ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
СОЮЗА ССР

НАДЕЖНОСТЬ В ТЕХНИКЕ

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПРИ МАЛОМ ЧИСЛЕ НАБЛЮДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ГОСТ 27.201—81

Издание официальное

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
Москва

Перепечатка воспрещена

РАЗРАБОТАН Министерством высшего и среднего специального образования СССР

Государственным комитетом СССР по стандартам

ИСПОЛНИТЕЛИ

Р. С. Судаков, д-р техн. наук; **И. О. Тескин**, д-р техн. наук; **Л. А. Лейфер**, канд. техн. наук; **А. И. Кубарев**, канд. техн. наук; **Е. А. Лапидус**; **Л. Н. Евстафьева**; **Л. Я. Колкота**; **И. З. Аронов**; **Н. А. Алымов**

ВНЕСЕН Министерством высшего и среднего специального образования СССР

Зам. министра **Н. С. Егоров**

УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26 марта 1981 г. № 1616

УДК 025.4.03 : 62—192 : 006.354 Группа Т51

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

НАДЕЖНОСТЬ В ТЕХНИКЕ

Оценка показателей надежности при малом числе наблюдений с использованием дополнительной информации

Общие положения

ГОСТ 27.201—81

Reliability in technics. Estimation of reliability indices in the case of a little number of observations. Basic provisions

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26 марта 1981 г. № 1616 срок введения установлен

с 01.07 1982 г.

Несоблюдение стандарта преследуется по закону

Настоящий стандарт распространяется на изделия машиностроения и приборостроения и их составные части, объемы выборок которых при оценке надежности меньше расчетного числа по ГОСТ 17510—79.

Стандарт устанавливает методические принципы оценивания показателей надежности по результатам испытаний или эксплуатационных наблюдений с использованием дополнительной информации.

Полученные оценки используются для внесения в нормативно-техническую документацию, при аттестации качества и в целях, указанных ГОСТ 16468—79.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Оценивание показателей надежности как изделия в целом, так и его составных частей проводится путем объединения экспериментальной информации, полученной в результате испытаний или эксплуатационных наблюдений (далее основной информации) и дополнительной информации, взятой из различного рода источников.

1.2. В качестве источников дополнительной информации следует использовать результаты:

анализа надежности при проектировании;

предыдущих испытаний изделий;

Издание официальное **Перепечатка воспрещена**

★

© Издательство стандартов, 1982

предыдущих испытаний составных частей изделий;

испытаний изделий-аналогов;

испытаний изделий, имеющих аналогичные составные части;

предыдущих эксплуатационных наблюдений за изделиями;

предыдущих эксплуатационных наблюдений за составными частями изделий;

предыдущих эксплуатационных наблюдений за изделиями-аналогами;

предыдущих эксплуатационных наблюдений за изделиями, имеющими аналогичные составные части.

1.3. Необходимость использования дополнительной информации и ее источники должны быть оговорены в техническом задании на сбор и обработку информации по ГОСТ 16468—79.

1.4. Значение неизвестного показателя надежности определяется в виде его точечной или интервальной оценок.

1.5. Под малым числом наблюдений понимается такая однородная выборка, количество членов которой меньше расчетного числа, необходимого для получения оценок с заданной точностью и достоверностью по ГОСТ 17510—79.

1.6. Точность оценки характеризуется величиной относительной ошибки при заданной доверительной вероятности (для интервальной оценки) и величиной дисперсии (для точечной оценки).

1.7. При сборе и обобщении данных должны использоваться стандартные формы учета по ГОСТ 17526—72 и ГОСТ 16468—79.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНИВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

2.1. В зависимости от вида дополнительной информации методы оценивания показателей надежности разбиты на три группы.

Классификация методов представлена на чертеже.

2.2. По виду математического аппарата, лежащего в основе методов, первая и вторая группы разбиты на две подгруппы.

2.3. Настоящий стандарт предполагает применение линейных, байесовских и эмпирических байесовских методов для определения точечных оценок показателей надежности и нелинейных — для определения точечных и интервальных оценок.

2.4. Теоретическое обоснование методов приведено в справочном приложении 1.

Примеры расчета приведены в справочном приложении 2.

Классификация методов оценивания показателей надежности с использованием дополнительной информации

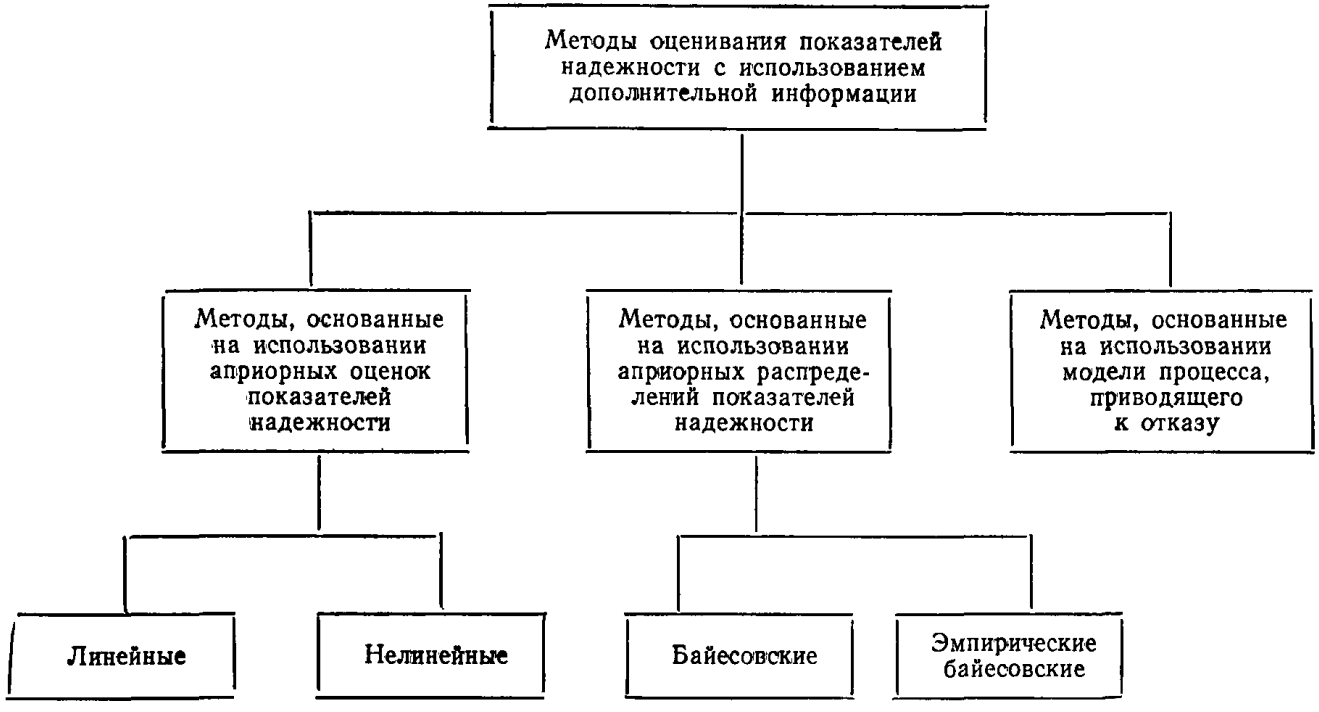


Таблица 1

Линейные методы оценивания показателей надежности, основанные на использовании априорных оценок этих показателей

Основная информация	Дополнительная информация	
	Априорные оценки показателя надежности U_a. Дисперсии априорных оценок показателя надежности $D\{U_a\}$	Оценка вероятности безотказной работы составных частей P_{ai} за время t_a Объемы составных частей, поставленных на испытания N_i
Экспериментальная оценка показателя надежности $U_э$ Дисперсия экспериментальной оценки показателя надежности $D\{U_э\}$	Метод Л1 $U_0=\frac{U_э+\varrho U_a}{1+\varrho}$ $D\{U_0\}=\frac{D\{U_э\}}{1+\varrho}$ $\varrho=\frac{D\{U_э\}}{D\{U_a\}}$	Метод Л2 $U_0=\frac{U_э+\varrho^*\sum_1^n U_{ai}}{1+\varrho^{**}}$ $D\{U_0\}=\frac{D\{U_э\}}{1+\varrho^*}$ $\varrho^*=\frac{D\{U_э\}}{\sum_1^n D\{U_{ai}\}}$
Экспериментальная оценка показателя надежности составных частей $U_{эi}$ Дисперсия экспериментальной оценки показателя надежности $D\{U_{эi}\}$	Метод Л3 $U_0=\frac{\sum_1^n U_{эi}+\varrho^{**}U_a}{1+\varrho^{**}}$ $D\{U_0\}=\frac{\sum_1^n D\{U_{эi}\}}{1+\varrho^{**}}$ $\varrho^{**}=\frac{\sum_1^n D\{U_{эi}\}}{D\{U_a\}}$	Метод Л4 $U_0=\sum_1^n\frac{U_{эi}+\varrho_i U_{ai}}{1+\varrho_i}$ $D\{U_0\}=\sum_1^n\frac{D\{U_{эi}\}}{1+\varrho_i}$ $\varrho_i=\frac{D\{U_{эi}\}}{D\{U_{ai}\}}$
Моменты отказов изделия в целом $\tau_1,\ldots,\tau_j,\ldots,\tau_N$ Моменты отказов составных частей изделия $\tau_{j1},\ldots,\tau_{ji}\ldots,\tau_{jm}$ Число отказов изделия r за время $T_э$ Число отказов составных частей r_i Число изделий, поставленных на испытание, N		Метод Л5 $P_0=P_э-\sum_{i=1}^m\frac{N_i}{N+N_i}\frac{B_i}{D_i}(P_{эi}-P_{ai})$ $D\{P_0\}=\frac{D\{P_э\}}{N}\left[1-\sum_{i=1}^m\frac{N_i}{N+N_i}\Phi(\beta_i^2)\right]$

3. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ ОЦЕНИВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

3.1. Линейные методы оценивания показателей надежности основаны на использовании априорных оценок этих показателей.

Исходная информация и расчетные формулы приведены в табл. 1.

3.1.1. Метод оценивания показателей надежности изделия с использованием априорной оценки данного показателя (метод Л1).

Метод применяется для оценивания всех показателей надежности, для которых получена точечная экспериментальная оценка и определена ее дисперсия.

3.1.2. Метод оценивания показателя надежности изделия с использованием априорных оценок показателей надежности составных частей (метод Л2).

Метод применяется для оценивания показателей надежности, для которых получена точечная экспериментальная оценка и определена ее дисперсия, при линейном соотношении между показателем надежности изделия U и показателями надежности его составных частей U_i в виде

$$U = \sum_{i=1}^{n} U_i,$$

где n — количество составных частей (элементов).

В рекомендуемом приложении 3 рассмотрены случаи, когда соотношение между показателями U и U_i можно представить в линейном виде.

3.1.3. Метод оценивания показателя надежности изделия на основе экспериментальных оценок показателей надежности составных частей с использованием априорной оценки данного показателя (метод Л3).

Метод применяется для оценивания показателя надежности изделия, для которого получены точечные экспериментальные оценки показателей надежности составных частей и их дисперсии, при линейном соотношении между показателями надежности изделия и показателями надежности его составных частей.

3.1.4. Метод оценивания показателя надежности изделия на основе экспериментальных оценок показателей надежности составных частей с использованием их априорных оценок (метод Л4).

Метод применяется для оценивания показателя надежности изделия, для которого получены точечные экспериментальные оценки показателей надежности составных частей и их дисперсии, при линейном соотношении между показателями надежности изделия и показателями надежности его составных частей.

3.1.5. Метод оценивания показателя надежности изделия по результатам испытаний изделия и его составных частей с исполь-

зованием априорных оценок показателей надежности составных частей (метод Л5).

Метод применяется для оценивания показателей надежности изделия, для которых по результатам испытания по плану [*NUT*] получены точечные оценки вероятности безотказной работы изделия в целом, его составных частей и их дисперсии.

3.1.6. В табл. 1 (метод Л5) используются вспомогательные величины:

$P_э$ — экспериментальная оценка вероятности безотказной работы изделия;

$P_{эi}$, P_{ai} — экспериментальная и априорная оценки вероятности безотказной работы составных частей;

$$\beta_i^2 = \frac{B_i^2}{D_i D\{P_э\}(N-1)};$$

$$D\{P_э\} = \frac{1}{N-1}\sum_{j=1}^{N}(x_j - P_э)^2;$$

$$x_j = \begin{cases} 0, \text{ при } \tau_j \geqslant T_э \\ 1, \text{ при } \tau_j < T_э, \end{cases}$$

$$B_i = \sum_{j=1}^{N}(x_j - P_э)\cdot(x_j^{(i)} - P_{ai});$$

$$D_i = \sum_{j=1}^{N}(x_j^{(i)} - P_{ai})^2.$$

3.2. Нелинейные методы оценивания показателей надежности основаны на использовании априорных оценок этих показателей.

Исходная информация и расчетные формулы приведены в табл. 2.

3.2.1. Метод оценивания показателей надежности изделия по результатам наблюдений по плану [*NUT*] с определением значений контролируемого параметра (метод НЛ1).

Метод применяется для определения точечной и интервальной оценок вероятности безотказной работы.

3.2.2. В табл. 2 (метод НЛ1) используются вспомогательные величины:

$$h_0 = \alpha\hat{h} + (1-\alpha)\tilde{h};$$

$$\alpha = \frac{\frac{1}{\tilde{N}}\left(1+\frac{1}{2}\tilde{h}^2\right)}{\frac{1}{N_э}+\frac{1}{\tilde{N}}+\frac{1}{2}\left(\frac{\hat{h}^2}{N_э}+\frac{\tilde{h}^2}{\tilde{N}}\right)}; \quad \tilde{h} = z_{pa};$$

z_γ — квантиль нормированного нормального распределения уровня γ.

$$\tilde{N}=E\left\{\frac{z_\gamma\left(1+\frac{1}{2}z_{p_a}^2\right)}{(z_{p_a}-z_{\underline{p}_a})^2}\right\},\ E(y)\text{— целая часть } y,$$

$\Phi(\ldots)$ — интеграл Лапласа;

Таблица 2

Нелинейные методы оценивания показателей надежности, основанные на использовании априорных оценок этих показателей

Основная информация	Дополнительная информация Число изделий, находящихся под наблюдением, N_a Число отказов r за время $T_э$
Значения контролируемого параметра в момент окончания испытаний $(x_1, \ldots, x_{Nэ})$ Число испытываемых изделий $N_э$	Метод НЛ1 $P_0=\Phi(h_0)$; $\underline{P}_0=\Phi\left(h_0-z_\gamma\frac{\sqrt{1+\frac{1}{2}h_0^2}}{\sqrt{N_э+\tilde{N}-1}}\right)$
Число испытываемых изделий $N_э$ Число отказов r	Методы НЛ2—НЛ5 $P_0=qP_a+(1-q)P_э$ $\underline{P}_0=P_0-\frac{(P_a-\underline{P}_a)(P_э-\underline{P}_э)}{\sqrt{(P_a-\underline{P}_a)-(P_э-\underline{P}_э)^2}}$ $\delta=\left\lvert\frac{P_0-\underline{P}_0}{P_0}\right\rvert$
Число испытываемых изделий $N_э$ Момент последнего отказа τ_r	
Число испытываемых изделий $N_э$ Число отказов r Моменты отказов изделий $\tau_1, \ldots, \tau_r$	
Число испытываемых изделий $N_э$ Моменты отказов изделий $\tau_1, \ldots, \tau_r$	

$$\hat{h}=\frac{b-\hat{\mu}}{\hat{\sigma}};\ \hat{\mu}=\frac{1}{N_э}\sum_{i=1}^{N_э}x_i;$$

$$\hat{\sigma}=\sqrt{\frac{1}{N_э-1}\sum_{i=1}^{N_э}(x_i-\hat{\mu})^2};$$

$P_а$, $\underline{P}_а$ — априорные точечные оценки и нижняя доверительная граница вероятности безотказной работы изделия, которые определяются по априорным данным $N_а$ и r;

x — случайный параметр, распределенный по нормальному закону;

b — заданный допустимый уровень изменения x;

δ — относительная ошибка.

3.2.3. Метод оценивания показателей надежности изделия по результатам наблюдений по плану $[NRT]$ с определением числа отказов (метод НЛ2).

Метод применяется для определения точечной и интервальной оценок вероятности безотказной работы при условии, что наработка между отказами подчиняется экспоненциальному распределению.

3.2.4. В табл. 2 (методы НЛ2—НЛ5) используются вспомогательные величины

$$P_э=e^{-\hat{\lambda}T_э};\ \underline{P}_э=e^{-\bar{\lambda}T_э};$$

$$q=\frac{(P_э-\underline{P}_э)^2}{(P_а-\underline{P}_а)^2+(P_э-\underline{P}_э)^2},$$

где $P_э$, $\underline{P}_э$ — экспериментальные точечная оценка и нижняя доверительная граница вероятности безотказной работы изделия.

Величины параметров $\hat{\lambda}$ и $\bar{\lambda}$ определяются по формулам, приведенным в табл. 3.

3.2.5. Метод оценивания показателей надежности изделия по результатам наблюдений по плану $[NRr]$ с определением наработки до отказа (метод НЛ3).

Метод применяется для определения точечной и интервальной оценок вероятности безотказной работы при условии, что наработка до отказа подчиняется экспоненциальному распределению.

3.2.6. Метод оценивания показателей надежности изделия по результатам наблюдений по плану $[NUT]$ с определением моментов отказов (метод НЛ4).

Таблица 3

Формулы расчета $\hat{\lambda}$ и $\bar{\lambda}$

Методы оценивания	НЛ2	НЛ3	НЛ4	НЛ5
Оценка $\hat{\lambda}$	$\hat{\lambda}=\frac{r}{N_э\ T_э}$	$\hat{\lambda}=\frac{r-1}{N_э\ \tau_r}$	$\hat{\lambda}=\frac{r}{\sum\limits_{i=1}^{r}\tau_i+(N_э-r)T_э}$	$\hat{\lambda}=\frac{r-1}{\sum\limits_{i=1}^{r}\tau_i+(N_э-r)\tau_r}$
Оценка $\bar{\lambda}$	$\bar{\lambda}=\frac{1}{2N_э}\chi^2_\gamma(2r+2)$	$\bar{\lambda}=\frac{1}{2N_э r}\chi^2_\gamma(2r)$	$\bar{\lambda}=\frac{1}{T_э}\times \ln\frac{2N_э}{2N_э-\chi^2_\gamma(2r+2)}$	$\bar{\lambda}=\frac{\chi^2_\gamma(2r)}{2[\sum\limits_{i=1}^{r}\tau_i+(N_э-r)\tau_r]}$

Метод применяется для определения точечной и интервальной оценок вероятности безотказной работы при условии, что наработка на отказ подчиняется экспоненциальному закону распределения.

3.2.7. Метод оценивания показателей надежности изделия по результатам наблюдений по плану [*NUr*] с определением наработки до отказа (метод НЛ5).

Метод применяется для определения точечной и интервальной оценок вероятности безотказной работы при условии, что наработка на отказ подчиняется экспоненциальному закону распределения.

3.2.8. Метод оценивания показателей надежности изделия по результатам наблюдений по плану [NMT_Σ] с определением числа отказов (метод НЛ6).

Метод применяется для определения точечной оценки параметра потока отказов при условии, что поток отказов простейший.

Исходная информация и расчетные формулы приведены в табл. 4.

Таблица 4

Основная информация	Дополнительная информация Априорная оценка w_a Дисперсия $D\{w_a\}$
Суммарное число отказов r_Σ Суммарная наработка T_Σ	Метод НЛ6 $w_0 = \frac{1}{2}(w_a - T_\Sigma D\{w_a\} + \sqrt{\frac{1}{2}(w_a - T_\Sigma D\{w_a\})^2 + r_\Sigma D\{w_a\}}$ $D\{w_0\} = \frac{T_\Sigma D^2\{w_a\}}{T_\Sigma D\{w_a\} + w_0}$

3.3. Байесовские методы оценивания показателей надежности изделия основаны на использовании априорных распределений показателей надежности.

Исходная информация и расчетные формулы приведены в табл. 5.

3.3.1. Метод оценивания параметра потока отказов по результатам наблюдений по плану [*NUT*] при усеченно-нормальном априорном распределении параметра (метод Б1).

Метод применяется при следующих предположениях:

поток отказов простейший;

вероятность появления отказов r за время наблюдений описывается законом Пуассона

$$\varphi(r/\lambda)=\frac{(\lambda S)^r e^{-\lambda S}}{r!};$$

априорное распределение показателя λ усеченно-нормальное

$$f(\lambda)=Ae^{\frac{-(\lambda-h)^2}{2\sigma^2}}.$$

3.3.2. В табл. 5 (метод Б1) используются вспомогательные величины:

$$I_r=\int_0^\infty \lambda^r \exp\left\{-\frac{(\lambda+\beta)^2}{2}\right\}d\lambda;$$

$$\beta=\frac{k\xi-1}{\sqrt{k}};\ k=\frac{\sigma^2}{h^2};\ \xi=h\cdot T_\Sigma.$$

3.3.3. Метод оценивания средней наработки до отказа изделия по результатам наблюдений по плану [*NUN*] при нормальном априорном распределении параметра (метод Б2).

Метод применяется при следующих предположениях:

моменты отказов каждого изделия $\tau_1, \tau_2, \ldots, \tau_N$ распределены по нормальному закону:

$$\varphi(\tau)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_\tau^2}}\exp\left\{-\frac{(\tau-\overline{\tau})^2}{2\sigma_\tau^2}\right\};$$

априорный закон распределения $\overline{\tau}$ — нормальный:

$$f(\overline{\tau})=\frac{1}{\sqrt{2\pi D\{\overline{\tau}\}}}\exp\left\{-\frac{(\overline{\tau}-\tau_0)^2}{2D\{\overline{\tau}\}}\right\}.$$

3.4. Эмпирические байесовские методы оценивания показателей надежности изделия основаны на использовании априорных распределений показателей надежности.

Методы применяются для оценивания показателей надежности изделия и его составных частей, когда неизвестное априорное распределение данного показателя определяется на основе экспериментальной информации.

3.4.1. Метод оценивания параметра потока отказов по результатам испытаний с использованием данных эксплуатации (метод ЭБ1).

Таблица 5

Байесовские и эмпирические байесовские методы

Основная информация	*Дополнительная информация*		
	Усеченно-нормальное априорное распределение параметра потока отказов	Нормальное априорное распределение средней наработки до отказа	Оценки показателя в каждом эксплуатационном режиме число режимов в $\hat{\lambda}_j$ число изделий в каждом режиме m_j
Числю отказов r Суммарное время испытаний T_Σ	Метод Б1 $\lambda = \frac{I_{r+1}}{I_r}$ $D_r = \frac{I_{r+2}}{I_r} - \left(\frac{I_{r+1}}{I_r}\right)^2$	—	—
Число изделий N Моменты отказов каждого изделия $\tau_1, \ldots, \tau_N$ распределены по нормальному закону с параметрами $\overline{\tau}$, σ_τ^2	—	Метод Б2 $T_0 = \frac{\tau_0\sigma_\tau^2 + \sum_{i=1}^{N}\tau_i D\{\overline{\tau}\}}{\sigma_\tau^2 + ND\{\overline{\tau}\}}$ $D = \frac{D\{\overline{\tau}\}\cdot\sigma_\tau^2}{\sigma_\tau^2 + ND\{\overline{\tau}\}}$	—
Число изделий N Суммарная наработка T_Σ	—	—	Метод ЭБ1 $\lambda_0 = \frac{\hat{\lambda}_{\text{исп}}}{\theta_{\text{исп}}} \sum_{j=1}^{k} \theta_j C_j$ $D\{\lambda_0\} = RS^2_{\text{исп}}$

Метод применяется при обработке результатов определительных испытаний, когда известна информация об отказах данного изделия, полученных в различных условиях эксплуатации.

Исходная информация и расчетные формулы приведены в табл. 5.

3.4.2. В табл. 5 (метод ЭБ1) используются вспомогательные величины:

$$\hat{\lambda}_{\text{исп}} = \frac{N}{T_\Sigma};$$

$$\Theta_j = (1 + \rho_j\, \rho_{\text{исп}}) \sqrt{\frac{N}{1+\varrho^2_{\text{исп}}}};$$

$$\Theta_{\text{исп}} = (1+\rho^2_{\text{исп}}) \sqrt{\frac{N}{1+\varrho^2_{\text{исп}}}};$$

$$\rho_j = (k)^{0,2} \frac{\hat{\lambda}_j}{\bar{\lambda}};\ \rho_{\text{исп}} = \frac{\hat{\lambda}_{\text{исп}}}{\bar{\lambda}};$$

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{k+1}\left(\hat{\lambda}_{\text{исп}} + \sum_{j=1}^{k} \hat{\lambda}_j\right);$$

$$c_j = \frac{\Phi(a_j)}{\sum\limits_{j=1}^{k} \Phi(a_j)};$$

$$a_j = \sqrt{\frac{N}{1+\varrho^2_{\text{исп}}}}\,(\rho_j - \rho_{\text{исп}});$$

$$S^2_{\text{исп}} = \frac{\hat{\lambda}_{\text{исп}}}{T_\Sigma};$$

$$z = \frac{\lambda^2}{N S^2_{\text{исп}}};\ R = b + (1-b) e^{-S(N-1)}.$$

Значения b, S по z и N приведены соответственно в табл. 6 и 7.

3.5. Метод оценивания показателей надежности изделий, основанный на использовании модели процесса, приводящего к отказу.

Метод применяется для оценки среднего ресурса и вероятности безотказной работы по результатам измерения контролируемого

параметра с использованием математической модели процесса, описывающей изменение параметра во времени.

Таблица 6

N	z								
	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
3	—	—	0,191	0,191	0,191	0,191	0,164	0,164	0,164
5	—	0,417	0,417	0,311	0,311	0,232	0,198	0,165	0,165
7	—	0,561	0,561	0,415	0,415	0,360	0,286	0,211	0,211
10	0,666	0,623	0,580	0,498	0,418	0,386	0,297	0,255	0,256
15	0,756	0,708	0,660	0,571	0,504	0,454	0,397	0,340	0,281
20	0,830	0,756	0,690	0,637	0,534	0,480	0,405	0,349	0,286
25	0,854	0,791	0,729	0,674	0,572	0,532	0,410	0,355	0,311
30	0,898	0,831	0,764	0,690	0,580	0,556	0,410	0,362	0,326
40	0,914	0,851	0,797	0,746	0,624	0,574	0,449	0,391	0,359

Таблица 7

N	z								
	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
3	—	—	0,430	0,430	0,430	0,470	0,470	0,470	0,470
5	—	0,327	0,327	0,375	0,375	0,433	0,445	0,455	0,455
7	—	0,303	0,303	0,378	0,378	0,421	0,433	0,446	0,446
10	0,170	0,187	0,204	0,257	0,321	0,392	0,420	0,436	0,436
15	0,158	0,174	0,179	0,255	0,316	0,356	0,383	0,415	0,430
20	0,140	0,158	0,152	0,245	0,275	0,308	0,354	0,387	0,422
25	0,117	0,125	0,134	0,176	0,250	0,291	0,326	0,342	0,388
30	0,109	0,109	0,110	0,126	0,220	0,260	0,302	0,335	0,342
40	0,109	0,109	0,110	0,126	0,220	0,260	0,302	0,335	0,342

Исходная информация и расчетные формулы приведены в табл. 8.

Таблица 8

Основная информация	Дополнительная информация
	Математическая модель, описывающая изменение контролируемого параметра во времени в виде случайной функции с линейно-меняющимся математическим ожиданием
Значения контролируемого параметра ($I_1, \ldots, I_к$), измеренные через равный интервал времени Δ Число изделий N	$P_0=\Phi\left[\frac{y^*-mt}{(A_1t+A_2t^2)^{1/2}}\right]-\Phi\left[\frac{y^*-y_0}{(A_1t+A_2t^2)^{1/2}}\right]$ $T_р=\frac{y^*-y_0}{m}$

В табл. 8 используются вспомогательные величины:

y^* — предельно допустимое значение износа;

y_0 — начальное значение износа;

$$m = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} I_j;$$

I_j — оценка средней интенсивности изнашивания j-го изделия, определяемая по формуле

$$I_j = \frac{\sum_{i=1}^{k} h_i^{(j)}}{\Delta k}, \quad h_i^{(j)} = y_i^{(j)} - y_{i-1}^{(j)};$$

Δ — интервал измерений;

$$A_1 = \frac{1}{(k-1)N}\sum_{i=1}^{k-1}\sum_{j=1}^{N} z_i^{(j)};$$

$$A_2 = \left(\frac{\Delta^*}{dN}\right)^2;$$

$$z_i^{(j)} = (\eta_i^{(j)} - I_j\Delta)^2;$$

Δ^* — разность между максимальным и минимальным значениями интенсивности износа в последовательности k измерений

$N=1$; $d=1{,}1$;

$N=3$; $d=1{,}7$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Справочное

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ

1. Линейные методы оценивания показателей надежности изделий, основанные на использовании априорных оценок

1.1. Задача объединения экспериментальной $U_э$ и априорной $U_а$ оценок с целью уточнения сводится к нахождению функции

$$U_0=\varphi(U_э,\ U_а),$$

которая была бы наилучшей объединенной оценкой неизвестного показателя надежности (ПН) U.

Пусть $U_э$ и $U_а$ — несмещенные оценки показателя U с дисперсиями $D\{U_э\}$ и $D\{U_а\}$.

Объединенная оценка U_0 ищется в классе линейных несмещенных оценок при условии, что дисперсия этой оценки минимальная среди всех несмещенных оценок.

В [1] получены выражения для объединенной оценки и ее дисперсии. Данные результаты являются основой метода Л1 [2].

1.2. Данная процедура объединения может быть применена при оценке ПН многокомпонентного изделия, состоящего из n составных частей. Предполагается, что ПН изделия и ПН его составных частей связаны между собой линейным соотношением

$$U=\sum_{i=1}^{n} U_i,$$

где n — количество составных частей (элементов).

В качестве исходной информации используется априорная и экспериментальная оценка ПН составных частей изделия.

В соответствии с методом Л1 табл. 1 настоящего стандарта уточненная оценка показателя U и ее дисперсия имеют вид:

$$U_0=\frac{\sum\limits_{1}^{n}U_{эi}+\varrho\sum\limits_{1}^{n}U_{аi}}{1+\varrho};$$

$$D\{U_0\}=\frac{\sum\limits_{1}^{n}D\cdot\{U_{эi}\}}{1+\varrho}.$$

Полученные результаты легли в основу методов Л2, Л3.

1.3. Метод Л4 основан на применении поэлементной процедуры объединения априорных и экспериментальных оценок ПН составных частей в предположении (1) [3].

Сущность метода состоит в том, что априорные оценки каждого элемента первоначально объединяются с экспериментальными оценками $U_{эi}$ этих элементов, а показатель изделия в целом определяется через уточненные оценки U_{0i}. Выражения для объединенной оценки и ее дисперсии приведены в [2].

1.4. Метод Л5 применяется при объединении информации, если в качестве априорных данных используются результаты испытаний упрощенной модели данного изделия.

Выражения для объединенной оценки вероятности безотказной работы и ее дисперсия приведены в [4].

В основу алгоритма совместной обработки результатов текущих испытаний изделия и априорных оценок ПН положен метод зависимых испытаний [5].

Принципиально метод может быть использован для оценки любого ПН изделия.

2. Нелинейные методы оценивания ПН изделий, основанные на использовании априорных оценок этих показателей

В качестве априорной информации используются результаты предыдущих испытаний, проведенных по другим планам.

При объединении такого вида исходной информации предлагается метод «эквивалентных оценок» [6].

Суть этого метода поясним для случая, когда в качестве основной информации используются результаты испытаний с замером контролируемого параметра x. На основании этой информации найдены оценки $P_э$ и $\underline{P}_э$.

В качестве априорной информации выступают результаты испытаний по плану $[NUT]$ того же изделия в виде N и n, на основе которых найдены оценки $P_а$ и $\underline{P}_а$ (причем $\underline{P}_э$ и $\underline{P}_а$ отвечают одной и той же доверительной вероятности).

Как в первом, так и во втором случаях между оценками $P_а$, $\underline{P}_а$ и результатами испытаний m, h имеется взаимно однозначное соответствие.

Следовательно, зная пару чисел P и $\underline{P}$ — точечную и интервальную оценки параметра P, можно однозначно определить пару чисел m, h или (N, n) в зависимости от того, с каким планом испытания связан конечный результат. Тем самым имеется возможность установить взаимно однозначное соответствие между точками плоскости с координатами (m, h), (N, n), а следовательно, и делать эквивалентный переход от одного способа задания информации к другому.

Выражения для объединенной оценки вероятности безотказной работы для различных планов испытаний приведены в [7]. Данные результаты являются основой методов НЛ2, НЛ3, НЛ4. НЛ5. Выражения для объединенной оценки параметра потока отказов (метод НЛ6) приведены в [8].

3. Байесовские методы оценивания ПН изделия, основанные на использовании априорных распределений

Предполагается известным априорное распределение параметра U, которое задается в виде плотности вероятности $f(u)$.

По результатам испытаний определяется оценка параметра в виде

$$U_0 = \frac{\int_0^\infty y\varphi(y/u)f(u)du}{\int_0^\infty \varphi(y/u)f(u)du},$$

где $\varphi(y/u)$ — условная плотность вероятности результатов испытаний y.

Такой подход позволяет использовать дополнительные сведения о надежности испытываемого изделия, полученные в процессе предварительных исследований или в результате предшествующих испытаний, и повысить тем самым точность экспериментальной оценки.

Различные частные случаи рассмотрены в [8], на основе которых разработаны методы Б1 и Б2.

4. Эмпирические методы оценивания ПН изделия, основанные на использовании априорных распределений

При эмпирическом байесовском подходе [9, 10] априорное распределение оцениваемого параметра не предполагается известным [11].

Не предполагается также известным и семейство, к которому принадлежит это распределение. Это неизвестное априорное распределение оценивается эмпирически, то есть на основании последовательности данных эксплуатации в различных режимах.

При увеличении объема данных, полученных при различных режимах, а также увеличении числа режимов эмпирический байесовский метод позволяет с большей точностью проводить оценивание параметров надежности.

В основе используемого метода лежат следующие допущения:

данные об отказах в различных режимах являются статистически независимыми от результатов испытаний;

параметр надежности — статистически независимая в различных режимах, наблюдаемая случайная величина из одного и того же априорного распределения. Основные выражения для объединенной оценки, приведенные в [11], легли в основу метода ЭБ1.

5. Метод оценивания показателей надежности изделий, основанный на использовании модели процесса, приводящего к отказу

В качестве математической модели $y(t)$, описывающей изменение контролируемого параметра во времени, возьмем случайную функцию с линейно изменяющимся математическим ожиданием

$$y(t)=\int_0^t(\xi(t)+\xi)dt,$$

где $\xi(t)$ — белый шум с нулевым математическим ожиданием и известным коэффициентом интенсивности A_1;

ξ — случайная величина, характеризующая неоднородность испытываемых изделий, ее математическое ожидание равно I, а дисперсия A_2.

Если $y(t)$ описывает процесс износа, I — средняя интенсивность изнашивания и дисперсия $y(t)$ равны [12].

$$D\{y\}=A_1+A_2t^2.$$

Выражения для неизвестных характеристик I, A_1, A_2, вычисленных по результатам сокращенных испытаний [13], приведены в [14].

По результатам измерений одной реализации $y(t)$ можно получить несмещенные состоятельные оценки лишь I и A_1. Для получения состоятельной оценки A_2 необходимо исследовать несколько реализаций $y(t)$ и оценить A_2 методом максимального размаха [15].

Необходимо отметить, что на практике обычно непрерывные измерения величины износа невозможны, поэтому используется дискретная модель измерения контролируемого параметра

$$y_n^j(t) = \sum_{i=1}^{n} \eta_i^j,$$

где

$$\eta_i^j = \eta_i + \eta^j,$$

η_i — дискретная последовательность, образованная из белого шума;
η^j — случайная величина.
Полученные результаты легли в основу методов п. 3.5 [16]

ЛИТЕРАТУРА

1. Закс Ш. Теория статистических выводов. М., «Мир», 1975.
2. Рекомендации по обработке результатов определительных испытаний изделий малой выборки с использованием расчетных данных.—Горький, Горьковский филиал ВНИИНМАШ, 1977.
3. Лапидус Е. А., Лейфер Л. А. Поэлементный метод оценки надежности сложных изделий по результатам сокращенных испытаний. — Надежность и контроль качества. 1978, № 7.
4. Рекомендации по повышению точности оценки показателей надежности сложных изделий с использованием зависимых испытаний составных частей. Горький. Горьковский филиал ВНИИНМАШ, 1977.
5. Прохоренко В. А., Голиков В. Ф. Учет априорной информации при оценке надежности. Минск, «Наука и техника», 1979.
6. Тескин О. И., Алымов Н. И. Сравнение точных и приближенных доверительных границ для некоторых показателей надежности. Надежность и контроль качества, 1977, № 7.
7. Методика. Надежность в технике. Методы оценки надежности по малой выборке. Экспериментальная оценка надежности технических систем с использованием данных предыдущих испытаний и эксплуатации составных частей. Горький, Горьковский филиал ВНИИНМАШ, 1978.
8. Лейфер Л. А. Методы оценки надежности по результатам испытаний по сокращенным программам. М., «Знание», 1971.
9. Robbins H. An empirical Bayes approach to statistickal deeision, problems — Ann, Math Statistics, 1964, 95, N 1.
10. Martz H. F. Pooling life—test data by means of the empirical Raues Method—IEEE Frans. Rel., Vol. R—24, Anpil, 1975.
11. Рекомендации по обработке результатов определительных испытаний изделий малой выборки с использованием данных эксплуатации. Горький, Горьковский филиал ВНИИНМАШ, 1977.
12. Стратонович Р. Л. Избранные вопросы теории флюктуаций в радиотехнике. М.. «Сов. радио», 1961.
13. Рекомендации по использованию дополнительной информации для сокращения времени испытаний на надежность. Горький, Горьковский филиал ВНИИНМАШ, 1974.

14. Лейфер Л. А., Илларионов А. И. Применение косвенного метода для определения характеристик надежности. «Техническая кибернетика», 1974, № 2.

15. Шор Я. Б. Статистические методы контроля качества и надежности. М., «Сов. радио», 1962.

16. Методика обработки результатов испытаний по малой выборке при стационарном изнашивании с использованием информации о динамике процесса накопления износа. Горький, Горьковский филиал ВНИИНМАШ, 1975.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Справочное

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЯ

Пример 1

Требуется рассчитать по результатам выборочной дефектации среднюю наработку до отказа t стального тройника, входящего в состав судового трубопровода и работающего на заборной речной воде.

В соответствии с имеющимися методиками расчета надежности элементов судовых трубопроводов был проведен аналитический расчет показателя исследуемого тройника и найдены t_a, $D\{t_a\}$.

Априорные и экспериментальные данные для средней наработки до отказа t стального тройника приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные

	Априорные данные	Экспериментальные данные
t	$t_a=3{,}35$ (год)	$t_э=2{,}64$ (год)
$D\{t\}$	$D\{t_a\}=0{,}14$ (год^2)	$D\{t_э\}=0{,}36$ (год^2)

Расчет объединенной оценки средней наработки до отказа производится методом Л1:

вычисляется

$$\varrho=\frac{D\{t_э\}}{D\{t\}}=\frac{0{,}36}{0{,}14}\approx 2{,}6,$$

по данному ϱ находится оценка

$$t_0=\frac{t_э-\varrho t_a}{1+\varrho}=\frac{2{,}64+2{,}6\cdot 3{,}35}{1+2{,}6}=3{,}25\ (\text{год});$$

вычисляется дисперсия

$$D\{t_0\}=\frac{D\{t_э\}}{1+\varrho}=\frac{0{,}36}{1+2{,}6}=0{,}10\ (\text{год}^2).$$

Пример 2

Требуется рассчитать по результатам коррозионных испытаний объединенную оценку интенсивности отказов судового трубопровода, состоящего из пяти последовательно соединенных элементов.

Априорные и экспериментальные данные по интенсивности отказов каждого элемента приведены в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные

Номер элемента	Априорные данные		Экспериментальные данные	
	λ_{ai} (год$^{-1}$)	$D\{\lambda_{ai}\}\cdot 10^{3}$ (год$^{-2}$)	$\lambda_{эi}$ (год$^{-1}$)	$D\{\lambda_{эi}\}\cdot 10^{-3}$(год$^{-2}$)
1	0,20	0,20	0,23	0,31
2	0,15	0,10	0,16	0,26
3	0,30	0,15	0,38	0,08
4	0,20	0,35	0,18	0,15
5	0,05	0,20	0,11	0,22

Расчет объединенной оценки интенсивности отказов трубопровода в целом Λ_0 проводится методом Л4:

вычисляется объединенная оценка λ_{0i} и ее дисперсия $D\{\lambda_{0i}\}$ для каждого элемента. Результаты представлены в табл. 3;

Таблица 3

Результаты расчета

Номер элемента	ρ_i	$\frac{1}{1+\rho_i}$	λ_{0i}	$D\{\lambda_{0i}\}\cdot 10^{-3}$
1	1,55	0,38	0,21	0,12
2	2,6	0,28	0,15	0,07
3	0,53	0,65	0,35	0,05
4	0,45	0,69	0,19	0,10
5	1,2	0,45	0,08	0,10

определяется объединенная оценка

$$\Lambda_0 = \sum_{i=1}^{5} \lambda_{0i} = 0{,}98 \text{ (1/год)};$$

вычисляется дисперсия

$$D\{\Lambda_0\} = \sum_{i=1}^{5} D\{\lambda_{0i}\} = 0{,}44 \cdot 10^{-3} \text{ (1/год}^2\text{)}.$$

Пример 3

Требуется рассчитать по результатам испытаний 10 радиорелейных станций (РРС) оценки вероятности безотказной работы в течение 80 ч. РРС состоит из трех частей: приемное устройство, передающее устройство и блок питания. Отказ любой из них приводит к отказу всего изделия.

Данным испытаниям изделий предшествовали автономные испытания двух частей в течение $T=80$ ч, в результате которых получено

$$\overline{T}=80 \text{ ч};\ P_{a_1}=0,64;\ N_1=50;\ P_{a_2}=0,82;\ N_2=50.$$

Таблица 4

Номер изделия j	Момент отказа изделия τ_j	Момент отказа I части $\tau_j^{(1)}$	Момент отказа II части $\tau_j^{(2)}$	Момент отказа III части $\tau_j^{(3)}$
1	4	4	—	—
2	276	276	—	—
3	278	278	—	—
4	181	181	—	—
5	146	—	146	—
6	148	148	—	—
7	50	50	—	—
8	68	—	—	68
9	273	273	—	—
10	66	—	66	6

Используя данные табл. 4, получим

$$P_э=\frac{6}{10}=0,6;\ P_{э_1}=\frac{8}{10}=0,8;\ P_{э_2}=\frac{9}{10}=0,9;$$

$$D_р=\frac{1}{9}\sum_{j=1}^{10}(x_j-0,6)^2=0,27.$$

Расчет объединенной оценки вероятности безотказной работы производится методом Л5:

вычисляются коэффициенты B_l, D_l.

$$B_1=\sum_{j=1}^{10}(x_j-0,6)\ (x_j^{(1)}-0,64)=1,26;$$

$$B_2=\sum_{j=1}^{10}(x_j-0,6)\ (x_j^{(2)}-0,82)=0,60;$$

$$D_1=\sum_{j=1}^{10}(x_j^{(1)}-0,64)^2=1,86;$$

$$D_2=\sum_{j=1}^{10}(x_j^{(2)}-0,82)^2=0,96;$$

определяется оценка P_0

$$P_0=0,6-0,83\left[\frac{1,26}{1,86}(0,8-0,64)+\frac{0,6}{0,96}(0,9-0,82)\right]=0,47.$$

вычисляется дисперсия оценки P_0

$$\beta_1^2=\frac{(1,26)^2}{1,856\cdot 0,27\cdot 9}=0,323;\ \beta_2^2=\frac{(0,6)^2}{0,964\cdot 0,27\cdot 9}=0,156;$$

$$D\{P_0\}=\frac{0,27}{10}[1-0,833(0,29+0,14)]=0,017.$$

Пример 4

Требуется рассчитать по результатам испытаний по биномиальному плану ($N=20$; $n=1$), объединенную оценку вероятности безотказной работы.

Данным испытаниям предшествовали испытания 10 изделий по плану [*NUT*].

Априорные и экспериментальные данные для вероятности безотказной работы приведены в табл. 5.

Таблица 5

	Априорные данные	Экспериментальные данные
P	$P_а=0,95$	$P_э=0,9$
$\underline{P}$	$\underline{P}_а=0,81$	$\underline{P}_э=0,768$

Расчет объединенной оценки вероятности безотказной работы изделия производится методом НЛ1:

вычисляются значения $\tilde{h}$, $\tilde{N}_1$, h_0, при $\gamma=0,9$;

$$\hat{h}=1,28;\ \tilde{h}=1,65;\ \tilde{N}=16;\ h_0=1,594;$$

определяются объединенные оценки P_0 и $\underline{P}_0$:

$$P_0=0,945;\ \underline{P}_0=0,866;$$

вычисляется относительная ошибка δ

$$\delta=\left|\frac{P_0-\underline{P}_0}{P_0}\right|=0,083.$$

Пример 5

Требуется рассчитать оценку параметра потока отказов по результатам испытания агрегата наддува топливной системы силовых установок.

При испытаниях агрегата были определены значения наработок между отказами. Эти значения и эксплуатационные данные представлены в табл. 6.

Таблица 6

Исходные данные

Информация	Наработка между отказами, ч
Априорные данные	15, 27, 27, 41, 46, 58, 93, 107, 119, 123, 141, 153, 157, 184, 239 1, 21, 25, 41, 43, 45, 47, 49, 68, 122, 144, 195, 227, 269, 302
Экспериментальные данные	2, 7, 9, 22, 34, 36, 44, 49, 56, 64, 70, 97, 144, 240, 331

В соответствии с методом ЭБ1 проводятся предварительные вычисления

$$\hat{\lambda}_1=986\cdot 10^{-5};\ \gamma_1=11{,}76\cdot 10^{-5}$$

$$\hat{\lambda}_2=938\cdot 10^{-5};\ \gamma_2=11{,}12\cdot 10^{-5};$$

$$\hat{\lambda}_3=1276\cdot 10^{-5};\ \gamma_3=16{,}28\cdot 10^{-5};$$

$$\bar{\lambda}=1067\cdot 10^{-5};$$

$$\sigma_1^2=1{,}08\cdot 10^{-5};\ \delta_1=1075\cdot 10^{-5};$$

$$\sigma_2^2=0{,}48\cdot 10^{-5};\ \delta_2=1043\cdot 10^{-5};$$

$$\sigma_3^2=0{,}33\cdot 10^{-5};\ \delta_3=1276\cdot 10^{-5}.$$

На основании рассчитанных величин и найденных функций $\Phi(x)$, а также в соответствии с п. 3.4.1 данного стандарта определяется эмпирическая байесовская оценка параметра потока отказов

$$\lambda^*=1{,}15\cdot 10^{-2};\ D=2{,}94\cdot 10^{-3}.$$

Пример 6

Исследуются параметры износа проходного резца с твердосплавной режущей частью Т14К8.

Скорость резания v и подача S на всем протяжении испытаний постоянны и равны $v=136$ м/мин, $S=0{,}4$ мм/об. Испытывается три резца.

Измерение износа режущей части резца производят методом микрометрических измерений через каждые l штук отработанных деталей (l — известно).

Обрабатывая результаты испытаний согласно п. 3.5 настоящего стандарта, получим следующие результаты

$$\hat{m}_y\approx l^1\approx l^2\approx l^3\approx\frac{4{,}3\cdot 10^{-2}}{v\cdot t\cdot l},$$

где t — время отработки каждой детали.
Отсюда

$$\hat{A}_1 = \frac{382 \cdot 10^{-4}}{(v \cdot t \cdot l)^2};$$

$$D\{\hat{m}_y\} = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{15} \cdot \hat{A}_1 = \frac{842 \cdot 10^{-4}}{(v \cdot t \cdot l)^2}.$$

Пример 7

Требуется рассчитать по результатам испытания трех приемников в течение 500 ч каждый оценку параметра потока отказов. В процессе испытаний зафиксирован один отказ. Поток отказов предполагается простейшим. Кроме того, считаются известными параметры априорного распределения интенсивности отказов.

$$h = 2{,}5 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч}; \sigma = 0{,}7 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч}.$$

Расчет уточненной оценки параметра потока отказов проводится в соответствии с методом Б1:
вычисляются ξ и k

$$\xi = 2{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 500 = 3{,}75; \; k = \left(\frac{0{,}49 \cdot 10^{-6}}{6{,}25 \cdot 10^{-6}} \right) = 0{,}08;$$

вычисляются β^1 и $\Phi(\beta^1)$

$$\beta^1 = \frac{375 \cdot 0{,}08 - 1}{\sqrt{0{,}08}} = -2{,}5; \; \Phi(-2{,}5) = 0{,}012;$$

$$I_0 = 0{,}012 \sqrt{6{,}28} = 0{,}03;$$

$$I_1 = l^{-3{,}12} + 0{,}012 \sqrt{6{,}28} = 0{,}074;$$

$$\lambda = \frac{0{,}074}{0{,}03} = 2{,}5;$$

$$D_1 = 0{,}45 \cdot 10^{-6} \text{ (1/ч)}^2.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Рекомендуемое

Классификация линейных моделей связи $U=g(U_r)$

Структура изделия	Последовательное соединение					
Особенности функционирования	Невосстанавливаемое		Восстанавливаемое			
Показатели надежности	Вероятность безотказной работы $P(t)$	Интенсивность отказов $\Lambda(t)$	Средняя наработка до отказа T	Средняя наработка на отказ $T_н$	Параметр потока отказов $\omega(t)$	Среднее время восстановления $T_в$
Вид связи $U=g(U_i)$	$\ln P(t) = \sum_{i=1}^{n} \ln P_i(t)$	$\Lambda(t) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i(t)$	$\frac{1}{T} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{T_i}$	$\frac{1}{T_н} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{T_{нi}}$	$\omega(t) = \sum_{i=1}^{n} \omega_i(t)$	$T_в = \sum_{i=1}^{n} \Phi_i T_{вi}$
Ограничения применимости	—	—	Экспоненциальное распределение времени наработки		—	Известны оценки средних наработок $T_{нi}$
			—	$t \gg T$		

Редактор *С. И. Бобарыкин*
Технический редактор *Н. П. Замолодчикова*
Корректор *Е. И. Морозова*

Сдано в наб. 15.04.82 Подп. в печ. 09.06.82 1,75 п. л. 1,70 уч.-изд. л. Тир. 40000 Цена 10 коп.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123557, Москва, Новопресненский пер., 3
Тип. «Московский печатник». Москва, Лялин пер., 6. Зак. 694