

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

АРМАТУРА ТРУБОПРОВОДНАЯ.
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ
И (ИЛИ) ЭКСПЛУАТАЦИИ

РД

302-07-279 -89

Дата введения 01.07.90

Настоящий руководящий документ (РД) устанавливает методику оценки количественных значений показателей надежности трубопроводной арматуры, ее узлов и приводных устройств к ней (далее арматуры) по результатам испытаний и (или) эксплуатации при отсутствии цензурирования, однократном и многократном цензурировании.

РД содержит рекомендации по правилам определения закона распределения наработок до отказа арматуры, методам проверки данных на однородность, правилам учета априорной информации о надежности конструктивно-подобных изделий и узлов.

I. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

I.1. В руководящем документе принята терминология по ГОСТ 27.002 и ГОСТ 27.504. Обозначения, применяемые в стандарте, приведены в приложении I.

I.2. Методы и порядок расчета показателей надежности в зависимости от плана наблюдений выбираются по схемам I-3.



129-90
ММК 129-90
129-90

129-90 УЧЛк 28.08.90

Схема I

Схема расчета показателей надежности по плану [NUN]
(при отсутствии цензурирования)

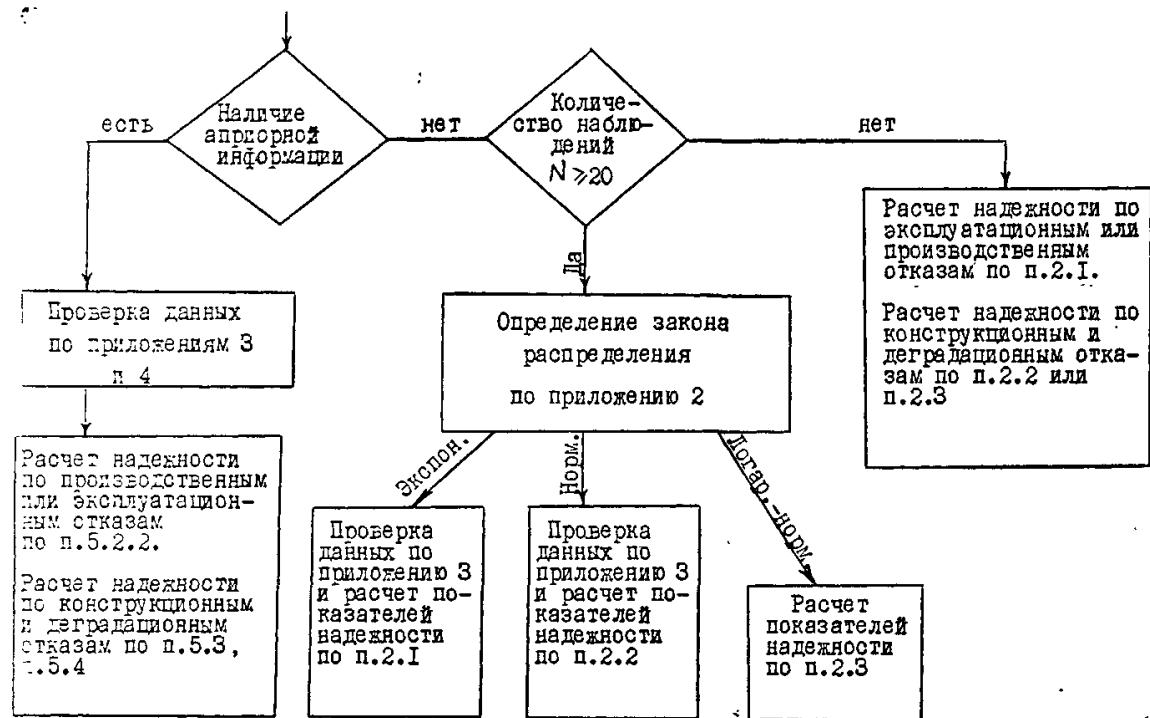


Схема расчета показателей надежности при плане наблюдений [NUT] или [NUV] при однократном цензурировании

Схема 2

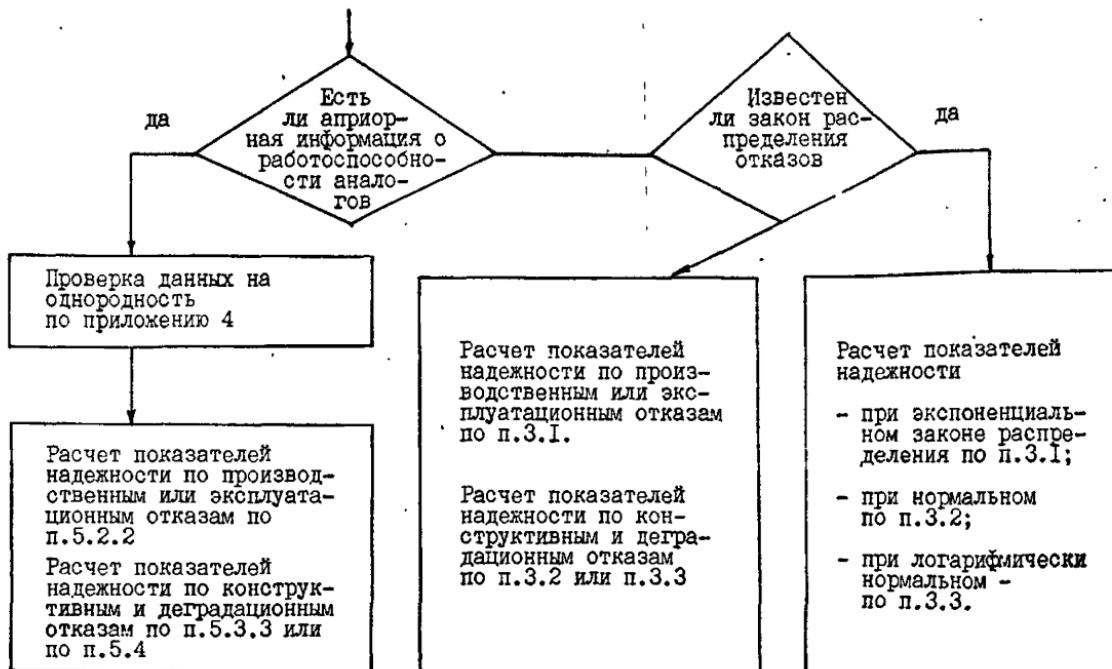
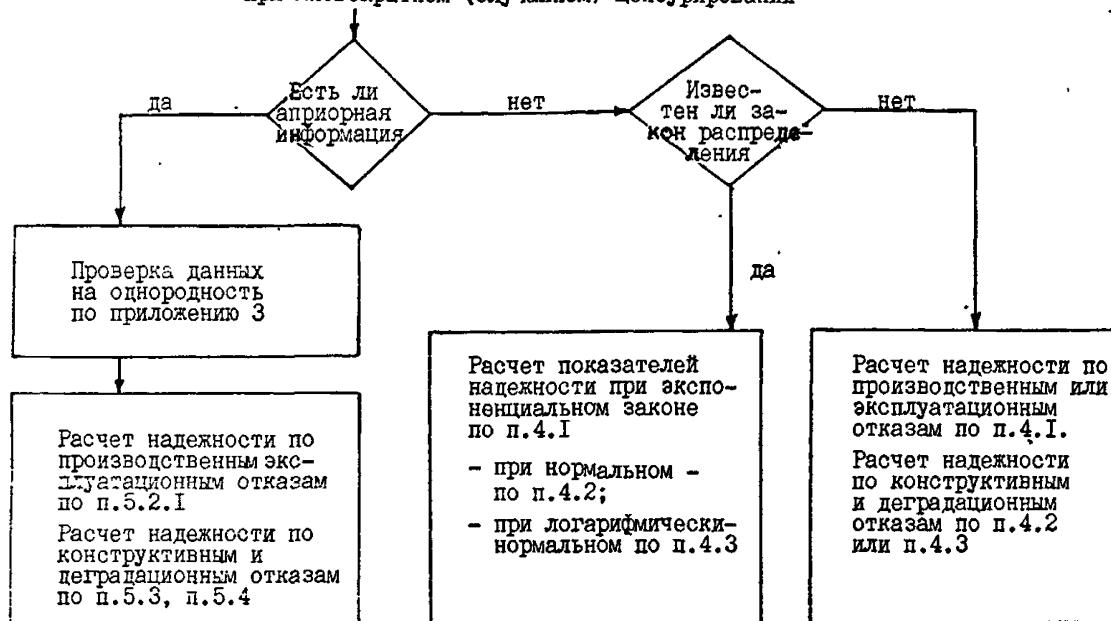


Схема 3

Схема расчета показателей надежности при плане наблюдений [NU2]
при многократном (случайном) цензурировании



I.3. В зависимости от исходной информации и требований технических условий (ТУ), программы и методики испытаний (ПМ) рассчитывают и соответствующие показатели надежности: среднюю наработку до отказа, среднюю наработку на отказ, средний ресурс, средний срок службы.

Расчет этих показателей аналогичен, поэтому далее в тексте вид среднего показателя не указывается.

В зависимости от требований ТУ или ПМ определяют и вероятность безотказной работы $P(t)$ в течение заданной наработки t .

Если в ТУ заданы назначенные показатели надежности, то определяют значение вероятности безотказной работы в течение назначенного ресурса.

I.4. Отказы, зафиксированные в результате испытаний или эксплуатации разделяют на конструктивные, производственные, эксплуатационные и деградационные.

Любой отказ, наступивший при наработке выше среднего значения соответствующего показателя надежности должен относиться к деградационному. Оценка показателей надежности в зависимости от целей расчета может проводиться как по каждому из видов отказов отдельно, так и совместно для всех или части видов отказов.

Например, для внесения в НТД, либо для сравнения с приведенным в НТД количественными значениями показателей надежности осуществляется расчет надежности без учета эксплуатационных отказов.

При оценке показателей надежности совместно по нескольким видам отказов принимать закон распределения наработок до отказа по преобладающему числу отказов того или иного вида.

1.5. Исходной информацией для оценки показателей надежности являются: результаты испытаний и (или) эксплуатации оцениваемого изделия и его узлов и результаты испытаний и эксплуатации изделий-аналогов.

1.6. Исходная информация должна быть достоверной, а выборка – представительной.

Под достоверностью понимается свойство информации давать подлинные сведения для оценок показателей надежности.

Признаками недостоверности информации являются:

- несоответствие данных о наработках указанным интенсивностям использования;
- многократно одинаковые значения наработок до отказа;
- сообщения об отказах и предельных состояниях, характер которых противоречит принципам работы изделия;
- отсутствие данных о виде отказа и причинах отказа.

При наличии признаков недостоверности информации ее подвергают дополнительной проверке в местах эксплуатации или исключают из рассмотрения.

1.7. Исходными данными для оценки показателей надежности служат:

- при плане $[NUN]$:
- объем выборки N ,

Министерство промышленности СССР
Государственный комитет по стандартам СССР
198-60

Выборочные значения наработок до отказа, наработка между отказами, технических ресурсов, сроков службы

$$t_1, t_2, \dots, t_n$$

- при плане $[NUT]$

объем выборки N ;

продолжительность испытаний и (или) эксплуатации T .

Выборочные значения наработок до отказа, наработка между отказами, технических ресурсов, сроков службы

$$t_1, t_2, \dots, t_d$$

- при плане $[NUz]$

число отказов $\gamma \geq 2$;

объем выборки N ;

выборочные значения наработок до отказа, наработка между отказами, технических ресурсов, сроков службы

$$t_1, t_2, \dots, t_r$$

- при плане $[NUZ]$

объем выборки $N = \gamma + n$

число отказов $\gamma (\gamma \geq 2)$

число цензурирований n

выборочные значения наработок до отказа, наработка между отказами, технических ресурсов, сроков службы

$$t_1, t_2, \dots, t_r$$

выборочные значения наработок до цензурирования

$$T_1, T_2, \dots, T_n$$

1.8. Продолжительность или объем работы (наработка) арматуры в зависимости от типа арматуры и условий ее эксплуатации может измеряться в часах и циклах.

1.9. Правила определения закона распределения отказов арматуры приведены в приложении 2. Если данные подчиняются экспоненциальному или нормальному закону распределения, и в выборке есть резко выделяющиеся значения, их следует проверить по критериям приложения 3, после чего принять решение об учете данных значений при оценке показателей надежности.

При объединении нескольких выборок данных о работоспособности арматуры для расчета показателей надежности, их следует проверить на однородность.

1.10. Доверительная вероятность β для оценки нижних доверительных границ показателей надежности $\beta = 0,90$, если в ТУ или ПМ не приведено другое значение.

2. ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ АРМАТУРЫ ПРИ ОТСУСТВИИ ЦЕНЗУРИРОВАНИЯ (наработка до отказа, предельного состояния)

2.1. При экспоненциальном законе распределения показатели надежности рассчитывать следующим образом:

РД 302-07-279-89

Определение интенсивности отказов

$$\hat{\lambda} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N t_i}$$

Определение нижней доверительной границы наработки до отказа

$$t_H = \frac{2 \sum_{i=1}^N t_i}{\chi_{\beta, 2N}^2}$$

Определение нижней доверительной границы вероятности безотказной работы в течение наработки

$$P_H(t) = \exp \left(- \frac{t \cdot \chi_{\beta, 2N}^2}{2 \sum_{i=1}^N t_i} \right)$$

$\chi_{\beta, 2N}^2$ коэффициент, определяемый по таблице приложения 5
в зависимости от доверительной вероятности β
и количества наблюдений N .

2.2. При нормальном законе распределения наработок до отказа показатели надежности определять следующим образом:

110.90 100.08.90
100.90 90.08.90

Определение параметров распределения

$$\hat{a} = \frac{\sum t_i}{N}; \quad \hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (t_i - \hat{a})^2}$$

Определение нижней доверительной границы среднего

$$t_H = \hat{a} - z_{\beta, N} \cdot \hat{\sigma}$$

где $z_{\beta, N}$ - коэффициент, определяемый по таблице приложения 6 в зависимости от β и N

Определение нижней доверительной границы вероятности безотказной работы $P_H(t)$ в течение наработки t :

- вычислить величины:

$$\hat{h} = \frac{t - \hat{a}}{\hat{\sigma}}$$

$$h_H = \hat{h} - U_p \sqrt{\frac{1}{N} \left(1 + \frac{\hat{h}^2}{2}\right)}$$

где U_p - коэффициент, определяемый по таблице приложения 8

$$P_H(t) = \Phi(h_H)$$

где $\Phi(\dots)$ - функция, определяемая по таблице приложения 7

2.3. При логарифмически-нормальном законе распределения наработки до отказа оценки показателей надежности вычисляют по формулам для нормального закона распределения, заменяя значения наработок их натуральными логарифмами.

3. ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ АРМАТУРЫ ПРИ ОДНОКРАТНОМ ЦЕНЗУРИРОВАНИИ

3.1. При экспоненциальном законе распределения отказов оценки показателей надежности проводить

- при отсутствии отказов ($d = 0$) по п.3.1.1;
- при наличии отказов ($d > 0$) - по п.3.1.2.

3.1.1. Расчет производить следующим образом:

Определение нижней доверительной границы среднего

$$\bar{t}_H = \frac{NT}{\ln\left(\frac{1}{1-\beta}\right)} = \frac{2NT}{\chi_{\beta,2}^2}$$

Определение нижней доверительной границы вероятности безотказной работы за наработку t

$$P_H(t) = (1-\beta)^{\frac{t}{NT}} = \exp\left(-\frac{t \cdot \chi_{\beta,2}^2}{2NT}\right)$$

где β - доверительная вероятность

Значения $\chi_{\beta,2}^2$ определяют по табл. приложения 5.

3.1.2. Расчет производить следующим образом:

Определение параметра распределения:

$$\hat{\lambda} = \frac{d}{\sum_i t_i + (N-d)T}$$

Определение нижней доверительной границы среднего

$$t_H = \frac{2d}{\lambda x_{p,2d+2}^2}$$

Определение нижней доверительной границы вероятности безотказной работы

$$P_H(t) = \exp\left(-\frac{t \hat{\lambda} \chi_{\beta, 2d+2}^2}{2d}\right)$$

Значения $\chi^2_{\beta, 2d+2}$ определяют по таблице приложения 5.

3.2. При нормальном законе распределения оценку показателей надежности проводить следующим образом:

- при отсутствии отказов по п.3.2.1 ($d = 0$);
 - при наличии отказов по п.3.2.2 ($d > 1$).

3.2.1. Расчет производить следующим образом:

180-90 180-90

Определить величину

$$\gamma = \sqrt[N]{1 - \beta}$$

Определить нижнюю доверительную границу среднего

$$t_n = \frac{T}{1 - V \cdot U_\gamma}$$

Определить нижнюю доверительную границу вероятности безотказной работы за t

$$P_n(t) = \Phi \left[\left(\frac{t}{V} \left(1 - \frac{t}{T} \right) + U_\gamma \frac{t}{T} \right) \right]$$

где U_γ - коэффициент, определяемый по таблице приложения 8 в зависимости от γ ;

β - доверительная вероятность;

V - коэффициент вариации, принимаемый в интервале $(0,1 \div 0,3)$

$\Phi(\dots)$ - функция, определяемая по таблице приложения 7.

3.2.2. Расчет производить следующим образом:

$$\bar{T} = \frac{1}{d} \sum_{i=1}^d t_i$$

$$S^2 = \frac{1}{d-1} \sum_{i=1}^d (t_i - \bar{T})^2$$

$$\beta = \frac{S^2}{(\bar{T} - T)^2}$$

$$H = \frac{N-d}{N}$$

Используя β и H , по табл. приложения 9 находим K

Определить параметры распределения

$$\hat{\alpha} = \bar{T} - K(\bar{T} - T)$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{S^2 + K(\bar{T} - T)^2}$$

Определить нижнюю доверительную границу среднего

$$\hat{t}_L = \hat{\alpha} - z_{\beta, d} \cdot \hat{\sigma}$$

Определить нижнюю доверительную границу вероятности безотказной работы в течение t

$$P_H(t) = \Phi \left(\hat{h} - U_{\beta} \sqrt{\frac{1}{d} \left(1 + \frac{t^2}{2} \right)} \right)$$

$$\text{где } \hat{h} = \frac{t - \hat{\alpha}}{\hat{\sigma}}$$

где U_{β} – коэффициент, определяемый по таблице приложения 8 в зависимости от доверительной вероятности β ;

$\Phi(\dots)$ – функция, определяемая по таблице приложения 7;

$Z_{\beta, d}$ – коэффициент, определяемый по таблице приложения 6.

Причесчание. В случае, если все паработки до отказа равны t_p (при эксплуатации – плановые ремонты), величину S

принять равной $S = \Delta \cdot t_p$, где Δ - ошибка измерения. Ошибку измерения Δ принимать равной 0,1, т.е. S принять равной 0,1 от межремонтного периода.

3.3. При логарифмически-нормальном законе распределения отказов обработку результатов наблюдений производить по п.3.2 с заменой значений наработок t_i на их натуральные логарифмы - $\ln t_i$.

4. ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПРИ МНОГОКРАТНОМ (СЛУЧАЙНОМ) ЦЕНЗУРИРОВАНИИ

4.1. При экспоненциальном законе распределения наработка до отказа и до цензурирования расчет производить следующим образом:

Определение параметра распределения

$$\hat{\lambda} = \frac{t \cdot N}{\left(\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{j=1}^m r_j \right) (N-1)}$$

где $N = n + m$

Определение нижней доверительной границы среднего

$$t_H = \frac{2N}{\hat{\lambda} \cdot \chi_{\beta, 2N}^2}$$

где $N = n + m$

Определение нижней доверительной границы вероятности безотказной работы

$$P_H(t) = \exp \left(- \frac{t \cdot \hat{\lambda} \cdot \chi_{\beta, 2N}^2}{2N} \right) = \exp \left(- \frac{t}{t_H} \right)$$

где $\chi_{\beta, 2N}^2$ - коэффициент, определяемый по табл. приложения 5

4.2. При нормальном законе распределения расчет производить следующим образом:

- при $\gamma = 0$ по формулам п.3.2.1;
- при $\gamma > 1$ по формулам п.4.2.1.

4.2.1. Оценку показателей надежности производить следующим образом:

Определим вспомогательные величины:

A	$\sum_{i=1}^n t_i + 0,64 \sum_{j=1}^n \tilde{V}_j$
B	$\gamma + 0,64 n$
C	$\sum_{i=1}^n t_i^2 + 0,64 \sum_{j=1}^n \tilde{V}_j^2$
D	$0,8 n$
E	$0,8 \sum_{j=1}^n \tilde{V}_j$
Δ_K	$\sum_{d=1}^n \Delta_{jd} \quad (\Delta_0 = 0)$
Δ_{jd}	$\lambda_{jd} - 0,8 - 0,64 \tilde{Z}_{jd}$
F_K	$\sum_{j=1}^n \Delta_{jd} \tilde{V}_j \quad (F_0 = 0)$
\tilde{Z}_{jd}	$\frac{\tilde{V}_j - \hat{\alpha}_{K-1}}{\hat{\sigma}_{K-1}}$
Значения функции $\lambda_{jd} = \lambda(\tilde{Z}_{jd})$ приведены в таблице приложения 10	

Определение величин

$$\hat{\sigma}_k = E + F_k - A \left(\frac{D + \Delta_k}{B} \right) + \sqrt{\left[E + F_k - A \left(\frac{D + \Delta_k}{B} \right) \right]^2 + 4r \left(C - \frac{A}{B} \right)}$$

$$\hat{a}_k = \frac{A}{B} + \left(\frac{D + \Delta_k}{B} \right) \cdot \hat{\sigma}_k$$

где К - шаг итерации, К = 0, 1, 2, ...

Оценка параметров распределения

За оценки параметров \hat{a} и \hat{b} принимают значения \hat{a}_k и $\hat{\sigma}_k$, при которых соблюдаются условия:

$$\left| \frac{-\hat{\sigma}_{k-1} + \hat{\sigma}_k}{\hat{\sigma}_{k-1}} \right| < \varepsilon ; \quad \left| \frac{\hat{a}_k - \hat{a}_{k-1}}{\hat{a}_{k-1}} \right| < \varepsilon$$

где ε - заданная относительная погрешность (точность) решения.

Значения ε выбирают из ряда: 0,001; 0,01; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20.

Для выборок, у которых $N \leq 50$ и $\frac{\chi^2}{N} \leq 0,5$ следует вычислять несмешанные оценки параметров \hat{a} и \hat{b} по формуле:

$$\hat{\sigma}_n = \hat{\sigma}_k \sqrt{\frac{\chi^2}{\chi^2_{2-1;0,5}}}$$

$$\hat{a}_n = \frac{A}{B} + \left(\frac{D + \Delta_k}{B} \right) \cdot \hat{\sigma}_n$$

где $\chi^2_{2-1;0,5}$ - коэффициент, определяемый по таблице приложения II

Нижняя доверительная граница среднего
1) для $N \leq 50$, $\frac{\gamma}{N} \leq 0,5$

$$t_H = \hat{a}_H - \chi_{\beta, \gamma} \cdot \hat{\sigma}_H$$

2) в остальных случаях

$$t_H = \hat{a} - \chi_{\beta, \gamma} \cdot \hat{\sigma}$$

где $\chi_{\beta, \gamma}$ - коэффициент, определяемый по таблице приложения 6

Определение нижней доверительной границы вероятности
безотказной работы за наработку t :

определить вспомогательные величины:

$$\hat{h} = \frac{t - \hat{a}}{\hat{\sigma}} \quad \hat{P}(t_2) = \Phi\left(\frac{(\hat{a} + t_2)}{\hat{\sigma}}\right) \quad \Psi = [N(1 - \hat{P}(t_2))]$$

$$P_H(t) = \Phi\left(\hat{h} - U_{\beta} \sqrt{\frac{1}{\Psi} \left(1 + \frac{\hat{h}^2}{2}\right)}\right)$$

где $\Phi(\dots)$ - функция, определяемая по таблице приложения 7

4.3. Оценку показателей надежности при логарифмически-нормальном распределении отказов производить по п.4.2, заменив
значения наработок t_i и t_j на их натуральные логарифмы
 $\ln t_i$ и $\ln t_j$.

5. ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ С УЧЕТОМ АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ.

5.1. При оценке показателей надежности с учетом априорной информации выборки должны быть проверены на однородность по приложению 4.

5.2. При экспоненциальном законе распределения отказов расчет показателей надежности с учетом априорной информации производить следующим образом:

5.2.1. При плане наблюдений $[NUZ]$ оценку производить по формулам

Определение интенсивности отказов наблюдаемого объекта

$$\hat{\lambda}_o = \frac{\sum_{j=1}^l \gamma_j}{\sum_{j=1}^l \left(\sum_{i=1}^{l_j} t_{ij} + \sum_{i=1}^{l_j} \tau_{ij} \right)}$$

где l - количество групп изделий-аналогов

Оценка среднего (наработка до отказа, ресурса)

$$t_H = \frac{2N}{\hat{\lambda}_o \cdot \chi_{\beta,2N}^2}, \text{ где } N = \sum_{j=1}^l (\gamma_j + n_j)$$

Оценка вероятности безотказной работы в течение времени t

$$P_H(t) = \exp \left(-\frac{t}{t_H} \right)$$

Коэффициент $\chi_{\beta,2N}^2$ определяется по таблице приложения 5.

5.2.2. При плане наблюдений $[NUV]$, $[NUT]$ и $[NUZ]$ показатели надежности определять по формулам п.5.2.1, но при следующем τ_{ij} :

$$t_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{при плане } [NUN] \\ T_j & \text{при плане } [NUT] \\ t_{ij} & \text{при плане } [NUU] \end{cases}$$

5.3. При нормальном законе распределения отказов расчет показателей надежности производить следующим образом (при плане наблюдений $[NUN]$) :

Определение параметров распределения (общей средней дисперсий)

$$\hat{a}_o = \frac{\sum_{j=1}^k N_j \hat{a}_j}{\sum_{j=1}^k N_j}$$

$$\hat{\sigma}_o = \sqrt{\frac{1}{\sum_{j=1}^k N_j - 1} \left[\sum_{j=1}^k \left(\sum_{i=1}^{N_j} (t_{ij} - \hat{a}_o)^2 \right) \right]}$$

где \hat{a}_j — параметр распределения j -й группы изделий-аналогов, определяемый по формуле

$$\hat{a}_j = \frac{\sum_{i=1}^{N_j} t_{ij}}{N_j}$$

Определение нижней доверительной границы среднего

$$\hat{t}_H = \hat{a}_o - z_{\beta, N} \cdot \hat{\sigma}_o$$

$$N = \sum_{j=1}^k N_j$$

$z_{\beta, N}$ — коэффициент, определяемый по таблице приложения б

Определение нижней доверительной границы вероятности безотказной работы за t

$$P_n(t) = \Phi \left(\hat{h} - U_\beta \sqrt{\frac{1}{N} \left(1 + \frac{\hat{h}^2}{2} \right)} \right)$$

где $\hat{h} = \frac{t - \hat{a}_o}{\hat{\sigma}_o}$; $N = \sum_{j=1}^t N_j$

Коэффициенты $\Phi(\dots)$ и U_β определять по таблице приложений 7, 8 соответственно.

П р и м е ч а н и е. Если известны параметры распределения изделия-аналога \hat{a}^* , $\hat{\sigma}^*$ и изделия наблюдаемого \hat{a} , $\hat{\sigma}$, то оценку общей средней и дисперсии проводить по формуле

$$\hat{a}_o = \frac{\hat{a} + \Psi \hat{a}^*}{1 + \Psi}$$

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{\hat{\sigma}^2}{1 + \Psi}$$

где $\Psi = \frac{\hat{\sigma}^2}{\hat{\sigma}^{*2}}$

5.4. При логарифмически-нормальном законе распределения расчет производить по п.5.3, заменив значения t_i и t_j на их натуральные логарифмы $\ln t_i$ и $\ln t_j$.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

6.1. Расчет должен быть оформлен в виде отдельного документа и согласован с головной организацией по виду продукции.

В расчете должны быть приведены:

инженерный анализ данных о наработках и отказах в процессе испытаний или эксплуатации на основании карт учета отказов или карт-накопителей;

анализ дополнительной информации (данных о наработках и отказах конструктивно-подобных изделий, узлов, деталей);
принятая методика расчета показателей надежности;
расчетные значения показателей надежности, полученные при обработке результатов испытаний или эксплуатации;
заключение о соответствии изделий требованиям норм надежности, приведенных в НТД.

П р и м е ч а н и е. При необходимости к расчету прилагаются графики, таблицы, фотоснимки, сертификаты свойств, применяемых материалов, гарантийные протоколы на применяемые детали и комплектующие и другие документы, поясняющие расчет.

6.2. Рекомендуемая форма и содержание расчета показателей надежности приведены в приложении 12.

Приложение I
Справочное

ПРИМЕНЯЕМЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- N - общее количество наблюдаемых (испытываемых) изделий;
- T - заданная продолжительность наблюдений при однократном цензурировании;
- d - число наработок до отказа за время испытаний или наблюдений при однократном цензурировании;
- η - число отказов при многократном цензурировании;
- n - число цензурирований справа за время наблюдений;
- t_i - отдельные значения случайной величины;
- Δ - ошибка измерения случайной величины;
- t_i^* - отдельные значения наработка до цензурирования;
- $t_{(i)}$ - i -ый член вариационного ряда $t_{(1)} \leq t_{(2)} \leq \dots \leq t_{(d)}$ (или $t_{(1)} \leq t_{(2)} \leq \dots \leq t_{(d)}$), составленного из наработок;
- \bar{t} - период времени (наработка), на который рассчитывается вероятность безотказной работы;
- $\hat{\bar{t}}$ - оценка средних показателей надежности;
- \bar{t}_u - нижняя односторонняя доверительная граница среднего;
- $P_u(t)$ - нижняя односторонняя доверительная граница вероятности безотказной работы в течение наработки t ;
- β - доверительная вероятность;
- u_β, u_γ - квантиль нормального распределения, соответствующий доверительной вероятности β или вероятности γ ;
- $Z_{\beta,N}$ - коэффициент для нахождения оценок параметров нормального распределения;
- \hat{a}, \hat{b} - параметры нормального распределения;
- v - коэффициент вариации;

- \bar{T}, K, S, p, H - вспомогательные коэффициенты для оценки параметров нормального распределения при однократном цензурировании;
- $f(\dots)$ - плотность функции нормального распределения;
- $\phi(\dots)$ - функция нормального распределения, центрированная и нормированная;
- $\chi^2_{\gamma-1, 0.5}$ - квантиль χ^2 -распределения для вероятности 0,5 и числа степеней свободы ($\gamma - 1$);
- h - вспомогательная функция;
- A, B, C, D, E - вспомогательные коэффициенты для оценки параметров нормального распределения при многократном цензурировании;
- ε - заданная относительная погрешность (точность) решений уравнений для определения параметров распределения;
- \hat{a}^*, \hat{b}^* - параметры распределений в априорной информации;
- \hat{a}_0, \hat{b}_0 - объединенные оценки параметров распределений эмпирической и априорной информации;
- H_i - накопленные частоты;
- δ - величина приращения функций распределения;
- t_p - наработки до планового ремонта.

Приложение 2

Рекомендации

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКАЗОВ

I. Исходными данными для определения закона распределения отказов являются:

выборочные значения наработки до отказа t_1, t_2, \dots, t_n

число наработок до отказа d :

объем выборки N ($N = d$)

2. При определении закона распределения отказов подлежат проверке:

экспоненциальный закон:

нормальный закон:

логарифмически нормальный закон;

закон Вейбулла.

3. Определение закона распределения отказов производится путем проверки близости экспериментального распределения с выбранным теоретическим.

4. При определении закона распределения следует заполнить табл. I.

Таблица I

t_i	$\ln t_i$	n_i	H_i	$\frac{H_i}{N+1}$	$1 - \frac{H_i}{N+1}$
I	2	3	4	5	6

В графу 1 вносят значение наработок t_i , в порядке возрастания, причем одинаковые значения повторять не следует.

В графу 2 вносят значения натуральных логарифмов $\ln t_i$.

В графике 3 - n_i - значения частот соответствующих величин, стоящих в графике 1 (число повторений одинаковых значений t_i).

В графике 4 вносят накопленные частоты $H_i = n_1 + n_2 + \dots + n_i$, причем $N = n_1 + n_2 + \dots + n_l$, где l - число строк в таблице.

В графике 5 вносят отношение $\frac{H_i}{N+1}$.

В графике 6 указывается разность $(1 - \frac{H_i}{N+1})$

5. Данные, внесенные в графы 1 и 6, следует нанести на все координатные сетки.

6. На каждой координатной сетке провести через экспериментальные данные интерполяционную прямую, причем отклонения отмечок от прямой в обе стороны должны быть наименьшими.

7. Определить наибольшее значение разности Φ между интерполяционной прямой и экспериментальными данными по оси ординат.

8. Экспериментальные данные согласуются с теоретическим законом распределения, если отклонение Φ не превышает величины Z^* , то есть $\Phi \leq Z^*$

Коэффициент Z^* определяют по табл.2 в зависимости от доверительной вероятности P и объема выборки N .

Если $N > 100$, то отклонение Φ не должно превышать величину $\frac{Z^*}{\sqrt{N}}$, то есть $\Phi \leq \frac{Z^*}{\sqrt{N}}$

Если исходные данные подчиняются нормальному закону распределения, их следует проверить на нормальность по приложению 3.

Таблица 2
Значения коэффициента ζ^*

$N \backslash \beta$	0,90	0,95	$N \backslash \beta$	0,90	0,95
I0	0,369	0,409	42	0,185	0,205
II	0,352	0,391	44	0,181	0,201
I2	0,338	0,375	46	0,177	0,196
I3	0,325	0,361	48	0,173	0,192
I4	0,314	0,349	50	0,170	0,188
I5	0,304	0,338	52	0,166	0,185
I6	0,295	0,327	54	0,163	0,181
I7	0,286	0,318	56	0,160	0,178
I8	0,279	0,309	58	0,158	0,175
I9	0,271	0,301	60	0,155	0,172
20	0,265	0,294	62	0,153	0,170
21	0,259	0,287	64	0,150	0,167
22	0,253	0,281	66	0,148	0,164
23	0,247	0,275	68	0,146	0,162
24	0,242	0,269	70	0,144	0,160
25	0,238	0,264	72	0,142	0,158
26	0,233	0,259	74	0,140	0,155
27	0,229	0,254	76	0,138	0,153
28	0,225	0,250	78	0,136	0,151
29	0,221	0,246	80	0,135	0,150
30	0,218	0,242	82	0,133	0,148
32	0,211	0,234	84	0,131	0,146
34	0,205	0,227	86	0,130	0,144
36	0,199	0,221	88	0,128	0,143
38	0,194	0,215	90	0,127	0,141
40		0,210	92	0,126	0,141
	0,189		94	0,124	0,138
			96	0,123	0,137
			98	0,122	0,135
			100	0,121	0,134
			100	I,22	I,36

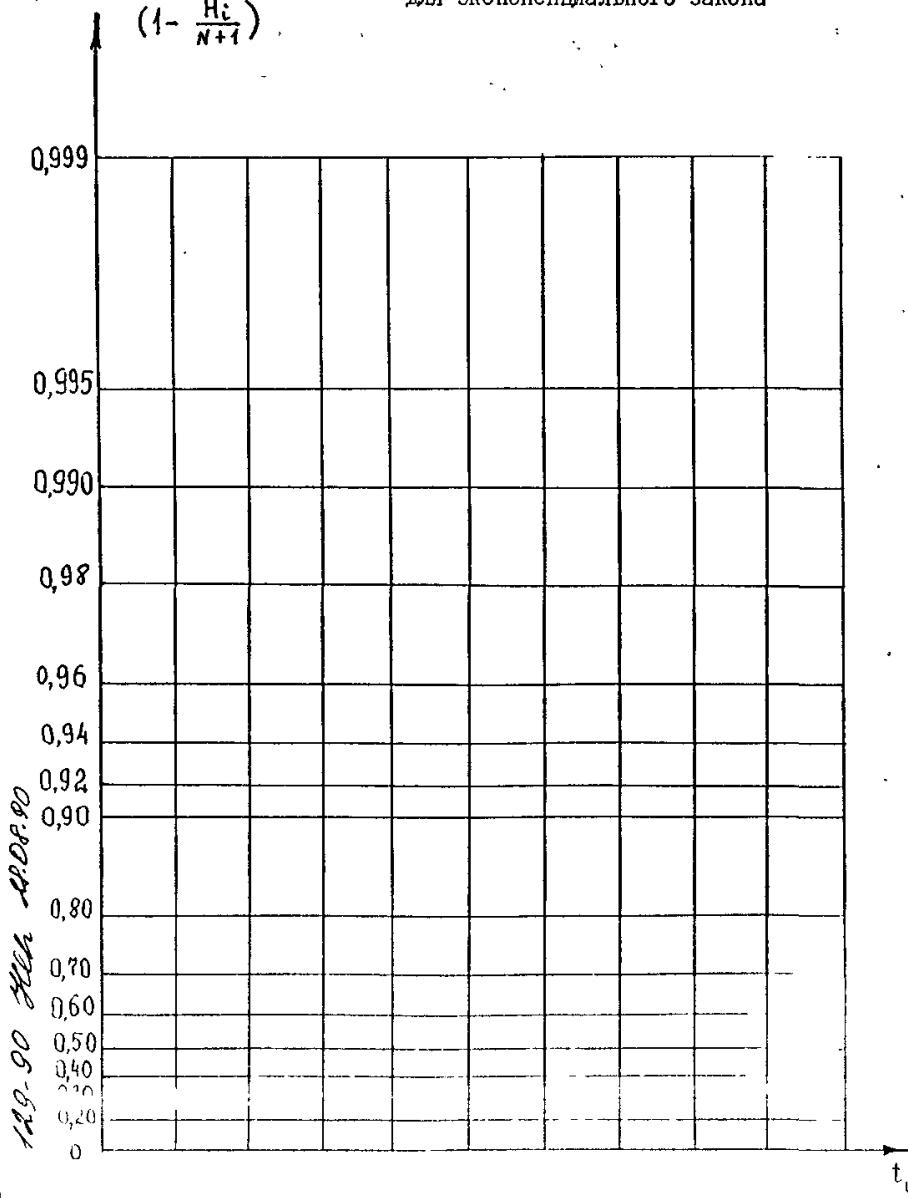
18.06.90

18.06.90

18.06.90

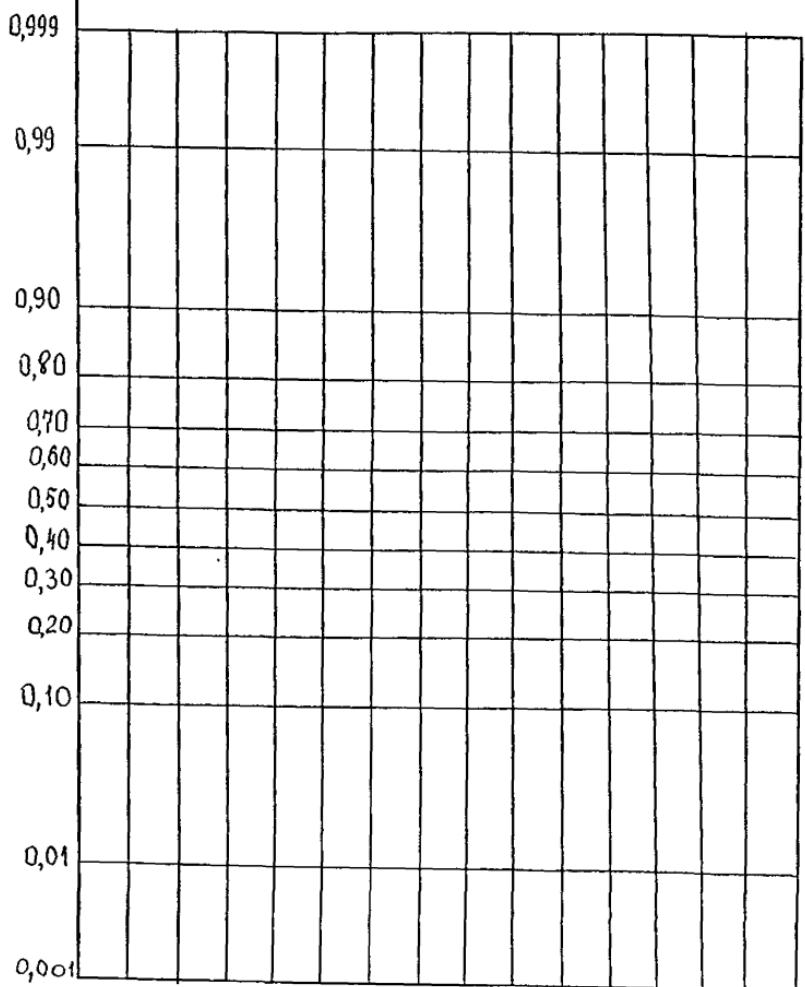
Координатная сетка
для экспоненциального закона

$$(1 - \frac{H_i}{N+1})$$



Координатная сетка
для нормального закона распределения

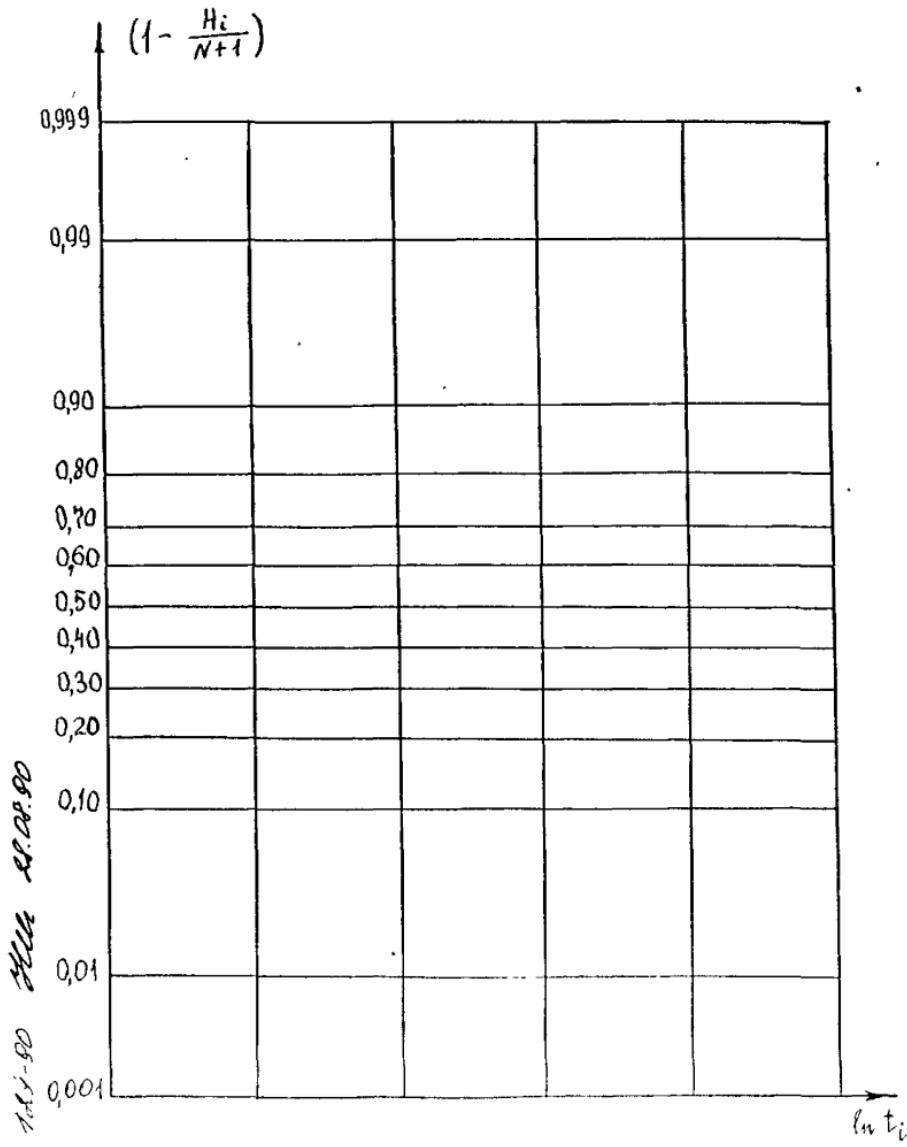
$$\left(1 - \frac{H_i}{N+1}\right)$$



t_1

Координатная сетка
для логарифмически нормального закона распределения

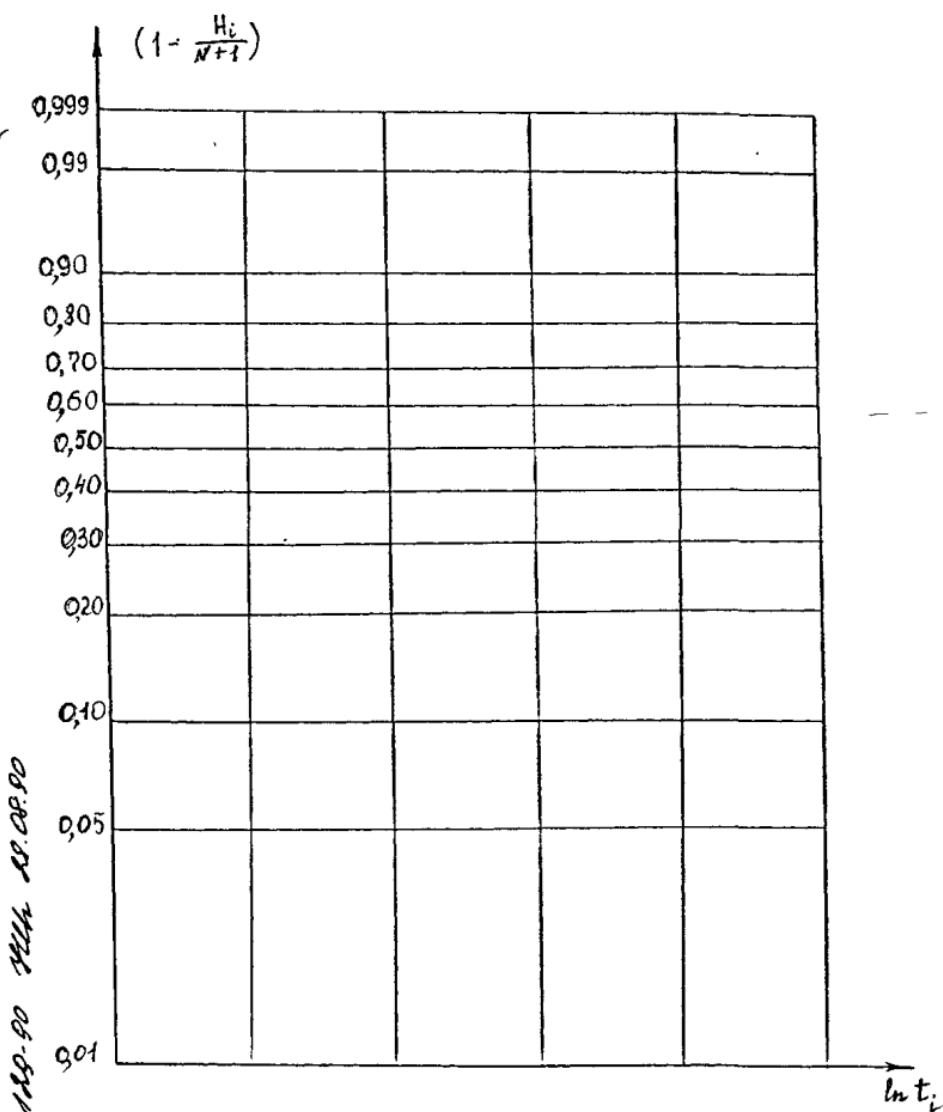
$$\left(1 - \frac{H_i}{N+1}\right)$$



РД 302-07-279-89

с. 32

Координатная сетка
для закона Вейбулла

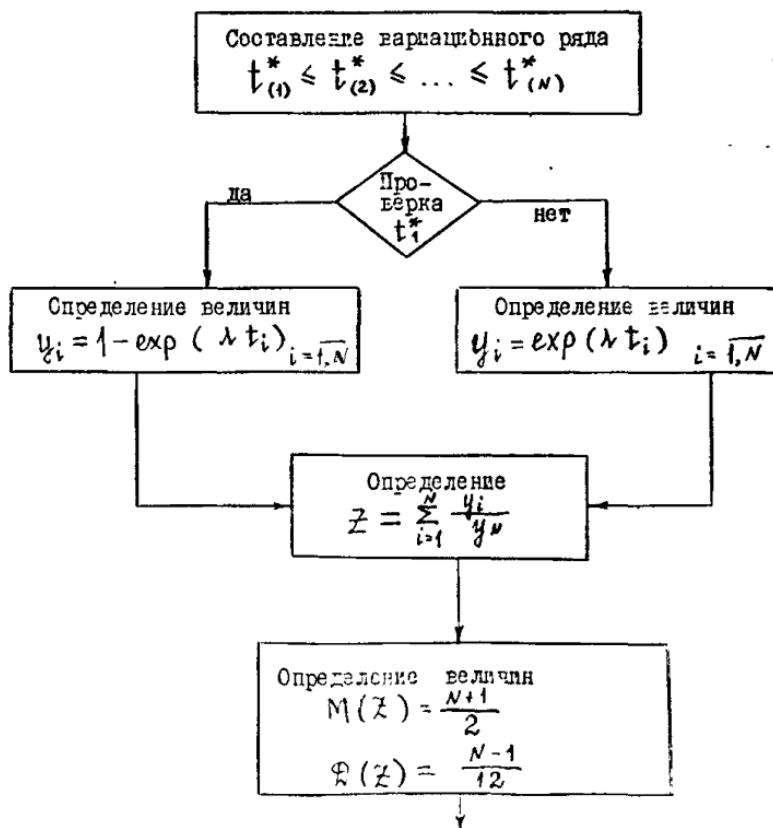


Приложение 3
Рекомендуемое

МЕТОДЫ ВЫБРАКОВКИ РЕЗКО ВЫДЕЛЯЮЩИХСЯ ЗНАЧЕНИЙ

I. При экспоненциальном законе распределения отказов выбраковку резко выделяющихся значений производить по критерию Дарлинга следующим образом:

I.I. При отсутствии цензурирования:



Значение не бракуется, если

$$z \geq M(z) + U_{\beta} \sqrt{\sigma(z)}$$

где U_{β} - квантиль нормального распределения доверительной вероятности β

I.2. При однократном цензурировании

Составление вариационного ряда
 $t_{(1)}^* \leq t_{(2)}^* \leq \dots \leq t_{(d)}^*$

Определение величин
 $y_i = 1 - \exp(-t_i/\tau)$

Определение величин
 $\xi_i = 1 - \frac{y_i}{y_d}$

Определение величин
 $z = \sum_{i=1}^d \frac{\xi_i}{\xi_1}$

Определение величин
 $M(z) = \frac{d+1}{2}$ $\sigma(z) = \frac{d-1}{12}$

Значение $t_{(1)}^*$, бракуется, если

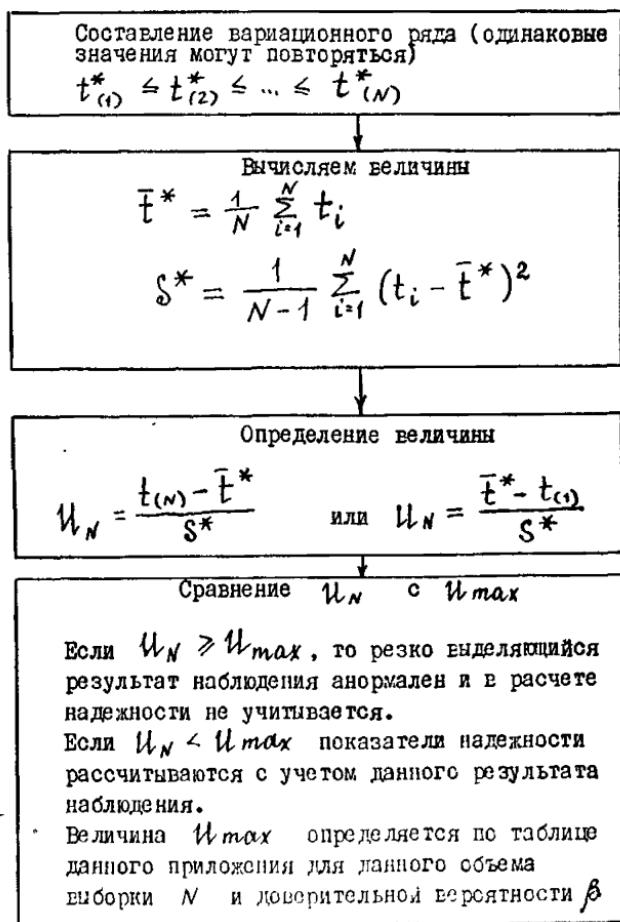
$$z \geq M(z) + U_{\beta} \sqrt{\sigma(z)}$$

где U_{β} - квантиль нормального распределения при доверительной вероятности β

В силу того, что наработки до отказа, превышающие продолжительность испытаний T или t_d неизвестны, наработка t_d не может рассматриваться в качестве резко выделяющегося значения. Поэтому контролю подлежит только наработка $t_{(1)}^*$.

00.00.00.00
00.00.00.00
00.00.00.00

2. При нормальном законе распределения отказов отбрасывание резко выделяющихся значений производить по критерию аномальности следующим образом:



Значение u_{max}

Объем выборки, N	Предельное значение U_{max} при доверительной вероятности β	
	0,90	0,95
3	1,15	1,15
4	1,42	1,46
5	1,60	1,67
6	1,73	1,82
7	1,83	1,94
8	1,91	2,03
9	1,98	2,11
10	2,03	2,18
11	2,09	2,23
12	2,13	2,29
13	2,18	2,33
14	2,21	2,37
15	2,25	2,41
16	2,28	2,44
17	2,31	2,48
18	2,34	2,50
19	2,36	2,53
20	2,38	2,56
21	2,40	2,58
22	2,42	2,59
23	2,43	2,61
24	2,44	2,62
25	2,45	2,64

Пример I

При проведении испытаний по плану [НУТ] при $N = 10$ и $T = 10000$ ц получены следующие значения наработки до отказа (в циклах): 1030, 4240, 4740, 4970, 5500, 7110. Три изделия наработали 10000 циклов без отказа.

Предполагаем, что наработка до отказа подчиняется экспоненциальному закону. Определим, является ли наработка 1030 циклов резко выделяющимся значением.

Вычислим значения y_i :

$$y_1 = 1 - \exp\left(-\frac{1030}{10000}\right) = 0,10; \quad y_2 = 1 - \exp\left(-\frac{4240}{10000}\right) = 0,34;$$

$$y_3 = 1 - \exp\left(-\frac{4740}{10000}\right) = 0,35; \quad y_4 = 1 - \exp\left(-\frac{4970}{10000}\right) = 0,38;$$

$$y_5 = 1 - \exp\left(-\frac{5500}{10000}\right) = 0,39; \quad y_6 = 1 - \exp\left(-\frac{7110}{10000}\right) = 0,42;$$

$$y_7 = 1 - \exp\left(-\frac{10000}{10000}\right) = 0,51; \quad y_8 = 1 - \exp\left(-\frac{10000}{10000}\right) = 0,63;$$

Определим значения

$$\xi_1 = I - \frac{0,10}{0,63} = 0,84 \quad \xi_2 = I - \frac{0,34}{0,63} = 0,46$$

$$\xi_3 = I - \frac{0,35}{0,63} = 0,44 \quad \xi_4 = I - \frac{0,38}{0,63} = 0,40$$

$$\xi_5 = I - \frac{0,39}{0,63} = 0,38 \quad \xi_6 = I - \frac{0,42}{0,63} = 0,33$$

$$\xi_7 = I - \frac{0,51}{0,63} = 0,19$$

$$\text{Таким образом: } Z = \sum_{i=1}^7 \frac{\xi_i}{\xi_1} = 3,84;$$

$$M(Z) = \frac{7 + I}{2} = 4 \quad A(Z) = \frac{7 - I}{12} = 0,5 \quad U_{0,90} = 1,282$$

Так как $3,84 > 4 - 1,282 \sqrt{0,5}$, то наработка до отказа 1030 циклов не бракуется с доверительной вероятностью $\beta = 0,90$.

Приложение 4

Рекомендуемое

ПРОВЕРКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ НА ОДНОРОДНОСТЬ

I метод

(критерий Вилкоксона)

При проверке двух выборок объемом N_1 и N_2 на однородность, располагают обе выборки в порядке возрастания, т.е. в виде вариационного ряда. Причем $N_1 \leq N_2$

Находят в вариационном ряду сумму порядковых номеров первой выборки (меньшей по объему) – $W_{\text{набл}}$.

По табл. I приложения найти нижнюю критическую точку – – Значение $W_{\text{ниж.кр}} (\beta, N_1, N_2)$, где β – доверительная вероятность.

Определить верхнюю критическую точку:

$$W_{\text{верх.кр}} = (N_1 + N_2 + 1) N_1 - W_{\text{ниж.кр.}}$$

Таблица I
КРИТИЧЕСКИЕ ЗНАЧЕНИЯ СТАТИСТИКИ КРИТЕРИЯ БИЛКОКСОНА

N_1	N_2	0,95	0,90	N_1	N_2	0,95	0,90
3	3	6	7	4	II	18	21
	4	6	7		I2	19	22
	5	7	8		I3	20	23
	6	8	9		I4	21	25
	7	8	10		I5	22	26
	8	9	II		I6	24	27
	9	IO	II		I7	25	28
	IO	IO	I2		I8	26	30
	II	II	I3		I9	27	31
	I2	II	I4		20	28	32
	I3	I2	I5		21	29	33
	I4	I3	I6		22	30	35
	I5	I3	I6		23	31	36
	I6	I4	I7		24	32	38
	I7	I5	I8		25	33	38
	I8	I5	I9		5	5	19
	I9	I6	20			6	20
	20	I7	21			7	21
	21	I7	21			8	23
	22	I8	22			9	24
	23	I9	23			IO	26
	24	I9	24			II	27
	25	20	25			I2	28
	4	4	II			I3	30
		5	I2			I4	31
		6	I3			I5	33
		7	I4			I6	34
		8	I5			I7	35
		9	I6			I8	37
		IO	I7			I9	38

Продолжение табл. I

N_1	N_2	0,95	0,90
5	20	40	45
	21	41	47
	22	43	48
	23	44	50
	24	45	51
	25	47	53
6	6	28	30
	7	29	32
	8	31	34
	9	33	36
	10	35	38
	11	37	40
	12	38	42
	13	40	44
	14	42	46
	15	44	48
	16	46	50
	17	47	52
	18	49	55
	19	51	57
	20	53	59
7	21	55	61
	22	57	63
	23	58	65
	24	60	67
	25	62	69

N_1	N_2	0,95	0,90
	7	39	41
	8	41	44
	9	43	46
	10	45	49
	11	47	51
	12	49	54
	13	52	56
	14	54	59
	15	56	61
	16	58	64
	17	61	66
	18	63	69
	19	65	71
	20	67	74
	21	69	76
	22	72	79
	23	74	81
	24	76	84
	25	78	86
8	8	51	55
	9	54	58
	10	56	60
	11	59	63
	12	62	66
	13	64	69
	14	67	72

Продолжение табл. I

N_1	N_2	0,95	0,90	N_1	N_2	0,95	0,90
8	I5	69	75	10	I0	82	87
	I6	72	78		II	86	91
	I7	75	81		I2	89	94
	I8	77	84		I3	92	98
	I9	80	87		I4	96	I02
	20	83	90		I5	99	I06
	21	85	92		I6	I03	I09
	22	88	95		I7	I06	II3
	23	90	93		I8	II0	II7
	24	93	I01		I9	II3	I21
	25	96	I04		20	II7	I25
9	9	66	70		21	I20	I28
	I0	69	73		22	I23	I32
	II	72	76		23	I27	I36
	I2	75	80		24	I30	I40
	I3	78	83		25	I44	I44
	I4	81	86	II	II	I00	I06
	I5	84	90		I2	I04	II0
	I6	87	93		I3	I08	II4
	I7	90	97		I4	II2	II8
	I8	93	I00		I5	II6	I23
	I9	96	I03		I6	I20	I27
	20	99	I07		I7	I23	I31
	21	I02	I10		I8	I27	I35
	22	I05	II3		I9	I31	I39
	23	I08	II7		20	I35	I44
	24	III	I20		21	I39	I48
	25	II4	I23		22	I43	I52
					23	I47	I56
					24	I51	I61
					25	I55	I65

Продолжение табл. I

<i>N₁</i>	<i>N₂</i>	0,95	0,90	<i>N₁</i>	<i>N₂</i>	0,95	0,90
I2	I2	I20	I27	I4	I7	I82	I90
	I3	I25	I31		I8	I87	I96
	I4	I29	I36		I9	I92	202
	I5	I33	I41		20	I97	207
	I6	I38	I45		21	202	213
	I7	I42	I50		22	207	218
	I8	I46	I55		23	212	224
	I9	I50	I59		24	218	229
	20	I55	I64		25	223	235
	21	I59	I69				
	22	I63	I73		I5	I92	200
	23	I68	I78		I6	I97	206
	24	I72	I83		I7	203	212
	25	I76	I87		I8	208	218
					I9	214	224
I3	I3	I42	I49		20	220	230
	I4	I47	I54		21	225	236
	I5	I52	I59		22	231	242
	I6	I56	I65		23	236	248
	I7	I61	I70		24	242	254
	I8	I66	I75		25	248	260
	I9	I71	I80				
	20	I75	I85	I6	I6	I92	229
	21	I80	I90		I7	225	235
	22	I85	I95		I8	231	242
	23	I89	200		I9	237	248
	24	I94	205		20	243	255
	25	I99	211		21	249	261
					22	255	267
I4	I4	I66	I74		23	261	274
	I5	I71	I79		24	267	280
	I6	I76	I85		25	273	287

Продолжение табл. I

<i>N₁</i>	<i>N₂</i>	0,95	0,90
I7	I7	249	259
	I8	255	266
	I9	262	273
	20	268	280
	21	274	287
	22	281	294
	23	287	300
	24	294	307
	25	300	314
I8	I8	280	291
	I9	287	299
	20	294	306
	21	301	313
	22	307	321
	23	314	328
	24	321	335
	25	328	343
I9	I9	313	325
	20	320	333
	21	328	341
	22	335	349
	23	342	357
	24	350	364
	25	357	372
20	20	348	361
	21	356	370
	22	364	378
	23	371	386
	24	379	394
	25	387	403

<i>N₁</i>	<i>N₂</i>	0,95	0,90
21	21	385	399
	22	393	408
	23	401	417
	24	410	425
	25	418	434
	22	424	439
	23	432	448
	24	441	457
	25	450	467
23	23	465	481
	24	474	491
	25	483	500
	24	507	525
	25	517	535
	25	552	570

Если $W_{\text{набл.}}$ по величине больше $W_{\text{ниж.кр.}}$ и меньше $W_{\text{верх.кр.}}$, то есть

$W_{\text{ниж.кр.}} \leq W_{\text{набл.}} \leq W_{\text{верх.кр.}}$
то выборки однородны.

Если $W_{\text{набл.}} \leq W_{\text{ниж.кр.}}$ или $W_{\text{набл.}} > W_{\text{верх.кр.}}$,
то выборки неоднородны.

Если N_1 или $N_2 > 25$, то $W_{\text{ниж.кр.}}$ определяют по формуле как целую часть числа:

$$W_{\text{ниж.кр.}} = \left[\frac{(N_1 + N_2 - 1) N_1 - 1}{2} - Z_{kp} \sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12}} \right],$$

где Z_{kp} находят по табл. приложения с помощью равенства

$$\Phi(Z_{kp}) = \frac{\beta}{2}$$

при $\beta = 0,95$ — $Z_{kp} = 1,96$

$\beta = 0,90$ — $Z_{kp} = 1,645$

П метод (при нормальном законе распределения отказов).

При проверке на однородность двух и более выборок следует сравнивать дисперсии по критерию Фишера и средние значения для двух выборок по критерию Стьюдента.

Значения дисперсий определяют по формулам

$$S_A^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m N_i (\bar{t}_i - \bar{t})^2 \quad (3)$$

$$S_B^2 = \frac{1}{M-m} \sum_{i=1}^m (N_i - 1) S_i^2 \quad (4)$$

где $\bar{t} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^m N_i \bar{t}_i \quad (5)$

m – число сравниваемых выборок;

N_i – объем i -й выборки

$$M = \sum_{i=1}^m N_i \quad (6)$$

При $M = 2$ формулы имеют вид

$$S_A^2 = N_1 (\bar{t}_1 - \bar{t})^2 + N_2 (\bar{t}_2 - \bar{t})^2 \quad (7)$$

$$S_B^2 = \frac{1}{N_1 + N_2 - 2} [(N_1 - 1) S_1^2 + (N_2 - 1) S_2^2] \quad (8)$$

где \bar{t}_1, S_1^2 – среднее и дисперсия 1-й выборки;
 \bar{t}_2, S_2^2 – среднее и дисперсия 2-й выборки.

Величина

$$\bar{t} = \frac{1}{N_1 + N_2} [N_1 \bar{t}_1 + N_2 \bar{t}_2] \quad (9)$$

Затем определить k – отношение S_A^2 и S_B^2 , причем в числителе всегда ставить большую из двух дисперсий. Это отношение k сравнить со значением критерия Фишера F , определяемого по табл.2 приложения в зависимости от числа степеней свободы $v_1 = m - 1$; $v_2 = M - m$ для доверительной вероятности β . При сравнении двух выборок $v_1 = 1$; $v_2 = N_1 + N_2 - 2$.

Если расчетное значение критерия k окажется меньше табличного F , то выборки однородны. В противном случае необходимо оценить расхождение средних для двух выборок по критерию Стьюдента. Определяют величину

$$S^2 = \frac{(N_1 - 1) S_1^2 + (N_2 - 1) S_2^2}{N_1 + N_2 - 2} \quad (10)$$

а затем

$$t = \frac{|\bar{t}_1 - \bar{t}_2|}{\sqrt{S^2}} \sqrt{\frac{N_1 N_2}{N_1 + N_2}} \quad (11)$$

Значение t сравнивают со значением критерия Стьюдента, определяемого по табл. З приложения в зависимости от степени свободы $D = N_1 + N_2 - 2$ и доверительной вероятности β .

Если значение t меньше табличного значения, то выборки однородны.

Если число выборок больше двух, то проводят последовательное попарное сравнение выборочных средних, применяя формулу (II), в которой принимают $S^2 = S_B^2$, вычисляя S_B^2 по формуле (4), с числом степеней свободы $k = M - m$.

Одну из выборок, безусловно входящих в генеральную совокупность, принимают за "базовую" и последовательно проверяют на однородность с ней остальные выборки, исключая те из них, относительно которых делают отрицательный вывод о принадлежности их одной совокупности с базовой выборкой. Среднее значение \bar{t} совокупности определяют по формуле (5), а ее дисперсию по формуле

$$\sigma^2 = \frac{1}{M-1} [(M-m) S_B^2 + (m-1) S_A^2] \quad (12)$$

Таблица 2

Критические точки F - распределение Фишера (β - доверительная вероятность)

$$\beta = 0,95$$

b_2	v_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120
1	39,864	49,500	53,593	55,833	57,241	58,204	58,906	59,439	59,858	60,195	60,705	61,220	61,740	62,002	62,265	62,529	62,794	63,061	63,328
2	8,5263	9,0000	9,1618	9,2434	9,2926	9,3255	9,3491	9,3668	9,3805	9,3916	9,4081	9,4247	9,4413	9,4496	9,4579	9,4663	9,4746	9,4829	9,4913
3	5,5383	5,4624	5,3908	5,3427	5,3092	5,2847	5,2662	5,2517	5,2400	5,2304	5,2156	5,2003	5,1845	5,1764	5,1681	5,1597	5,1512	5,1425	5,1337
4	4,5448	4,3246	4,1908	4,1073	4,0506	4,0098	3,9790	3,9549	3,9357	3,9199	3,8955	3,8703	3,8443	3,8310	3,8174	3,8036	3,7896	3,7753	3,7607
5	4,0604	3,7797	3,6195	3,4530	3,4530	3,4045	3,3679	3,3398	3,3163	3,2974	3,2682	3,2380	3,2067	3,1905	3,1741	3,1573	3,1402	3,1228	3,1050
6	3,7760	3,4633	3,2888	3,1808	3,1075	3,0546	3,0145	2,9830	2,9577	2,9369	2,9047	2,8712	2,8363	2,8183	2,8000	2,7812	2,7620	2,7423	2,7222
7	3,5894	3,2574	3,0741	2,9605	2,8833	2,8274	2,7849	2,7516	2,7247	2,7025	2,6681	2,6322	2,5947	2,5753	2,5555	2,5351	2,5142	2,4928	2,4708
8	3,4579	3,1131	2,9298	2,8064	2,7265	2,6683	2,6241	2,5893	2,5612	2,5380	2,5020	2,4642	2,4246	2,4041	2,3830	2,3614	2,3391	2,3162	2,2926
9	3,3603	3,0065	2,8129	2,6927	2,6106	2,5509	2,5053	2,4691	2,4403	2,4163	2,3789	2,3396	2,2983	2,2768	2,2547	2,2320	2,2095	2,1843	2,1592
10	3,2850	2,9245	2,7277	2,6053	2,5216	2,4606	2,4140	2,4140	2,3473	2,3226	2,2841	2,2435	2,2007	2,1784	2,1554	2,1317	2,1072	2,0818	2,0551
11	3,2252	2,8595	2,6602	2,3862	2,4512	2,3891	2,3416	2,3416	2,2735	2,2482	2,2087	2,1671	2,1230	2,1000	2,0762	2,0516	2,0261	1,9997	1,9721
12	3,1765	2,8068	2,6055	2,4801	2,3940	2,3310	2,2828	2,2828	2,2135	2,1878	2,1474	2,1049	2,0597	2,0360	2,0115	1,9861	1,9597	1,9323	1,9036
13	3,1362	2,7632	2,5603	2,4337	2,3467	2,2830	2,2341	2,2341	2,1638	2,1376	2,0966	2,0582	2,0070	1,9827	1,9576	1,9315	1,9043	1,8759	1,8462
14	3,1022	2,7265	2,5222	2,3947	2,3069	2,2426	2,1931	2,1931	2,1220	2,0954	2,0537	2,0095	1,9625	1,9377	1,9119	1,8852	1,8572	1,8280	1,7973
15	3,0732	2,6952	2,4898	2,3614	2,2730	2,2081	2,1582	2,1185	2,0862	2,0593	2,0171	1,9722	1,9243	1,8990	1,8728	1,8454	1,8168	1,7867	1,7551
16	3,0481	2,6682	2,4618	2,3327	2,2438	2,1783	2,1280	2,0880	2,0553	2,0281	1,9854	1,9399	1,8913	1,8656	1,8388	1,8108	1,7816	1,7507	1,7182
17	3,0262	2,6446	2,4374	2,3077	2,2183	2,1524	2,1017	2,0616	2,0284	2,0009	1,9577	1,9117	1,8624	1,8362	1,8090	1,7805	1,7506	1,7191	1,6856
18	3,0070	2,6239	2,4160	2,2858	2,1958	2,1296	2,0785	2,0379	2,0047	1,9770	1,9333	1,8868	1,8668	1,8103	1,7827	1,7537	1,7232	1,6910	1,6567
19	2,9899	2,6056	2,3970	2,2603	2,1760	2,1094	2,0680	3,0171	2,9836	1,9557	1,9117	1,8647	1,8142	1,7873	1,7592	1,7298	1,6908	1,6639	1,6308
20	2,9747	2,5893	2,3801	2,2489	2,1582	2,0913	2,0397	1,9985	1,9649	1,9367	1,8924	1,8449	1,7938	1,7667	1,7382	1,7083	1,6768	1,6433	1,6074
21	2,9609	2,5746	2,3649	2,2333	2,1423	2,0751	2,0232	1,9819	1,9480	1,9197	1,8760	1,8272	1,7756	1,7481	1,7193	1,6890	1,6569	1,6228	1,5862
22	2,9486	2,5613	2,3512	2,2193	2,1279	2,0605	2,0084	1,9668	1,9327	1,9043	1,8593	1,8111	1,7590	1,7312	1,7021	1,6714	1,6399	1,6042	1,5608
23	2,9374	2,5493	2,3387	2,2065	2,1149	2,0472	1,9949	1,9531	1,9189	1,8903	1,8450	1,7964	1,7439	1,7159	1,6864	1,6554	1,6234	1,5871	1,5450
24	2,9271	2,5383	2,3274	2,1949	2,1030	2,0351	1,9826	1,9407	1,9063	1,8775	1,8319	1,7831	1,7302	1,7019	1,6721	1,6407	1,6073	1,5715	1,5327

РД 302-07-274-89

0.48

Продолжение табл.2

<i>v_z</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	I2	J5	20	24	30	40	60	I20	
25	2,9177	2,5283	2,3170	2,1843	2,0922	2,0241	I,9714	I,9292	I,8947	I,8658	I,8200	I,7708	I,7175	I,6890	I,6589	I,6272	I,5934	I,5570	I,5176
26	2,9091	2,5181	2,3075	2,1745	2,0822	2,0139	I,9610	I,9188	I,8841	I,8550	I,8090	I,7596	I,7059	I,6771	I,6468	I,6147	I,5805	I,5437	I,5036
27	2,9012	2,5106	2,2987	2,1655	2,0730	2,0045	I,9515	I,9091	I,8743	I,8451	I,7989	I,7492	I,6951	I,6662	I,6356	I,6032	I,5686	I,5313	I,4906
28	2,8939	2,5028	2,2906	2,1571	2,0645	I,9959	I,9427	I,9001	I,8652	I,8359	I,7895	I,7395	I,6852	I,6560	I,6252	I,5925	I,5575	I,5198	I,4784
29	2,8871	2,4955	2,2831	2,1494	2,0566	I,9878	I,9345	I,8918	I,8568	I,8274	I,7808	I,7306	I,6759	I,6465	I,6155	I,5825	I,5472	I,5090	I,4670
30	2,8807	2,4882	2,2761	2,1422	2,0492	I,9803	I,9269	I,8841	I,8490	I,8195	I,7727	I,7223	I,6673	I,6377	I,6065	I,5732	I,5376	I,4989	I,4564
40	2,8354	2,4404	2,2261	2,0909	I,9968	I,9269	I,8725	I,8289	I,7929	I,7627	I,7146	I,6624	I,6052	I,5741	I,5411	I,5056	I,4672	I,4248	I,3769
60	2,7914	2,3933	2,1774	2,0410	I,9457	I,8747	I,8194	I,7748	I,7380	I,7070	I,6574	I,6034	I,5435	I,5107	I,4755	I,4373	I,3952	I,3476	I,2915
I20	2,7478	2,3473	2,1300	I,9923	I,8959	I,8238	I,7675	I,7220	I,6843	I,6524	I,6012	I,5450	I,4821	I,4472	I,4094	I,3676	I,3203	I,2646	I,1926
	2,7055	2,3026	2,0838	I,9449	I,8473	I,7741	I,7167	I,6702	I,6315	I,5927	I,5458	I,4871	I,4206	I,3832	I,3419	I,2951	I,2400	I,1686	I,0000

Продолжение табл.2

Критические точки F -распределение Фишера

$$\beta = 0,90$$

ν_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	
I	5,8285	7,5000	8,1999	8,5810	8,8198	8,9833	9,1021	9,1922	9,2631	9,3202	9,4064	9,4934	9,5813	9,6255	9,6698	9,7144	9,7591	9,8041	9,8492
2	2,5714	3,0000	3,1534	3,2320	3,2820	3,3121	3,3352	3,3526	3,3661	3,3700	3,3934	3,4098	3,4263	3,4345	3,4428	3,4511	3,4594	3,4677	3,4761
3	2,0239	2,2798	2,3555	2,3901	2,4095	2,4218	2,4302	2,4364	2,4410	2,4447	2,4500	2,4552	2,4602	2,4626	2,4650	2,4674	2,4697	2,4720	2,4742
4	1,8074	2,0000	2,0467	2,0642	2,0723	2,0766	2,0790	2,0805	2,0814	2,0820	2,0826	2,0829	2,0828	2,0827	2,0825	2,0821	2,0817	2,0812	2,0806
5	1,6925	1,8528	1,8843	1,8927	1,8947	1,8945	1,8935	1,8923	1,8911	1,8899	1,8877	1,8851	1,8820	1,8802	1,8784	1,8763	1,8742	1,8719	1,8694
6	1,6214	1,7622	1,7844	1,7844	1,7852	1,7821	1,7789	1,7760	1,7733	1,7708	1,7668	1,7621	1,7569	1,7540	1,7510	1,7477	1,7443	1,7407	1,7368
7	1,5732	1,7010	1,7169	1,7157	1,7111	1,7059	1,7011	1,6969	1,6931	1,6898	1,6843	1,6781	1,6712	1,6675	1,6635	1,6593	1,6548	1,6502	1,6452
8	1,5384	1,6569	1,6683	1,6642	1,6575	1,6509	1,6448	1,6396	1,6350	1,6310	1,6244	1,6170	1,6088	1,6043	1,5996	1,5945	1,5892	1,5836	1,5777
9	1,5121	1,6236	1,6315	1,6253	1,6170	1,6091	1,6022	1,5961	1,5909	1,5863	1,5788	1,5705	1,5611	1,5560	1,5506	1,5450	1,5389	1,5325	1,5257
10	1,4915	1,5975	1,6028	1,5949	1,5853	1,5765	1,5688	1,5621	1,5563	1,5513	1,5430	1,5338	1,5235	1,5179	1,5119	1,5056	1,4990	1,4919	1,4843
II	1,4749	1,5767	1,5798	1,5704	1,5598	1,5502	1,5418	1,5346	1,5284	1,5230	1,5140	1,5041	1,4930	1,4869	1,4805	1,4737	1,4664	1,4587	1,4504
I2	1,4613	1,5595	1,5609	1,5503	1,5389	1,5286	1,5197	1,5120	1,5054	1,4996	1,4902	1,4796	1,4678	1,4613	1,4544	1,4471	1,4393	1,4310	1,4221
I3	1,4500	1,5452	1,5451	1,5336	1,5214	1,5105	1,5011	1,4931	1,4861	1,4801	1,4701	1,4590	1,4465	1,4397	1,4324	1,4247	1,4164	1,4075	1,3980
I4	1,4403	1,5331	1,5317	1,5194	1,5066	1,4952	1,4854	1,4770	1,4697	1,4634	1,4530	1,4414	1,4284	1,4212	1,4136	1,4055	1,3967	1,3874	1,3772
I5	1,4321	1,5227	1,5202	1,5071	1,4938	1,4820	1,4718	1,4681	1,4556	1,4491	1,4383	1,4263	1,4127	1,4052	1,3973	1,3888	1,3796	1,3698	1,3591
I6	1,4249	1,5137	1,5103	1,4965	1,4827	1,4705	1,4601	1,4511	1,4433	1,4366	1,4255	1,4130	1,3990	1,3912	1,3880	1,3742	1,3646	1,3543	1,3432
I7	1,4186	1,5057	1,5013	1,4873	1,4730	1,4605	1,4497	1,4405	1,4325	1,4256	1,4142	1,4014	1,3869	1,3790	1,3704	1,3613	1,3514	1,3406	1,3290
I8	1,4130	1,4988	1,4938	1,4790	1,4644	1,4516	1,4406	1,4312	1,4230	1,4159	1,4042	1,3911	1,3762	1,3680	1,3592	1,3497	1,3395	1,3284	1,3162
I9	1,4081	1,4925	1,4970	1,4717	1,4568	1,4437	1,4325	1,4228	1,4145	1,4073	1,3953	1,3819	1,3666	1,3582	1,3492	1,3394	1,3289	1,3174	1,3048
20	1,4037	1,4870	1,4808	1,4652	1,4500	1,4366	1,4252	1,4153	1,4069	1,3995	1,3873	1,3736	1,3580	1,3494	1,3401	1,3301	1,3133	1,3074	1,2945
21	1,3957	1,4820	1,4753	1,4593	1,4438	1,4306	1,4186	1,4086	1,4000	1,3925	1,3801	1,3661	1,3502	1,3414	1,3319	1,3217	1,3105	1,2983	1,2846
22	1,3961	1,4774	1,4703	1,4540	1,4382	1,4244	1,4126	1,4025	1,3937	1,3861	1,3735	1,3593	1,3431	1,3341	1,3245	1,3140	1,3025	1,2900	1,2761
23	1,3928	1,4733	1,4657	1,4491	1,4331	1,4191	1,4072	1,3969	1,3880	1,3803	1,3675	1,3531	1,3366	1,3275	1,3176	1,3069	1,2952	1,2824	1,2681
24	1,3898	1,4695	1,4615	1,4447	1,4285	1,4143	1,4022	1,3918	1,3828	1,3750	1,3621	1,3474	1,3307	1,3214	1,3113	1,3004	1,2885	1,2754	1,2607

РД 302-07-279-89

C.50

Продолжение табл.2

<i>λ</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	
25	I,3870	I,466I	I,4577	I,4406	I,4242	I,4099	I,3976	I,387I	I,9780	I,370I	I,3570	I,3422	I,3252	I,3I58	I,3056	I,2945	I,2823	I,2689	I,2538
26	I,3845	I,4629	I,4542	I,4368	I,4203	I,4058	I,3935	I,3828	I,3737	I,3656	I,3524	I,3374	I,3202	I,3I06	I,3002	I,2889	I,2765	I,2628	I,2474
27	I,3822	I,4600	I,4510	I,4334	I,4166	I,402I	I,3896	I,3788	I,3696	I,3615	I,348I	I,3329	I,3I55	I,3058	I,2953	I,2838	I,2712	I,2572	I,2414
28	I,3800	I,4573	I,4480	I,4302	I,4I33	I,3986	I,3860	I,3752	I,3658	I,3576	I,344I	I,3288	I,3II2	I,30I3	I,2906	I,2790	I,2662	I,2519	I,2358
29	I,3780	I,4547	I,4452	I,4272	I,4I02	I,3953	I,3826	I,37I7	I,3623	I,354I	I,3404	I,3249	I,307I	I,297I	I,2863	I,2745	I,2615	I,2470	I,2306
30	I,376I	I,4524	I,4426	I,4244	I,4073	I,3923	I,3795	I,3685	I,3590	I,3507	I,3369	I,32I3	I,3033	I,2933	I,2823	I,2703	I,257I	I,2424	I,225C
40	I,3626	I,4355	I,4239	I,4045	I,3863	I,3706	I,357I	I,3455	I,3354	I,3266	I,3I19	I,2952	I,2758	I,2649	I,2529	I,2397	I,2249	I,2080	I,I88C
60	I,3493	I,4I88	I,4050	I,3848	I,3657	I,349I	I,3349	I,3226	I,3II9	I,3026	I,2870	I,269I	I,248I	I,236I	I,2229	I,208I	I,I9I2	I,I715	I,I474
120	I,3362	I,4024	I,3873	I,3654	I,3453	I,3278	I,3I28	I,2999	I,2886	I,2787	I,262I	I,2428	I,2200	I,2068	I,I92I	I,I732	I,I555	I,I3I4	I,098%
	I,3233	I,3863	I,3694	I,3463	I,325I	I,3068	I,2910	I,2774	I,2654	I,2549	I,237I	I,2I63	I,I9I4	I,I767	I,I600	I,I404	I,II64	I,0838	I,000C

Таблица 3
Критические точки распределения Стьюдента

Число степеней свободы v	β - доверительная вероятность	
	0,90	0,95
1	6,31	12,7
2	2,92	4,30
3	2,35	3,18
4	2,13	2,78
5	2,01	2,57
6	1,94	2,45
7	1,98	2,36
8	1,86	2,31
9	1,83	2,26
10	1,81	2,23
11	1,80	2,20
12	1,78	2,18
13	1,77	2,16
14	1,76	2,14
15	1,75	2,13
16	1,75	2,12
17	1,74	2,11
18	1,73	2,10
19	1,73	2,09
20	1,73	2,09
21	1,72	2,08
22	1,72	2,07
23	1,71	2,07
24	1,71	2,06
25	1,71	2,06
26	1,71	2,06
27	1,71	2,05
28	1,70	2,05
29	1,70	2,05
30	1,70	2,04
40	1,68	2,02
60	1,67	2,00
120	1,66	1,98
	1,65	1,96

Пример I. Проверка на однородность первым методом.

Имеются 2 выборки наработок до отказа клапана регулирующего, эксплуатируемого в составе 2-х различных систем. Проверим выборки на однородность при уровне значимости 0,05 с целью проверки предположения об идентичности условий эксплуатации.

$$N_1 = 10$$

$$N_2 = 12$$

Выборка I: 3800, 1700, 4200, 6000, 5500, 2100, 2700, 3000,
5200, 4800.

Выборка 2: 3000, 9000, 7200, 4800, 3500, 6200, 5200, 1600,
3900, 2500, 8000, 6900.

Строим вариационный ряд:

I 2 3 4 5 6 7 8 9 10
1600, 1700, 2100, 2500, 2700, 3000, 3500, 3600, 3800, 3900,

II I2 I3 I4 I5 I6 I7 I8 I9 20
4200, 4800, 4800, 5200, 5200, 5500, 6000, 6200, 6900, 7200,

I1 I2
8000, 9000

Определяем $W_{\text{набл}} = 9+2+II+I7+I6+3+5+8+I5+I2 = 98$

По таблице I для $\beta = 0,95$ $N_1 = 10$ и $N_2 = 12$

$W_{\text{ниж.кр}} = 89$. Тогда $W_{\text{верх.крит.}} = (10+12+1).10 - 89 = 141$, таким образом $89 < W_{\text{набл.}} < 141$, следовательно, выборки однородны.

Пример 2. Проверка на однородность II методом

Наблюдение велось за 6 партиями клапанов запорных, эксплуатируемых в разных климатических условиях. Большой разброс средних ресурсов указывает на возможность влияния условий эксплуатации.

I партия $N_1 = 60$ штук Среднее $\bar{t}_1 = 7800$ ц, дисперсия $S_1^2 = 4080000 = 408 \cdot 10^4$ цикл²

II партия: $N_2 = 60$ $\bar{t}_2 = 6800$ ц $S_2^2 = 350 \cdot 10^4$ ц²

III партия: $N_3 = 60$ $\bar{t}_3 = 6900$ ц $S_3^2 = 508 \cdot 10^4$ ц²

IV партия: $N_4 = 60$ $\bar{t}_4 = 7300$ ц $S_4^2 = 600 \cdot 10^4$ ц²

V партия: $N_5 = 20$ $\bar{t}_5 = 4600$ ц $S_5^2 = 182 \cdot 10^4$ ц²

VI партия: $N_6 = 24$ $\bar{t}_6 = 5400$ ц $S_6^2 = 675 \cdot 10^4$ ц²

при проверке на однородность оказалось, что $S_B^2 = 464 \cdot 10^4$ ц², $S_A^2 = 4365 \cdot 10^4$ ц²,

$t = 9,04$. Табличное значение

$F_{0,95; 5,278} = 2,21$ Следовательно выборки неоднородны. Чтобы установить, какую из выборок исключить из расчета надежности, применим критерий Стьюдента. За базовую принимаем II выборку (партию).

Сомнение вызывают пятая и шестая выборки. По формуле (II) критерий t для базовой и VI выборки составит: $t = 2,7$.

Табличное значение критерия при степени свободы $v = 82$ и

$\beta = 0,05$ составляет 2,0, что меньше расчетного. Следовательно, вторая и шестая выборки неоднородны, т.е. условия эксплуатации VI партии существенно влияют на надежность задвижек.

Этот вывод распространяется и на V партию, т.к. $\bar{t}_5 < \bar{t}_6$.

Следовательно, при определении параметров совокупность V и VI выборки должны быть исключены.

Среднее совокупности (I-IV выборки) составит $\bar{t} = 7200$ ц.

$$\hat{\sigma}^2 = 473 \cdot 10^4 \text{ цикл}^2$$

1989-90

Приложение 5
Справочное
Таблица

Значение коэффициента $\chi^2_{\beta,n}$

$n \setminus \beta$	0,90	0,95	$n \setminus \beta$	0,90	0,95
I	2,706	3,841	31	41,422	44,985.
2	4,605	5,991	32	42,585	46,194
3	6,251	7,815	33	43,745	47,400
4	7,779	9,488	34	44,903	48,602
5	9,236	11,070	35	46,059	49,802
6	10,645	12,592	36	47,212	50,998
7	12,017	14,067	37	48,363	52,192
8	13,362	15,507	38	49,513	53,384
9	14,684	16,919	39	50,660	54,572
10	15,987	18,307	40	51,805	55,758
II	17,275	19,675	41	52,949	56,942
12	18,549	21,026	42	54,090	58,124
13	19,812	22,362	43	55,230	59,304
14	21,064	23,685	44	56,369	60,481
15	22,307	24,996	45	57,505	61,656
16	23,542	26,296	46	58,641	62,830
17	24,769	27,587	47	59,774	64,001
18	25,989	28,869	48	60,907	65,171
19	27,204	30,144	49	62,038	66,339
20	28,412	31,410	50	63,167	67,505
21	29,615	32,671	51	64,295	68,669
22	30,813	33,924	52	65,422	69,832
23	32,007	35,172	53	66,548	70,998
24	33,196	36,415	54	67,673	72,153
25	34,382	37,652	55	68,796	73,311
26	35,563	38,885	56	69,918	74,468
27	36,741	40,113	57	71,040	75,624
28	37,916	41,337	58	72,160	76,778
29	39,087	42,557	59	73,279	77,981
30	40,256	43,773	60	74,397	79,082

160-90 300 40.08.90

Продолжение табл.

<i>n</i>	<i>p</i>	0,90	0,95	<i>n</i>	<i>p</i>	0,90	0,95
61		75,514	80,232	91		108,661	II4,268
62		76,630	81,381	92		109,756	II5,390
63		77,745	82,529	93		110,850	II6,511
64		78,860	83,675	94		III,944	II7,632
65		79,973	84,821	95		II3,038	II8,752
66		81,086	85,965	96		II4,131	II9,871
67		82,197	87,108	97		II5,223	I20,990
68		83,308	88,250	98		II6,315	I22,108
69		84,418	89,391	99		II7,407	I23,225
70		85,527	90,531	100		II8,498	I24,342
71		86,635	91,670				
72		87,743	92,808				
73		88,850	93,945				
74		89,956	95,081				
75		91,061	96,217				
76		92,166	97,351				
77		93,270	98,484				
78		94,374	99,617				
79		95,476	100,749				
80		96,578	101,879				
81		97,680	103,010				
82		98,780	104,139				
83		99,880	105,267				
84		100,980	106,395				
85		102,079	107,522				
86		103,177	108,648				
87		104,275	109,773				
88		105,372	110,898				
89		106,469	112,022				
90		107,565	113,145				

П р и м е ч а н и е . $\chi_{\beta, n}^2$ - квантиль; χ^2 - квадрат распределения. Находится из уравнения:

$$\beta = \int_0^{\chi_{\beta, n}^2} \frac{1}{2^{\frac{n}{2}} \Gamma(\frac{n}{2})} x^{\frac{n-2}{2}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

Приложение 6
Справочное

Значения коэффициента $Z_{\beta, N}$

N	β	
	0,90	0,95
2	2,176	4,464
3	1,088	1,686
4	0,819	1,177
5	0,685	0,953
6	0,602	0,823
7	0,544	0,734
8	0,500	0,670
9	0,466	0,620
10	0,437	0,580
11	0,414	0,546
12	0,393	0,518
13	0,370	0,494
14	0,351	0,473
15	0,347	0,455
16	0,335	0,438
17	0,324	0,423
18	0,313	0,410
19	0,313	0,398
20	0,305	0,387
21	0,296	0,376
22	0,289	0,367

N	β	
	0,90	0,95
23	0,275	0,358
24	0,269	0,350
25	0,264	0,342
26	0,258	0,335
27	0,253	0,328
28	0,248	0,322
29	0,244	0,316
30	0,239	0,310
32	0,231	0,309
34	0,224	0,290
36	0,218	0,282
38	0,212	0,274
40	0,206	0,266
45	0,194	0,250
50	0,184	0,237
60	0,167	0,216
70	0,155	0,199
80	0,145	0,186
90	0,136	0,175
100	0,129	0,166
200	0,091	0,117

Приложение 6. $Z_{\beta, N} = \frac{1}{\sqrt{N}} t_{\beta, N-1}$, где $t_{\beta, N-1}$ квантиль распределения Стьюдента с $(N-1)$ степенями свободы.

199-90 Учн. 28.08.90

Приложение 7

Справочное

Значение функции нормального распределения $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{y^2}{2}} dy$

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
-0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
-0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
-0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
-0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
-0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
-0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
-0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
-0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
-0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
-1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
-1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
-1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
-1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9098	0,91149	0,9130	0,9146	0,9162	0,9177
-1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9250	0,9264	0,9278	0,9292	0,9305	0,9319
-1,5	0,9332	0,93448	0,93574	0,93699	0,93822	0,93943	0,94062	0,94179	0,94295	0,94408
-1,6	0,94520	0,94630	0,94738	0,94845	0,94950	0,95053	0,95154	0,95254	0,95352	0,95449
-1,7	0,95543	0,95637	0,95728	0,95818	0,95907	0,95994	0,96080	0,96164	0,96246	0,96327
-1,8	0,96407	0,96485	0,96562	0,96637	0,96712	0,96784	0,96856	0,96926	0,96995	0,97062
-1,9	0,97128	0,97193	0,97257	0,97320	0,97381	0,97441	0,97500	0,97558	0,97615	0,97670

199-90 Учк 22.02.90

Продолжение приложения 7

X	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-2,0	0,97725	0,97778	0,97831	0,97882	0,97932	0,97982	0,98030	0,98077	0,98124	0,98169
-2,1	0,98214	0,98257	0,98300	0,98341	0,98382	0,98422	0,98461	0,98500	0,98537	0,98574
-2,2	0,98610	0,98645	0,98679	0,98713	0,98745	0,98778	0,98809	0,98840	0,98870	0,98899
-2,3	0,98928	0,98956	0,98983	0,99010	0,99036	0,99061	0,99086	0,99111	0,99134	0,99158
-2,4	0,99180	0,99202	0,99224	0,99245	0,99265	0,99285	0,99305	0,99324	0,99343	0,99361
-2,5	0,99379	0,99396	0,99413	0,99429	0,99445	0,99461	0,99476	0,99491	0,99506	0,99520
-2,6	0,99534	0,99547	0,99560	0,99573	0,99585	0,99597	0,99609	0,99620	0,99632	0,99643
-2,7	0,99658	0,99664	0,99674	0,99683	0,99693	0,99702	0,99711	0,99720	0,99728	0,99736
-2,8	0,99744	0,99752	0,99760	0,99767	0,99774	0,99781	0,99778	0,99795	0,99801	0,99807
-2,9	0,99813	0,99819	0,99825	0,99830	0,99836	0,99841	0,99846	0,99851	0,99856	0,99860
-3,0	0,99865	0,99869	0,99874	0,99877	0,99881	0,99885	0,99889	0,99893	0,99896	0,99899
-3,1	0,99903	0,99906	0,99909	0,99912	0,99915	0,99918	0,99921	0,99923	0,99926	0,99928
-3,2	0,99931	0,99933	0,99936	0,99938	0,99940	0,99942	0,99944	0,99946	0,99948	0,99949
-3,3	0,99951	0,99953	0,99954	0,99956	0,99958	0,99959	0,99961	0,99962	0,99963	0,99965
-3,4	0,99966	0,99967	0,99968	0,99969	0,99970	0,99971	0,99972	0,99973	0,99974	0,99975
-3,5	0,99976	0,99977	0,99978	0,99979	0,99980	0,99980	0,99981	0,99982	0,99982	0,99983
-3,6	0,99984	0,99984	0,99985	0,99985	0,99986	0,99986	0,99987	0,99987	0,99988	0,99988
-3,7	0,99989	0,99989	0,99990	0,99990	0,99990	0,99991	0,99991	0,99991	0,99992	0,99992
-3,8	0,99992	0,99993	0,99993	0,99993	0,99993	0,99994	0,99994	0,99994	0,99994	0,99994
-3,9	0,99995	0,99995	0,99995	0,99995	0,99995	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996

129-90 3000 12.08.90

Продолжение приложения 7

λ	0	I	2	3	4	5	6	7	8	9
-4,0	0,99996	0,99996	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997
-4,1	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
-4,2	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99999	0,99999	0,99999
-4,3	0,99999									

П р и м е ч а н и е. $\Phi(x) = 1 - \Phi(-x)$

ПЛ 302-07-279-89

с. 59

Приложение 8
Справочное

Квантиль нормального распределения $u_{\gamma}(u_{\beta})$

$\gamma(\beta)$	$u_{\gamma}(u_{\beta})$	$\gamma(\beta)$	$u_{\gamma}(u_{\beta})$	$\gamma(\beta)$	$u_{\gamma}(u_{\beta})$
0,50	0	0,73	0,613	0,94	1,555
0,51	0,025	0,74	0,643	0,95	1,645
0,52	0,050	0,75	0,674	0,96	1,751
0,53	0,075	0,76	0,706	0,97	1,881
0,54	0,100	0,77	0,738	0,975	1,960
0,55	0,126	0,78	0,772	0,980	2,054
0,56	0,151	0,79	0,806	0,990	2,326
0,57	0,176	0,80	0,842	0,991	2,366
0,58	0,202	0,81	0,878	0,993	2,456
0,59	0,228	0,82	0,915	0,994	2,512
0,60	0,253	0,83	0,945	0,995	2,576
0,61	0,279	0,84	0,994	0,996	2,632
0,62	0,305	0,85	1,036	0,997	2,748
0,63	0,332	0,86	1,080	0,9975	2,807
0,64	0,358	0,87	1,126	0,9980	2,878
0,65	0,385	0,88	1,175	0,9990	3,090
0,66	0,412	0,89	1,227	0,9995	3,291
0,67	0,440	0,90	1,282	0,9999	3,719
0,68	0,468	0,91	1,341		
0,69	0,496	0,92	1,405		
0,70	0,524	0,925	1,440		
0,72	0,563	0,93	1,476		

Причечание. $u_{1-\gamma} = -u_{\gamma}$

Значения u_{γ} находят из уравнения: $\gamma = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{u_{\gamma}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$

28.04.90

ЧМН

110.90

129-90 Учк 28.08.90

Приложение 9
Справочное

Значения коэффициента K

H \ P	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,01	0,0101	0,0109	0,0116	0,0122	0,0128	0,0133	0,0137	0,0142	0,0146	0,0149	0,0153
0,02	0,0204	0,0221	0,0234	0,0247	0,0257	0,0267	0,0276	0,0285	0,0293	0,0301	0,0308
0,03	0,0309	0,0334	0,0355	0,0372	0,0389	0,0403	0,0417	0,0430	0,0442	0,0454	0,0465
0,04	0,0416	0,0449	0,0476	0,0500	0,0522	0,0541	0,0560	0,0577	0,0594	0,0609	0,0624
0,05	0,0525	0,0566	0,0600	0,0629	0,0657	0,0681	0,0704	0,0726	0,0746	0,0766	0,0785
0,06	0,0636	0,0655	0,0725	0,0761	0,0793	0,0823	0,0851	0,0877	0,0901	0,0925	0,0947
0,07	0,0749	0,0806	0,0852	0,0894	0,0932	0,0967	0,0989	0,1029	0,1058	0,1085	0,1111
0,08	0,0865	0,0928	0,0982	0,1029	0,1073	0,1112	0,1149	0,1184	0,1216	0,1248	0,1278
0,09	0,0982	0,1053	0,1135	0,1167	0,1215	0,1260	0,1301	0,1340	0,1377	0,1413	0,1446
0,10	0,1102	0,1180	0,1247	0,1306	0,1360	0,1409	0,1455	0,1499	0,1540	0,1579	0,1617
0,15	0,1734	0,1848	0,1946	0,2034	0,2114	0,2188	0,2258	0,2323	0,2386	0,2445	0,2502
0,20	0,2427	0,2574	0,2703	0,2819	0,2926	0,3025	0,3118	0,3207	0,3290	0,3370	0,3447
0,25	0,3186	0,3366	0,3525	0,3670	0,3803	0,3928	0,4045	0,4156	0,4261	0,4362	0,4459
0,30	0,4021	0,4233	0,4422	0,4595	0,4756	0,4904	0,5045	0,5180	0,5308	0,5430	0,5548
0,35	0,4941	0,5184	0,5404	0,5604	0,5791	0,5967	0,6133	0,6291	0,6441	0,6596	0,6724
0,40	0,5961	0,6234	0,6484	0,6713	0,6297	0,7129	0,7320	0,7502	0,7676	0,7844	0,8005
0,45	0,7096	0,7400	0,7678	0,7937	0,8179	0,8406	0,8625	0,8832	0,9031	0,9222	0,9406
0,50	0,8368	0,8703	0,9012	0,9300	0,9570	0,9826	1,0070	1,0300	1,0530	1,0740	1,0950
0,55	0,9808	1,0270	1,0510	1,0830	1,1130	1,1410	1,1690	1,1950	1,2200	1,2440	1,2670

129-90 ~~стн~~ 28.08.90

Продолжение приложения 9

$\mu \diagdown P$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,60	I,1450	I,1850	I,2220	I,2570	I,2900	I,3210	I,3510	I,3800	I,4080	I,4350	I,4610
0,65	I,3360	I,3790	I,4190	I,4570	I,4940	I,5280	I,5610	I,5930	I,6240	I,6530	I,6820
0,70	I,5610	I,6080	I,6510	I,6930	I,7320	I,7700	I,8060	I,8410	I,8750	I,9080	I,9400
0,80	2,I760	2,2290	2,2800	2,3290	2,3760	2,4210	2,4660	2,5070	2,5480	2,5880	2,6260
0,90	3,2830	3,3450	3,4050	3,4640	3,5200	3,5750	3,6280	3,6790	3,7300	3,7790	3,8270

PL 302-07-249-89

с. 62

Приложение 10

Справочное

Таблица

Значение функции $\lambda(z_{ju}) = \lambda(z)$

z	$\lambda(z)$	z	$\lambda(z)$	z	$\lambda(z)$	z	$\lambda(z)$
-4,0	0,0001	-2,00	0,0552	0,00	0,7979	2,00	2,3732
-3,95	0,0002	-1,95	0,0612	0,05	0,8300	2,05	2,4176
-3,90	0,0002	-1,90	0,0676	0,10	0,8626	2,10	2,4621
-3,85	0,0002	-1,85	0,0745	0,15	0,8958	2,15	2,5067
-3,80	0,0003	-1,80	0,0819	0,20	0,9294	2,20	2,5515
-3,75	0,0004	-1,75	0,0899	0,25	0,9636	2,25	2,5964
-3,70	0,0004	-1,70	0,0981	0,30	0,9982	2,30	2,6414
-3,65	0,0005	-1,65	0,1076	0,35	1,0332	2,35	2,6866
-3,60	0,0006	-1,60	0,1174	0,40	1,0688	2,40	2,7319
-3,55	0,0007	-1,55	0,1277	0,45	1,1047	2,45	2,7773
-3,50	0,0009	-1,50	0,1388	0,50	1,1411	2,50	2,8227
-3,45	0,0010	-1,45	0,1505	0,55	1,1779	2,55	2,8684
-3,40	0,0012	-1,40	0,1629	0,60	1,2150	2,60	2,9141
-3,35	0,0015	-1,35	0,1760	0,65	1,2526	2,65	2,9598
-3,30	0,0017	-1,30	0,1897	0,70	1,2905	2,70	3,0058
-3,25	0,0020	-1,25	0,2042	0,75	1,3288	2,75	3,0519
-3,20	0,0024	-1,20	0,2194	0,80	1,3674	2,80	3,0977
-3,15	0,0028	-1,15	0,2354	0,85	1,4064	2,85	3,1441
-3,10	0,0033	-1,10	0,2520	0,90	1,4456	2,90	3,1906
-3,05	0,0038	-1,05	0,2694	0,95	1,4852	2,95	3,2366
-3,00	0,0044	-1,00	0,2876	1,00	1,5251	3,00	3,2832
-2,95	0,0052	-0,95	0,3055	1,05	1,5653	3,05	3,3311
-2,90	0,0060	-0,90	0,3261	1,10	1,6058	3,10	3,3764

Продолжение таблицы

z	$\lambda(z)$	z	$\lambda(z)$	z	$\lambda(z)$	z	$\lambda(z)$
-2,85	0,0069	-0,85	0,3465	1,15	1,6465	3,15	3,4244
-2,80	0,0079	-0,80	0,3676	1,20	1,6875	3,20	3,4694
-2,75	0,0091	-0,75	0,3894	1,25	1,7288	3,25	3,5180
-2,70	0,0105	-0,70	0,4119	1,30	1,7703	3,30	3,5642
-2,65	0,0120	-0,65	0,4352	1,35	1,8121	3,35	3,6121
-2,60	0,0136	-0,60	0,4591	1,40	1,8540	3,40	3,6565
-2,55	0,0155	-0,55	0,4838	1,45	1,8963	3,45	3,7069
-2,50	0,0176	-0,50	0,5092	1,50	1,9387	3,50	3,7527
-2,45	0,0200	-0,45	0,5352	1,55	1,9813	3,55	3,8002
-2,40	0,0226	-0,40	0,5619	1,60	2,0241	3,60	3,8464
-2,35	0,0255	-0,35	0,5892	1,65	2,0672	3,65	3,8934
-2,30	0,0286	-0,30	0,6172	1,70	2,1104	3,70	3,9425
-2,25	0,0321	-0,25	0,6458	1,75	2,1538	3,75	3,9924
-2,20	0,0360	-0,20	0,6751	1,80	2,1973	3,80	4,0360
-2,15	0,0402	-0,15	0,7049	1,85	2,2410	3,85	4,0891
-2,10	0,0448	-0,10	0,7353	1,90	2,2849	3,90	4,1376
-2,05	0,0498	-0,05	0,7663	1,95	2,3290	3,95	4,1842
						4,00	4,2310

П р и м е ч а н и е.

$$\lambda(z_{j_K}) = \frac{e^{-z_{j_K}^2/\lambda}}{\int_{z_K}^{\infty} e^{-y^2/\lambda} dy}$$

Изл. № 111
дата 28.08.90

196-00

Приложение II

Справочное

Значения $\chi^2_{\nu-1; 0,5}$

ν	χ^2	ν	χ^2	ν	χ^2
2	0,455	10	8,34	18	16,34
3	1,39	11	9,34	19	17,34
4	2,37	12	10,34	20	18,34
5	3,36	13	11,34	21	19,34
6	4,35	14	12,34	22	20,34
7	5,35	15	13,34	23	21,34
8	6,35	16	14,34	24	22,34
9	7,34	17	15,34	25	23,34

При $\nu > 25$ $\chi^2_{\nu-1; 0,5} = \nu - 1$

Приложение 12

Рекомендуемое

ФОРМА РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

Расчет показателей надежности

изделий _____ (ТУ, ГОСТ)

Наименование, чертеж, Ду

по результатам

испытаний, подконтрольной эксплуатации,
эксплуатации

Исходные данные приведены в

№ карты-накопителя, акта,
протокола, отчета и т.д.

I. Количество изделий		2. Доверительная вероятность	
Исходные данные для оценки показателей надежности	Количество наблюдений до отказа, их наработка до отказа (цикл, час)		
	Количество наблюдений и наработка до цензурирования (цикл, час)		
	Наработка до предельного состояния (цикл, час, лет), количество данных наработок		
	Наработка до цензурирования (цикл, час, лет), количество наработок до цензурирования		
Сведения о законе распределения		Параметры распределения	
Алгоритмическая информация (исходные, № чертежа)	Количество наработок и наработка	до отказа (цикл, час)	
		до предельного состояния (цикл, час, лет)	
	Наработка до цензурирования (цикл, час, лет) и количество наблюдений до цензурирования		
Общее количество часов (изделий)		Задон гистогр. линия отказов	
Номер прилагаемого			

Продолжение приложения I2

Вспомогательные величины и коэффициенты		
Нижняя доверительная граница среднего	ресурса	/
	срок службы	
Нижняя доверительная граница вероятности безотказной работы в течение t	наработки до отказа (на отказ)	
Требования к надежности по ТУ		
Заключение о соответствии изделий требованиям норм надежности		

Расчет произведен в соответствии с

Расчет проверил:

Расчет произвел:

11.08.90

Приложение I3

ПРИМЕРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОЦЕНОК ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

Пример I

Клапаны обратные в количестве 6 штук испытывались до 4-х последовательных отказов.

Клапаны наработали следующее количество циклов:

I200	I500	980	I420
880	I700	I200	920
I3I0	I400	950	I150
I020	I3I0	I750	850
940	I400	I220	I170
I500	I040	980	950

Требуется определить наработку на отказ и средний ресурс. Закон распределения клапанов наилучшим образом согласуется с нормальным законом распределения.

Расчет производим в соответствии с п.2.2.

Нижняя односторонняя доверительная граница средней наработки на отказ определяется по формуле

$$\hat{t}_n = \hat{\alpha} - Z_{\beta, N} \cdot \hat{\sigma}$$

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i = II98 \text{ ц}$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (t_i - \hat{\alpha})^2} = 259 \text{ ц}$$

тогда

$$\hat{t}_n = II98 - 0,269 \times 259 = II28 \text{ ц}$$

Средний ресурс определяем аналогично

$$\hat{\alpha} = 4790, \quad \hat{\sigma} = 219, \quad Z_{0.99; 6} = 0,602$$

$$\hat{t}_n = 4790 - 0,602 \times 219 = 4658 \text{ ц}$$

Средняя наработка на отказ составляет не менее 1128 ц.

Средний ресурс клапанов - не менее 4658 ц.

Пример 2

Задвижки клиновые в количестве 12 штук были поставлены на подконтрольную эксплуатацию. К моменту наблюдения все задвижки работоспособны и наработали по 700 циклов (24000 час).

Требуется определить среднюю наработку до отказа и вероятность безотказной работы в течение $t = 200$ ц.

Оценку производим в соответствии с п.3.2.

$$N = 12$$

$$T = 700 \text{ ц} (24000 \text{ час})$$

$$\beta = 0,90$$

Нижнюю одностороннюю доверительную границу средней наработки до отказа определяем по формуле

$$t_H = \frac{T}{1 - \sqrt{V} \cdot u_{\gamma}}$$

$$\delta = \sqrt{t - \beta}$$

$$\gamma = \sqrt{1 - 0,90} = 0,825$$

u_{γ} находим по таблице приложения 9

для $\gamma = 0,825$, $u_{\gamma} = 0,935$. Коэффициент вариации принимаем $V = 0,2$,

тогда

$$t_H = \frac{T}{1 - V u_{\gamma}} = \frac{700}{1 - 0,2 \times 0,935} = 861 \text{ цикл}$$

или

$$t_H = \frac{24000}{1 - 0,2 \times 0,935} = 29520 \text{ час}$$

Нижнюю одностороннюю доверительную границу вероятности безотказной работы за $t = 200$ циклов определим по формуле

$$P_H(t) = \Phi \left(\frac{t}{\sqrt{V}} (1 - \frac{200}{700}) + 0,935 \cdot \frac{200}{700} \right) = \Phi (3,83) = 0,9999$$

где $\Phi(x)$ - функция, определяемая по таблице приложения 7.

Нижняя доверительная граница средней наработки до отказа составляет 861 цикл (29520 ч).

Нижняя доверительная граница вероятности безотказной работы за $t = 200$ циклов составляет 0,9999.

Пример 3

Краны шаровые в количестве 15 штук испытывались на надежность. 4 крана отказали наработав: $t_1 = 520$ ц, $t_2 = 600$ ц, $t_3 = 830$ ц, $t_4 = 800$ ц.

Остальные наработали без отказов по 1000 циклов.

Требуется определить среднюю наработку до отказа и вероятность безотказной работы в течение 300 циклов.

Оценку показателей надежности проводим в соответствии с п.3.2.

$$T = 1000 \text{ ц} \quad N = 15 \quad d = 4$$

$$\text{Доверительная вероятность } \bar{p} = 0,90$$

$$\bar{T} = \frac{1}{d} \sum_{i=1}^d t_i = \frac{1}{4} (520 + 600 + 830 + 800) = 688 \text{ ц}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{d-1} \sum_{i=1}^d (t_i - \bar{T})^2 = \frac{1}{3} (168^2 + 88^2 + 142^2 + 112^2) = 22892$$

$$p = \frac{\sigma^2}{(688 - 1000)^2} = \frac{22892}{312^2} = 0,235$$

$$H = \frac{15 - 4}{15} = \frac{11}{15} = 0,733$$

По таблице приложения 9 определяем $K = 1,651$

Тогда

$$\hat{\alpha} = \bar{T} - K(\bar{T} - T) = 688 - 1,651 \cdot (688 - 1000) = 1203$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\sigma^2 + K(\bar{T} - T)^2} = \sqrt{22892 + 1,651^2 \cdot 312^2} = 423$$

Нижняя односторонняя доверительная граница средней наработки до отказа определяется по формуле

$$t_n = \hat{a}_1 - Z_{p,d} \hat{\sigma} = 1203 - 1,08 \times 428 = 740$$

Нижняя доверительная граница вероятности безотказной работы в течение 300 циклов составляет:

$$P_n(300) = \Phi \left(\frac{300 - 1203}{428} \right) = \Phi \left(\frac{-1,282}{1,282} \sqrt{\frac{1}{4} \left(1 + \frac{2,11^2}{2} \right)} \right) = \Phi(-3,26) = 0,9994$$

Средняя наработка до отказа - не менее 740 циклов.

Вероятность безотказной работы в течение 300 циклов - не менее 0,9994.

Пример 4

Под наблюдением находилось 27 регулирующих клапанов, из которых 6 отказали, а 21 изделие осталось работоспособным, причем наработали разное количество часов. Результаты наблюдений приведены в табл. I.

Определить среднюю наработку до отказа и вероятность безотказной работы за наработку $t = 8500$ часов.

Оценку показателей надежности проводят в соответствии с п. 4.2.

Таблица I

Наработки до отказа t_i (час)	Наработки до цензурирования t_j (час)
3600, 8500, 15300, 18700, 19550, 23800 $\gamma = 6$	17000, 17000, 21250, 21250, 21250, 21250, 21250, 21250, 38050, 38250, 38250, 38250, 38250, 38250, 38250, 38250, 51000, 51000, 51000, 51000, 51000 $n = 21$

27.08.90
27.08.90
120-90

I) Оценим параметры нормального распределения \hat{a} и \hat{b} в соответствии с п.4.2

$$A = \sum_{i=1}^n t_i + 0,64 \sum_{j=1}^n T_j = 89450 + 0,64 \cdot 712300 = 545322$$

$$B = \eta + 0,64 n = 6 + 0,64 \cdot 21 = 19,44$$

$$C = \sum_{i=1}^n t_i^2 + 0,64 \sum_{j=1}^n T_j^2 = 1,617632 \cdot 10^9 + 0,64 \cdot 2,73206 \cdot 10^{10} = 1,910282 \cdot 10^{10}$$

$$D = 0,8 n = 0,8 \cdot 21 = 16,8$$

$$E = 0,8 \sum_{j=1}^n T_j = 0,8 \cdot 712300 = 569840$$

Начальные значения оценок параметров \hat{a}_0 и \hat{b}_0 определим по уравнениям п.4.2.1, считая, что $\Delta_0 = 0$, $F_0 = 0$

$$\hat{b}_0 = \frac{(E - A D / B) + \sqrt{(E - A D / B)^2 + 4 \eta (C - A^2 / B)}}{2 \eta} =$$

$$= \frac{98574 \times 07 + 98574 \times 07^2 + 24(3,805697 \times 10^7)}{12} = 16806,41$$

$$\hat{a}_0 = \frac{A}{B} + \frac{\hat{b}_0}{B} = \frac{545322}{19,44} + \frac{16,8}{19,44} \cdot 16806,41 = 42575,59$$

Последующие приближения вычисляем по уравнениям п.4.2.1

Порядок решения представлен в табл.2.

Таблица 2

T_j	I-ое приближение		2-ое приближение	
	$Z_{j1} = \frac{T_j - \hat{a}_0}{\hat{b}_0}$	$\lambda(Z_{j1})$	$Z_{j2} = \frac{T_j - \hat{a}_1}{\hat{b}_1}$	$\lambda(Z_{j2})$
17000	-1,522	0,1277	-1,307	0,1829
21250	-1,269	0,2042	-1,180	0,2274
28050	-0,864	0,3465	-0,977	0,2971
38250	-0,257	0,6458	-0,673	0,4259
51000	0,501	1,1411	-0,293	0,6229

$$\Delta_1 = 2,146$$

$$\hat{\delta}_1 = 33509,43$$

$$F_1 = 48249,48$$

$$\hat{a}_1 = 60709,44$$

Для второго приближения:

$$\Delta_{j2} = \lambda_{j2} - 0,8 - 0,64 Z_{j2}$$

$$\Delta_{12} = 0,1829 - 0,820,67 \times 1,307 = 0,2586$$

$$\Delta_{32} = 0,2274 - 0,8 + 0,67 \times 1,18 = 0,2180$$

$$\Delta_{92} = 0,2971 - 0,8 + 0,67 \times 0,977 = 0,1517$$

$$\Delta_{102} = 0,4259 - 0,8 + 0,67 \times 0,673 = 0,0768$$

$$\Delta_{172} = 0,6229 - 0,8 + 0,67 \times 0,293 = 0,0192$$

$$\Delta_2 = \sum_{j=1}^{21} \Delta_{j2} = 0,2586 \times 2 + 0,2180 \times 6 + 0,1517 \times 1 + \\ + 0,0768 \times 7 + 0,0192 \times 5 = 2,6105$$

$$F_2 = \sum_{j=1}^{21} \Delta_{j2} T_j = 0,2586 \times 17000 \times 2 + 0,2180 \times 21250 \times 6 + \\ + 0,1517 \times 28050 \times 1 + 0,0768 \times 38250 \times 7 + \\ + 0,0192 \times 51000 \times 5 = 66301,78$$

$$\Delta_2 = 2,611$$

$$F_2 = 66301,78$$

$$\hat{\delta}_2 = 33956,28$$

$$\hat{a}_2 = 61955,41$$

$$\text{Так как } \left| \frac{33956,28 - 33509,43}{33509,43} \right| \leq 0,02$$

$$\left| \frac{61955,41 - 60709,44}{60709,44} \right| \leq 0,02,$$

то в качестве оценок параметров следует принять:

$$\hat{a}_2 = 61955,41$$

$$\hat{\delta}_2 = 33956,28$$

Несмешанные оценки параметров равны:

$$\hat{\sigma}_H = \hat{\delta}_2 \sqrt{\frac{2}{\chi^2_{n-1,0,5}}} = 33956,28 \sqrt{\frac{6}{3,36}} = 45375,98$$

РД 302-07-279-89

$$\hat{a}_H = \frac{A}{B} + \frac{(D + \Delta_2)}{B} \hat{\sigma}_H = \frac{545322}{19,44} + \frac{(16,8 + 2,61)}{19,44} \times 45375,98 = \\ = 73357,49$$

Тогда по формуле п.

$$\hat{t} = \hat{a}_H, \text{ то есть } \hat{t} = 73357 \text{ ч}$$

Нижнюю доверительную границу средней наработки до отказа определяем по формуле

$$\hat{t}_L = \hat{a} - Z_{\beta, 2} \cdot \hat{\sigma} = 73357 - 0,885 \times 45376 = 42274 \text{ ч}$$

Нижнюю одностороннюю доверительную границу вероятности безотказной работы за наработку $t = 8500$ ч определим по формуле

$$P_H(t) = \Phi \left(\hat{h} - U_p \sqrt{\frac{1}{\hat{\rho}} \left(1 + \frac{\hat{h}^2}{2} \right)} \right)$$

$$\hat{h} = \frac{8500 - 73357}{45375} = -1,43$$

$$t_c = 23800 \quad P(t_c) = \Phi \left(\frac{23800 - 73357}{45375} \right) = \Phi(-1,09) = 0,8621$$

$$\Psi = N(1 - P(t_c)) = 27 \cdot (1 - 0,8621) = 3,72$$

$$P_H(8500) = \Phi \left(-1,43 - 1,282 \sqrt{\frac{1}{3,72} \left(1 + \frac{(-1,43)^2}{2} \right)} \right) =$$

$$= \Phi(-2,37) = 0,9911$$

Средняя наработка до отказа регулирующих клапанов – не менее 42274 часов.

Вероятность безотказной работы в течение 8500 часов – не менее 0,99.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

I. Утвержден организацией

Исполнители: Г.В.Котылевский (начальник лаборатории),
 Э.П.Алексеева (руководитель темы),
 Т.Г.Потемкина (исполнитель).

Зарегистрирован _____
 за № _____ от _____ 1989 г.

2. Взамен ОСТ 26-07-862-86, ОСТ 26-07-818-88.

3. Ссылочные нормативно-технические документы

Обозначение НТД, на который дана ссылка	Номер пункта, подпункта, перечисления, приложения, таблицы
ГОСТ 27.002-89	п. I. I
ГОСТ 27.504-84	п. I. I

120-00 28.08.90
120-00 28.08.90

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ изме- не- ния	№ листа (страницы)			Номер доку- мента	Подпись	Дата внесе- ния из- менений	Дата введе- ния из- менения
	изме- нен- ного	заме- ненно- го	нового				

120-40 15.07.1990

СОДЕРЖАНИЕ

I. Общие требования	3
2. Оценка показателей надежности арматуры при отсутствии цензурирования (наработка до отказа, предельного состояния)	9
3. Оценка показателей надежности арматуры при однократном цензурировании	12
4. Оценка показателей надежности арматуры при многократном цензурировании	16
5. Оценка показателей надежности с учетом априорной информации	20
6. Требования к оформлению расчета показателей надежности	22
7. Приложение I. Обозначения, применяемые в стандарте ..	24
8. Приложение 2. Определение закона распределения отказов	26
9. Приложение 3. Методы выбраковки резко выделяющихся значений	33
10. Приложение 4. Проверка исходных данных на однородность	38
II. Приложение 5. Значение коэффициента $\chi_{\beta, n}^2$	54
12. Приложение 6. Значение коэффициента $Z_{\beta, n}$	56
13. Приложение 7. Значение функции $\Phi(X)$	57
14. Приложение 8. Квантиль нормального распределение U_g ..	60
15. Приложение 9. Значение коэффициента К	61
16. Приложение 10. Значение функции $\lambda(z_{j, k})$	63
17. Приложение 11. Значение коэффициента $\chi_{z-1, 0,5}^2$..	65
18. Приложение 12. Форма расчета показателей надежности ..	66
19. Приложение 13. Примеры расчета показателей надежности ..	68
20. Информационные данные	75
21. Лист регистрации изменений	76