	+87	+133 +108	+215 +190	+98	+144 +108	+226 +190	+304 +268	+247 +190	+447 +390	+479 +390	+679 +590	+989 +900
Св. 355 до 400	+37	+62	+139 +114	+233 +208	+62	+150 +114	+244 +208	+330 +294	+265 +208	+492 +435	+524 +435	+749 +660	+1089 +1000
Св. 400 до 450	+60	+95	+153 +126	+259 +232	+108	+166 +126	+272 +232	+370 +330	+295 +232	+553 +490	+587 +490	+837 +740	+1197 +1100
Св. 450 до 500	+40	+68	+159 +132	+279 +252	+68	+172 +132	+292 +252	+400 +360	+315 +252	+603 +540	+637 +540	+917 +820	+1347 +1250

30 Поверхности отверстий и валов в системе отверстия и вала

Класс точности (квалитет)	Обозначение полей допусков	Размеры, мм													
		от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 260	св. 260 до 360	св. 360 до 500	св. 500 до 630	св. 630 до 1000
Параметры шероховатостей поверхностей, мкм															
2 (6-7)	Отверстие	H7	R _a = 0,63	R _a = 1,25	R _a = 2,5				R _z = 20				R _z = 40		
		u7			R _a = 2,5				R _z = 20				—		
	Вал	R6, s6	R _a = 1,25				R _a = 2,5				R _z = 20				
		n6 k6 Js6	R _a = 0,63	R _a = 1,25	R _a = 2,5				R _z = 20						
		h6 g6			R _a = 2,5				R _z = 20						
		f7	R _a = 0,63	R _a = 1,25	R _a = 2,5				R _z = 40				—		
		e7	R _a = 1,25			R _a = 2,5				R _z = 20				—	
2a (7-8)	Отверстие	H8	R _a = 1,25		R _a = 2,5				R _z = 20				R _z = 40		
3 (8-9)	Вал	e s7, u8	R _a = 0,63	R _a = 1,25				R _a = 2,5				R _z = 20		R _z = 40	
		Отверстие	H8, H9 u8	R _a = 1,25	R _a = 2,5				R _z = 20				R _z = 40		R _z = 80
	Вал	x8, u8 s8	—	R _a = 20				R _z = 20				R _z = 40	R _z = 80		
		h8, h9	R _a = 1,25	R _a = 2,5		R _z = 20				R _z = 40				—	
		f9, e9 e8	R _a = 2,5			R _z = 20				R _z = 40				R _z = 80	
3 (8-9)	Отверстие	H8, H9	R _a = 1,25	R _a = 2,5		R _z = 20				R _z = 40				R _z = 80	
Вал	e	u8	—	R _a = 20				R _z = 20				R _z = 40	R _z = 80		
	x8, u8 s8	—	R _a = 20				R _z = 20				R _z = 40	R _z = 80			
	h8, h9	R _a = 1,25	R _a = 2,5		R _z = 20				R _z = 40				—		
	f9, e9 e8	R _a = 2,5			R _z = 20				R _z = 40				—		
d9	R _a = 2,5			R _z = 20				R _z = 20				—			

Класс точности (квалитет)	Обозначение полей допусков	Размеры, мм													
		от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 260	св. 260 до 360	св. 360 до 500	св. 500 до 630	св. 630 до 1000
4 (11)	Вал	H11	$R_z = 20$			$R_z = 40$			$R_z = 80$						
		h11 d11	$R_z = 20$			$R_z = 40$			$R_z = 80$						
5 (12)	Вал	H12	$R_z = 40$			$R_z = 80$									
		h12 b12	$R_z = 40$			$R_z = 80$			$R_z = 160$						
7 (14)		H14	$R_z = 80$			$R_z = 160$			$R_z = 320$						
2 (6-8)	Вал	h6	$R_a = 0,63$	$R_a = 0,63$			$R_a = 1,25$			$R_a = 2,5$			$R_z = 20$		
		T7 U7 U8	$R_a = 0,63$	$R_a = 1,25$			$R_a = 2,5$			$R_z = 20$			-		
	Отверстие	R7, S7								$R_a = 2,5$					
		N7		$R_a = 1,25$											
		K7					$R_a = 1,25$						$R_z = 20$		
		J57								$R_a = 2,5$					
		H7	$R_a = 0,63$	$R_a = 1,25$						$R_a = 2,5$					
		G7											$R_z = 20$		
		F8	$R_a = 0,63$	$R_a = 1,25$						$R_a = 2,5$					
		E8		$R_a = 1,25$						$R_a = 2,5$			$R_z = 20$		-

Класс точности (квалитет)	Обозначение полей допусков	Размеры, мм													
		от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 260	св. 260 до 360	св. 360 до 500	св. 500 до 630	св. 630 до 1000
2a (7-8)	Вал	h7	$R_a = 0,63$	$R_a = 1,25$			$R_a = 2,5$			$R_z = 20$					
		Отверстие	U8	$R_a = 1,25$			$R_a = 2,5$			$R_z = 20$			-		
3 (8-10)	Вал	h8, h9	$R_a = 1,25$	$R_a = 2,5$						$R_z = 20$			$R_z = 40$		
		Отверстие	H8, H9	$R_a = 2,5$			$R_z = 20$								
			E9, F9							$R_z = 40$			$R_z = 80$		
4 (11)	Вал	h11	$R_a = 2,5$			$R_z = 20$									
		Отверстие	H11												
			D11												
			B11 C11	$R_z = 20$						$R_z = 40$			$R_z = 80$		
			A11 B11												
5 (12-13)	Вал	h12, h13	$R_z = 20$			$R_z = 40$			$R_z = 80$						
		Отверстие	H12 H13	$R_z = 40$						$R_z = 80$			-		
			B12												
7 (14)	Вал	h14	$R_z = 40$			$R_z = 80$			$R_z = 160$						

**36 Механические свойства болтов, винтов и шпилек из углеродистых и легированных сталей
(по ГОСТ 1759.4–87)**

Механические свойства		Класс прочности											
		3,6	4,6	4,8	5,6	5,8	6,6	6,8	8,8		9,8	10,9	12,9
									≤ M16	> M16			
Временное сопротивление разрыву σ_B , МПа	Номин.	300	400		500		600		800	800	900	1000	1200
	Наиб.	330	400	420	500	520	600		800	830	900	1040	1220
Твердость по Бринеллю НВ	Наим.	90	114	124	147	152	181		238	242	276	304	366
	Наиб.	238							304	318	342	361	414
Предел текучести σ_t , МПа	Номин.	180	240	320	300	400	360	480	–	–	–	–	–
	Наиб.	190	240	340	300	420	360	480	–	–	–	–	–
Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Номин.	–							640	640	720	900	1080
	Наим.	–							640	660	720	940	1100
Напряжение от пробной нагрузки σ_{II}	$\frac{\sigma_B}{\sigma_t}$ или $\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}}$	0,94	0,94	0,91	0,93	0,90	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,88	0,88
	МПа	180	225	310	280	380	440	440	580	600	650	830	970

31 Исходные данные для расчета надежности соединения с натягом

№ варианта	d , мм	D , мм	l , мм	\bar{T} , Н·м	ν_T	\bar{f}	ν_f	Посадка
1	48,0	85,0	60,0	1300,0	0,19	0,13	0,10	H8/x8
2	40,0	76,0	60,0	1950,0	0,18	0,12	0,08	H6/p5
3	54,0	80,0	52,0	1150,0	0,15	0,14	0,90	H6/r5
4	60,0	76,0	72,0	7240,0	0,12	0,15	0,10	H6/s5
5	46,0	92,0	65,0	2000,0	0,10	0,12	0,11	H7/p6
6	52,0	86,0	78,0	5400,0	0,15	0,12	0,12	H7/r6
7	64,0	78,0	80,0	6050,0	0,13	0,16	0,14	H7/s6
8	56,0	86,0	85,0	4240,0	0,14	0,18	0,15	H7/t6
9	42,0	90,0	50,0	1380,0	0,18	0,13	0,09	H7/s7
10	58,0	110,0	90,0	8900,0	0,09	0,13	0,08	H7/u7
11	70,0	150,0	105,0	9000,0	0,15	0,12	0,16	H8/s7
12	72,0	146,0	115,0	6080,0	0,12	0,19	0,18	H8/u8
13	66,0	108,0	126,0	8000,0	0,14	0,12	0,09	H8/x8
14	84,0	160,0	148,0	7360,0	0,11	0,18	0,10	H8/z8
15	80,0	160,0	123,0	8820,0	0,12	0,16	0,10	H8/x8
16	70,0	200,0	168,0	6400,0	0,16	0,12	0,12	H6/p5
17	36,0	72,0	42,0	2450,0	0,18	0,14	0,13	H6/r5
18	48,0	90,0	54,0	1960,0	0,19	0,15	0,16	H6/s5
19	82,0	120,0	92,0	10000,0	0,16	0,20	0,12	H7/p6
20	80,0	136,0	68,0	964,00	0,14	0,15	0,10	H7/r6
21	76,0	130,0	70,0	9800,0	0,17	0,16	0,10	H7/s6
22	42,0	100,0	55,0	2400,0	0,18	0,18	0,09	H7/t6
23	38,0	94,0	40,0	1560,0	0,19	0,12	0,10	H7/s7
24	34,0	80,0	40,0	1240,0	0,16	0,12	0,11	H7/u7
25	48,0	96,0	55,0	1160,0	0,18	0,12	0,09	H8/s7
26	58,0	116,0	84,0	2290,0	0,19	0,16	0,10	H8/u8
27	62,0	120,0	42,0	4040,0	0,18	0,12	0,08	H8/x8
28	72,0	120,0	92,0	8580,0	0,10	0,14	0,90	H8/z8
29	68,0	120,0	102,0	6840,0	0,12	0,15	0,10	H6/r5
30	54,0	106,0	64,0	2870,0	0,12	0,15	0,11	H6/s5
31	70,0	96,0	98,0	2960,0	0,15	0,14	0,12	H7/p6
32	60,0	124,0	90,0	3120,0	0,13	0,16	0,14	H7/r6
33	62,0	142,0	108,0	5640,0	0,14	0,18	0,15	H7/s6
34	65,0	146,0	124,0	8540,0	0,18	0,13	0,09	H7/t6
35	62,0	134,0	140,0	4500,0	0,19	0,12	0,08	H7/s7
36	86,0	146,0	129,0	5200,0	0,17	0,12	0,16	H7/u7
37	58,0	150,0	124,0	5000,0	0,12	0,19	0,18	H8/s7
38	70,0	150,0	150,0	6450,0	0,14	0,12	0,09	H8/u8
39	70,0	150,0	132,0	6200,0	0,11	0,18	0,10	H8/x8
40	64,0	130,0	108,0	3400,0	0,16	0,14	0,10	H8/z8
41	76,0	116,0	134,0	5800,0	0,16	0,12	0,12	H8/x8
42	30,0	72,0	55,0	1540,0	0,18	0,14	0,13	H6/p5
43	42,0	80,0	44,0	1500,0	0,19	0,15	0,16	H6/r5
44	40,0	76,0	64,0	1200,0	0,16	0,21	0,12	H6/s5
45	48,0	76,0	52,0	1650,0	0,14	0,16	0,10	H7/p6
46	60,0	76,0	80,0	2470,0	0,17	0,16	0,10	H7/r6
47	80,0	100,0	120,0	4250,0	0,18	0,18	0,09	H7/s6
48	78,0	92,0	78,0	4890,0	0,19	0,20	0,10	H7/t6
49	60,0	110,0	111,0	5980,0	0,16	0,16	0,11	H7/s7
50	50,0	80,0	75,0	2000,0	0,18	0,12	0,09	H7/u7

32 Коэффициент вариации предела выносливости

№	Вид соединения	$\nu_{св}$
1	Стыковое, сварка ручная	0,05
2	Стыковое, сварка полуавтоматическая или автоматическая	0,03
3	Внахлестку	0,06
4	Втавр с разделкой кромок и глубоким проплавлением	0,04
5	Втавр без разделки кромок и глубокого проплавления	0,06
6	С элементами, не передающими нагрузки	0,03
7	Балки двутавровые	0,05
8	Коробчатые балки	0,09

33 Эффективный коэффициент концентрации напряжения

№	Расчетное сечение основного металла	k_σ
1	Вдали от сварных швов	1,00
2	В месте перехода к стыковому или лобовому шву (металл обработан наждачным кругом)	1,00
3	В месте перехода к стыковому или лобовому шву (металл обработан строганием)	1,10
4	В месте перехода к стыковому шву без механической обработки последнего	1,40
5	без механической обработки последнего, но с плавным переходом при ручной сварке	2,00
6	В месте перехода к лобовому шву при наличии выпуклого валика и небольшого подреза	3,00
7	В месте перехода к продольным (фланговым) швам у концов последних	3,00

34 Данные для расчета надежности сварного шва

№ варианта	Вид соединения	Состояние поверхностей	$\bar{\sigma}_a$, МПа	$\bar{\sigma}_{-1}$, МПа
1	С элементами, не передающими нагрузки	Окалина не удалена	150	131
2	Стыковое, сварка ручная	Окалина удалена	164	155
3	Стыковое, сварка полуавтоматическая	Окалина не удалена	182	147
4	Внахлестку	Окалина удалена	245	217
5	Втавр с разделкой кромок	Окалина удалена	236	215
6	Втавр без разделки кромок	Окалина не удалена	300	300
7	С элементами, не передающими нагрузки	Окалина удалена	289	223
8	Балки двутавровые	Окалина удалена	180	153
9	Коробчатые балки	Окалина не удалена	190	164
10	Стыковое, сварка автоматическая	Окалина удалена	210	180
11	Втавр без разделки кромок	Окалина удалена	220	147
12	С элементами, не передающими нагрузки	Окалина не удалена	258	196
13	Балки двутавровые	Окалина удалена	260	204
14	Коробчатые балки	Окалина не удалена	270	224
15	Стыковое, сварка автоматическая	Окалина не удалена	300	244
16	С элементами, не передающими нагрузки	Окалина не удалена	160	142
17	Стыковое, сварка ручная	Окалина удалена	190	176
18	Стыковое, сварка полуавтоматическая	Окалина не удалена	248	232
19	Внахлестку	Окалина удалена	265	244
20	Втавр с разделкой кромок	Окалина удалена	284	266
21	Втавр без разделки кромок	Окалина не удалена	296	288
22	С элементами, не передающими нагрузки	Окалина удалена	245	243
23	Балки двутавровые	Окалина удалена	278	251
24	Коробчатые балки	Окалина не удалена	200	179
25	Стыковое, сварка автоматическая	Окалина удалена	168	149
26	Втавр без разделки кромок	Окалина не удалена	120	106
27	С элементами, не передающими нагрузки	Окалина не удалена	170	148
28	Балки двутавровые	Окалина не удалена	190	164
29	Коробчатые балки	Окалина удалена	214	183
30	Стыковое, сварка автоматическая	Окалина не удалена	189	161
31	Коробчатые балки	Окалина удалена	147	124
32	Стыковое, сварка автоматическая	Окалина удалена	156	134
33	Втавр без разделки кромок	Окалина не удалена	184	154
34	С элементами, не передающими нагрузки	Окалина удалена	247	205
35	Балки двутавровые	Окалина удалена	265	218
36	Коробчатые балки	Окалина не удалена	239	195
37	Стыковое, сварка автоматическая	Окалина удалена	260	210
38	Втавр без разделки кромок	Окалина не удалена	290	232
39	С элементами, не передающими нагрузки	Окалина не удалена	300	239
40	Балки двутавровые	Окалина не удалена	284	224
41	Коробчатые балки	Окалина удалена	274	215
42	Стыковое, сварка автоматическая	Окалина не удалена	280	218

43	Коробчатые балки	Окалина удалена	300	231
44	Стыковое, сварка автоматическая	Окалина удалена	260	199
45	Втавр без разделки кромок	Окалина не удалена	285	216
46	С элементами, не передающими нагрузки	Окалина удалена	295	222
47	Балки двутавровые	Окалина удалена	264	198
48	Коробчатые балки	Окалина не удалена	250	186
49	Стыковое, сварка автоматическая	Окалина удалена	190	140
50	Втавр без разделки кромок	Окалина не удалена	200	146

35 Основные размеры метрических резьб

Диаметр резьбы			Шаг резьбы P , мм	Раб. высота профиля h , мм	Диаметр резьбы			Шаг резьбы P , мм	Раб. высота профиля h , мм
наружный d , мм	средний d_2 , мм	внутренний d_1 , мм			наружный d , мм	средний d_2 , мм	внутренний d_1 , мм		
3	2,675	2,459	0,500	0,270	22	20,376	19,294	2,500	1,353
4	3,546	3,242	0,700	0,379	24	22,051	20,752	3,000	1,624
5	4,489	4,134	0,800	0,433	27	25,051	23,752	3,000	1,624
6	5,350	4,918	1,000	0,541	30	27,727	26,211	3,500	1,894
7	6,350	5,918	1,000	0,541	33	30,727	29,211	3,500	1,894
8	7,188	6,647	1,250	0,676	36	33,402	31,670	4,000	2,165
9	8,188	7,647	1,250	0,676	39	36,402	34,670	4,000	2,165
10	9,026	8,376	1,500	0,812	42	39,077	37,129	4,500	2,435
11	10,026	9,376	1,500	0,812	45	42,077	40,129	4,500	2,435
12	10,863	10,106	1,750	0,947	48	44,752	42,587	5,000	2,706
14	12,701	11,835	2,000	1,082	52	48,752	46,587	5,000	2,706
16	14,701	13,835	2,000	1,082	56	52,428	50,046	5,500	2,977
18	16,376	15,294	2,500	1,353	60	56,428	54,046	5,500	2,977
20	18,376	17,294	2,500	1,353	64	60,103	57,505	6,000	3,247

37 Эффективный коэффициент концентрации напряжений в зависимости от предела прочности материала

Предел прочности, σ_B , МПа	400	600	800	1000
Коэффициент концентрации, \bar{k}_σ	3,0	3,9	4,8	5,2

38 Исходные данные для расчета резьбового соединения

№ варианта	Тип болта	\bar{F} , Н	ν_F	$\nu_{от}$	$\nu_{зат}$	Класс прочности
1	M5	1545	0,09	0,06	0,02	3,6
2	M10	6850	0,12	0,05	0,09	4,6
3	M6	7077	0,11	0,08	0,03	4,8
4	M12	10 035	0,10	0,04	0,05	5,6
5	M7	2230	0,09	0,07	0,08	5,8
6	M11	11 823	0,13	0,06	0,06	6,6
7	M64	398 598	0,10	0,06	0,07	6,8
8	M30	74 050	0,12	0,07	0,04	8,8
9	M20	27 381	0,10	0,04	0,02	9,8
10	M14	19 268	0,10	0,05	0,09	10,9
11	M22	49 405	0,14	0,08	0,09	12,9
12	M60	337 594	0,09	0,06	0,07	3,6
13	M48	188 756	0,13	0,05	0,05	4,6
14	M5	963	0,15	0,06	0,06	4,8
15	M4	963	0,12	0,06	0,04	5,6
16	M18	20 552	0,11	0,06	0,03	5,8
17	M42	183 506	0,12	0,07	0,08	6,6
18	M30	122 664	0,10	0,05	0,02	6,8
19	M27	59 032	0,10	0,08	0,08	8,8
20	M24	40 902	0,09	0,06	0,09	9,8

21	M16	19 669	0,09	0,05	0,09	10,9
22	M33	118 696	0,08	0,06	0,09	12,9
23	M11	7225	0,10	0,08	0,07	5,6
24	M4	903	0,09	0,06	0,06	5,8
25	M5	963	0,10	0,05	0,08	6,6
26	M39	157 012	0,09	0,07	0,05	6,8
27	M64	365 381	0,12	0,08	0,04	8,8
28	M45	228 377	0,11	0,06	0,09	9,8
29	M30	78 678	0,10	0,06	0,07	10,9
30	M12	11 469	0,09	0,06	0,03	12,9
31	M10	5408	0,08	0,04	0,08	3,6
32	M16	19 669	0,10	0,05	0,07	4,6
33	M18	29 361	0,12	0,04	0,04	4,8
34	M20	34 682	0,10	0,06	0,02	5,6
35	M45	269 900	0,10	0,08	0,03	5,8
36	M14	12 169	0,14	0,06	0,06	6,6
37	M6	4446	0,09	0,06	0,07	6,8
38	M9	5619	0,13	0,04	0,09	8,8
39	M20	28902	0,15	0,07	0,03	9,8
40	M42	151 122	0,16	0,06	0,07	10,9
41	M33	77 153	0,11	0,08	0,03	12,9
42	M36	154 680	0,12	0,04	0,08	4,8
43	M39	169 090	0,10	0,06	0,09	5,6
44	M45	197 927	0,10	0,04	0,08	5,8
45	M52	250 887	0,09	0,06	0,08	6,6
46	M56	234 108	0,08	0,04	0,05	6,8
47	M16	11831	0,14	0,07	0,02	8,8
48	M12	13380	0,08	0,07	0,04	9,8
49	M20	37160	0,09	0,06	0,05	10,9
50	M18	25690	0,11	0,06	0,09	12,9

39 Дополнительные данные для расчета резьбового соединения

№ варианта	Тип болта	Тип соединения
1 – 10	С нарезанной резьбой	Соединение стандартными элементами
11 – 20	С накатанной резьбой	Соединение типа стяжки
21 – 30	С нарезанной резьбой	Соединение стандартными элементами
31 – 40	С накатанной резьбой	Соединение типа стяжки
41 – 50	С нарезанной резьбой	Соединение стандартными элементами

40 Значения коэффициента вариации $v_{H\alpha}$ в зависимости от частного коэффициента $\bar{K}_{H\alpha}$

$\bar{K}_{H\alpha}$	1,00 ... 0,95	0,95 ... 0,90	0,90 ... 0,85	0,85 ... 0,80	менее 0,80
$v_{H\alpha}$	0,0	0,05	0,08	0,05	0,0

41 Значения коэффициентов K_z и α_z

$v_{F\text{lim}}^0$	0,08	0,10	0,12	0,14
K_z	0,85 ... 0,8	0,8 ... 0,75	0,77 ... 0,7	0,75 ... 0,65
α_z	0,62 ... 0,54	0,65 ... 0,57	0,68 ... 0,6	0,7 ... 0,66

42 Исходные данные для расчета зубчатой передачи

№ варианта	$\bar{\sigma}_H$, МПа	\bar{K}_A	$\bar{K}_{H\beta}$	\bar{K}_{HV}	$\bar{K}_{H\alpha}$	v_A	$\bar{\sigma}_{H\text{lim}}$, МПа	Форма обработки зубьев колеса
1	430	1,00	1,29	1,36	0,76	0,08	520	Без термической обработки
2	470	1,05	1,16	1,22	0,95	0,09	540	Поверхностное упрочнение
3	520	1,10	1,26	1,33	0,65	0,08	639	Без термической обработки
4	700	1,03	1,37	1,44	0,98	0,10	910	Поверхностное упрочнение
5	680	1,01	1,17	1,23	0,89	0,12	782	Без термической обработки
6	660	1,09	1,15	1,21	0,97	0,08	739	Поверхностное упрочнение

7	630	1,10	1,13	1,19	0,81	0,10	762	Без термической обработки
8	520	1,11	1,06	1,12	0,88	0,10	639	Поверхностное упрочнение
9	550	1,02	1,30	1,37	0,76	0,09	682	Поверхностное упрочнение
10	600	1,07	1,21	1,28	0,99	0,08	756	Без термической обработки
11	630	1,00	1,21	1,28	0,75	0,08	787	Поверхностное упрочнение
12	740	1,04	1,18	1,24	0,87	0,09	939	Без термической обработки
13	750	1,11	1,20	1,27	0,82	0,10	960	Без термической обработки
14	770	1,10	1,19	1,25	0,95	0,10	993	Поверхностное упрочнение
15	660	1,01	1,10	1,16	0,92	0,08	726	Без термической обработки
16	460	1,03	1,22	1,29	0,93	0,11	510	Поверхностное упрочнение
17	550	1,08	1,13	1,19	0,75	0,11	616	Без термической обработки
18	710	1,09	1,21	1,28	0,68	0,10	802	Поверхностное упрочнение
19	760	1,01	1,27	1,34	0,75	0,08	866	Без термической обработки
20	610	1,03	1,24	1,31	0,86	0,09	701	Поверхностное упрочнение
21	650	1,05	1,20	1,27	0,85	0,11	754	Поверхностное упрочнение
22	700	1,06	1,27	1,34	0,90	0,10	819	Без термической обработки
23	600	1,01	1,29	1,36	0,87	0,09	708	Поверхностное упрочнение
24	570	1,02	1,30	1,37	0,81	0,12	678	Без термической обработки
25	480	1,08	1,22	1,29	0,96	0,11	576	Без термической обработки
26	350	1,07	1,18	1,24	0,89	0,10	392	Поверхностное упрочнение
27	490	1,11	1,31	1,38	0,75	0,10	558	Без термической обработки
28	550	1,12	1,10	1,16	0,74	0,09	638	Поверхностное упрочнение
29	610	1,08	1,30	1,37	0,91	0,08	713	Без термической обработки
30	540	1,03	1,33	1,40	0,96	0,08	599	Поверхностное упрочнение
31	420	1,07	1,22	1,29	1,00	0,09	508	Без термической обработки
32	450	1,08	1,24	1,31	0,84	0,10	549	Поверхностное упрочнение
33	530	1,09	1,23	1,30	1,00	0,10	651	Поверхностное упрочнение
34	710	1,02	1,21	1,28	0,88	0,08	795	Без термической обработки
35	760	1,01	1,14	1,20	1,00	0,11	858	Поверхностное упрочнение
36	690	1,08	1,21	1,28	0,95	0,11	786	Без термической обработки
37	750	1,04	1,22	1,29	0,95	0,10	862	Без термической обработки
38	530	1,03	1,11	1,17	0,98	0,08	614	Поверхностное упрочнение
39	560	1,01	1,13	1,19	0,86	0,09	655	Без термической обработки
40	610	1,00	1,20	1,27	1,00	0,11	719	Поверхностное упрочнение
41	590	1,01	1,31	1,38	0,81	0,10	702	Без термической обработки
42	600	1,00	1,21	1,28	0,75	0,09	720	Поверхностное упрочнение
43	660	1,03	1,14	1,20	0,94	0,12	798	Без термической обработки
44	650	1,08	1,22	1,29	1,00	0,11	786	Поверхностное упрочнение
45	620	1,09	1,20	1,26	0,89	0,10	762	Поверхностное упрочнение
46	650	1,03	1,27	1,34	0,74	0,10	747	Без термической обработки
47	760	1,11	1,27	1,34	0,94	0,09	866	Поверхностное упрочнение
48	720	1,12	1,24	1,31	0,91	0,12	799	Без термической обработки
49	550	1,13	1,23	1,30	0,93	0,11	599	Поверхностное упрочнение
50	570	1,05	1,31	1,38	0,88	0,10	615	Без термической обработки

43 Дополнительные данные для расчета зубчатой передачи

№ варианта	Тип зубчатых колес	HВ	\bar{K}_{FL}	$\bar{\sigma}_F$, МПа	$v_{\sigma F}$
1 ... 5	Нормализованные	275	1,0	250	0,09
6 ... 10	Улучшенные	300	0,8	280	0,10
11 ... 15	Зубчатые колеса с объемной закалкой ТВЧ	325	0,9	300	0,11
16 ... 20	Азотированные	350	1,0	330	0,12
21 ... 25	Нормализованные	250	1,1	240	0,13
26 ... 30	Улучшенные	300	1,2	280	0,09
31 ... 35	Зубчатые колеса с объемной закалкой ТВЧ	275	1,0	310	0,10
36 ... 40	Азотированные	325	1,1	360	0,11
41 ... 45	Улучшенные	250	0,9	270	0,12
46 ... 50	Зубчатые колеса с объемной закалкой ТВЧ	275	1,0	320	0,13

44 Исходные данные для расчета вероятности безошибочной работы человека-оператора

№ варианта	Исходные данные к задаче 25			Исходные данные к задаче 26			
	t , ч	N_0	$n(t)$	N_{0x}	n_x	N_{0y}	n_y
1	8,0	45	2	150	11	114	1
2	6,5	58	6	125	5	98	8
3	7,0	26	3	160	17	102	21
4	9,5	37	2	280	56	100	5
5	9,0	89	14	130	32	97	2
6	8,0	65	27	220	7	87	3
7	8,5	19	4	380	59	85	9
8	12,0	36	1	240	14	79	7
9	10,0	97	1	190	9	157	12
10	11,5	83	12	140	24	98	10
11	9,5	64	12	280	14	136	6
12	10,0	72	9	140	10	158	9
13	14,0	80	13	180	9	112	11
14	16,0	60	19	100	3	99	5
15	17,0	61	24	110	12	89	6
16	8,0	89	37	290	45	82	7
17	9,5	88	35	140	13	90	2
18	6,5	90	26	100	6	109	6
19	18,5	95	26	170	20	119	6
20	20,0	68	36	240	25	117	7
21	14,5	83	7	110	7	129	4
22	22,0	45	4	190	36	137	6
23	24,0	60	10	230	12	156	9
24	16,0	72	20	150	8	127	16
25	18,0	37	6	190	9	92	10
26	8,0	49	13	100	4	84	3
27	9,5	16	3	250	7	123	6
28	11,5	40	8	190	6	111	11
29	16,0	87	23	110	4	100	8
30	14,0	83	1	100	8	147	6
31	16,0	91	8	120	6	168	7
32	17,0	64	27	180	3	94	9
33	20,0	59	31	110	14	108	4
34	17,0	75	4	400	82	137	6
35	16,5	85	8	150	27	149	4
36	14,5	51	9	110	26	108	5
37	13,5	35	11	120	16	127	3
38	18,0	64	31	180	18	87	8
39	21,0	61	31	140	29	80	2
40	23,0	49	9	130	21	100	1
41	23,5	67	25	190	13	92	10
42	24,0	81	30	140	18	145	4
43	20,5	46	4	170	17	111	9
44	10,0	78	14	200	10	122	6
45	16,5	45	12	110	2	157	7
46	8,0	50	9	160	30	166	5
47	9,5	61	4	180	16	133	4
48	14,0	58	4	130	19	145	6
49	15,0	90	17	100	7	150	10
50	24,0	40	20	110	6	100	13

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Базовский И. Надежность. Теория и практика. М.: Мир, 1965. 373 с.
- 2 Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность. М.: Наука, 1984. 328 с.
- 3 Веников Г.В. Надежность и проектирование. М.: Знание, 1971. 96 с.
- 4 Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 520 с.
- 5 Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965. 524 с.
- 6 Гнеденко Б.В. Вопросы математической теории надежности. М., 1983. 418 с.
- 7 Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем. М.: Мир, 1984. 318 с.
- 8 Долинский В.М. Теория надежности долговечности машин: Сборник задач. Киев: Высш. шк., 1975. 51 с.
- 9 Елизаветин М.А. Повышение надежности машин. М.: Машиностроение, 1973. 431 с.
- 10 Жилинский И.Б. Основы надежности и долговечности. М.: МИХМ, 1976. Ч. 1, 2. 160 с.
- 11 Зубова А.Ф. Надежность машин и аппаратов химических производств. Л.: Машиностроение, 1978. 215 с.
- 12 Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. М.: Мир, 1980. 604 с.
- 13 Козлов Б.А. Резервирование с восстановлением. М.: Сов. радио, 1969. 150 с.
- 14 Кубарев А.И. Надежность в машиностроении. М.: Изд-во стандартов, 1989. 224 с.
- 15 Кузнецов Н.Д., Цейтлин В.И., Волков В.И. Технологические методы повышения надежности деталей машин. М.: Машиностроение, 1993. 304 с.
- 16 Надежность в технике. Методы испытания на контактную усталость: Метод. указ. М., 1974. 50 с.
- 17 Надежность и долговечность машин / Под ред. Б.И. Костецкого. Киев: Техника, 1975. 405 с.
- 18 Надежность машиностроительной продукции: Практическое руководство по нормированию, подтверждению и обеспечению. М., 1990. 327 с.
- 19 Наумов В.А. Теоретические основы оценки надежности технических устройств и работоспособности. Омск: Изд-во Зап.-Сиб. ин-та, 1975. 158 с.
- 20 Переверзев Е.С., Чумаков Л.Д. Параметрические модели отказов и методы надежности технических систем. Киев: Наук. думка, 1989. 184 с.
- 21 Решетов Д.Н. Работоспособность и надежность деталей машин. М.: Высш. шк., 1974. 206 с.
- 22 Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. М.: Высшая шк., 1988. 238 с.
- 23 Справочник по надежности / Под ред. Б.Р. Левина. Т. 1 – 3. М.: Мир, 1969.
- 24 Стрельцов В.В. Надежность и долговечность химического оборудования. Иваново: ИХТИ, 1977. 80 с.
- 25 Хомяк О.Н., Волощенко В.П. Расчеты надежности элементов машин при проектировании. Киев: Высш. шк., 1988. 165 с.
- 26 Цитович И.С. Пути повышения надежности машин. Минск: Наука и техника, 1979. 86 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ	3
Вероятность безотказной работы	3
Частота отказов	4
Интенсивность отказов	4
Среднее время безотказной работы	7
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ	8
Надежность в период нормальной эксплуатации. Экспоненциальный закон распределения	9
Оценка надежности в период постепенных отказов	10
Нормальное распределение	10
Усеченное нормальное распределение	12
Логарифмически нормальное распределение	14
Распределение Вейбулла	16
Оценка надежности на основе статистической информации	18
СХЕМЫ ДЛЯ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ	28
Надежность последовательной системы при нормальном распределении нагрузки по системам	28
Системы с параллельным соединением элементов	31
Ненагруженный резерв	32
Сочетание параллельного и последовательного соединений элементов	33
Система с k исправными элементами из n	34
Мостиковая схема	35
ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	36
РАСЧЕТЫ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ОТДЕЛЬНЫХ ГРУПП	39
Надежность соединений с натягом	39
Надежность сварных соединений	42
Надежность резьбовых соединений	43
Надежность зубчатых передач	47
НАДЕЖНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА КАК ЗВЕНА СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ	50
ПРИЛОЖЕНИЕ	54
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	102