

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
НАДЕЖНОСТЬ В ТЕХНИКЕ. ИНТЕРВАЛЬНАЯ  
ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО  
ОБЪЕКТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ  
СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

**РД 50-476-84**

**Цена 20 коп.**

**Москва  
ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ  
1985**

**РАЗРАБОТАНЫ** Государственным комитетом СССР по стандартам  
Министерством высшего и среднего специального образова-  
ния СССР  
Академией наук СССР  
Министерством электротехнической промышленности  
Министерством монтажных и специальных строительных ра-  
бот СССР

### **ИСПОЛНИТЕЛИ**

Н. Н. Шереметьевский, акад. АН СССР; Н. Н. Монсеев, акад.  
АН СССР; К. С. Колесников, член-кор. АН СССР; Г. А. Лукашенко;  
Л. А. Лейфер, канд. техн. наук; С. В. Беличков; И. В. Львова; С. Д. Золо-  
това; Т. В. Мурачева; Н. Я. Акимычева; Н. М. Туркина; Л. Б. Гройсберг;  
Р. С. Судаков, д-р техн. наук, проф.; О. И. Тескин, д-р техн. наук, проф.;  
Н. Алымов; И. В. Павлов, канд. физ-мат. наук; И. А. Кроль, канд. техн. наук

**ВНЕСЕНЫ** Министерством высшего и среднего специального обра-  
зования СССР

Зам. начальника главного управления вузами А. А. Малюк

**УТВЕРЖДЕНЫ И ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ** Постановлением Госу-  
дарственного комитета СССР по стандартам от 22 июня 1984 г.  
№ 2053

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Надежность в технике.  
Интервальная оценка надежности  
технического объекта по результатам испытаний  
составных частей. Общие положения

РД  
50—476—84

Введены впервые

Утвержден Постановлением Госстандарта, от 22 июня 1984 г. № 2053, срок введения установлен с 1 июля 1985 г.

Настоящие методические указания распространяются на технические объекты (далее — объекты), оценка надежности которых проводится по результатам испытаний их составных частей (далее элементов), за исключением объектов, оценка надежности которых по результатам испытаний элементов не регламентирована нормативно-технической документацией (НТД)\*

Методические указания устанавливают правила обработки результатов испытаний элементов для определения интервальных оценок показателей надежности объекта

Методические указания предназначены для специалистов служб надежности промышленных предприятий, проектно-конструкторских и научно исследовательских организаций, занимающихся испытаниями и оценкой надежности технических объектов

### 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Оценка надежности объекта проводится путем определения интервальных оценок показателей надежности (ПН) объекта по результатам испытаний его элементов. Элементы объекта испытываются в процессе системных или автономных испытаний. Результаты системных испытаний элемента используются для оценки надежности объекта только в том случае, если события отказов элемента в процессе системных испытаний не зависят от отказов других элементов объекта. Условия работы элемента в процессе автономных или системных испытаний должны совпадать с условиями его работы в объекте. Испытания элементов объекта проводят-

\* Определения терминов, применяемых в методических указаниях, даны в справочном приложении 1, перечень обозначений — в справочном приложении 2

ся по планам, предусмотренным ГОСТ 27.002—83, кроме планов с восстановлением работоспособного состояния элементов в случае их отказа.

1.2. В качестве ПН объекта используются ПН первой, второй и третьей групп, приведенные в табл. 1. В качестве ПН элементов— ПН первой и второй групп.

Таблица 1

Группа показателей надежности

Номер группы	Наименование показателя надежности	Условные обозначения ПН	
		элемента	объекта
I	Вероятность безотказной работы	$p(\tau)$	$P(\tau)$
	Средняя наработка до отказа	$t_{cp}$	$T_{cp}$
	Средняя наработка на отказ	$t_o$	$T_o$
	Гамма-процентная наработка до отказа	$t_\gamma$	$T_\gamma$
II	Интенсивность отказов	$\lambda$	$\Lambda$
	Параметр потока отказов		
III	Коэффициент готовности	—	$K_r$
	Коэффициент сохранения эффективности	—	$K_{эф}$

1.3. Методы оценки и контроля надежности распространяются на объекты, для которых структурная схема надежности (ССН) представляет собой последовательное, параллельное и всевозможные сочетания последовательного и параллельного соединения элементов, а также на объекты, в том числе и многофункциональные, с монотонной структурой.

Характеристика наиболее типичных ССН приведена в табл. 2.

1.4. Определение интервальной оценки показателей надежности объекта сводится к построению односторонних доверительных границ.


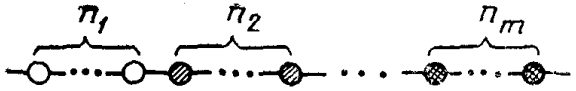
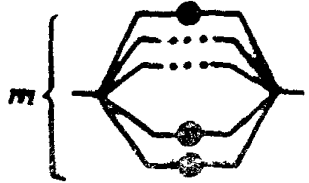
Нижняя доверительная граница строится для ПН объекта первой и третьей групп, верхняя доверительная граница — для ПН объекта второй группы.

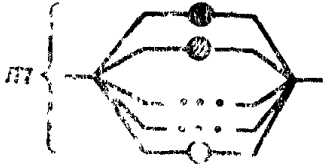
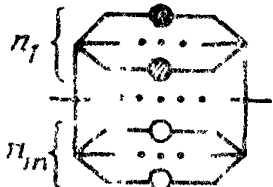
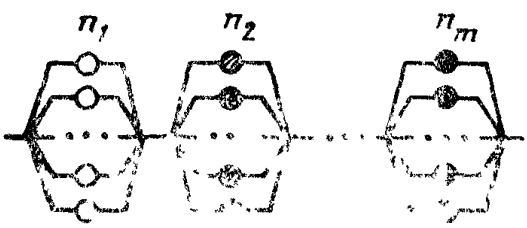
1.5. Настоящие методические указания содержат методы определения интервальной оценки ПН объекта по результатам безотказных испытаний элементов и по результатам испытаний элементов с отказами.

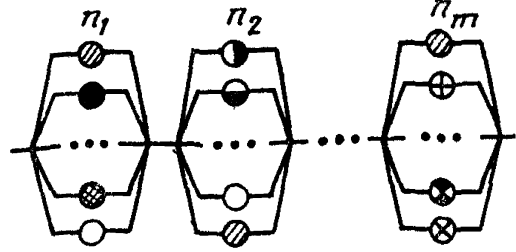
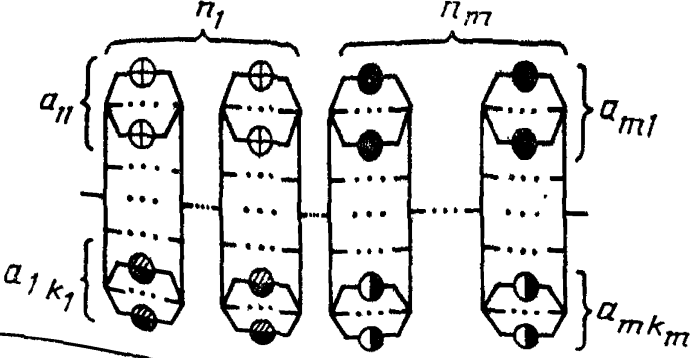
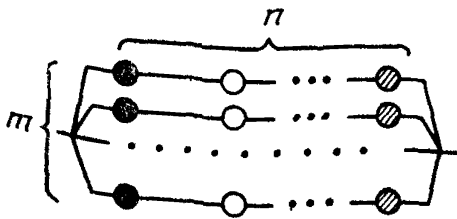
В случае безотказных испытаний элементов интервальная оценка ПН объекта определяется в соответствии с разд. 2.

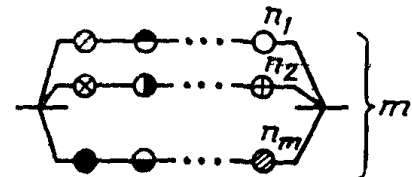
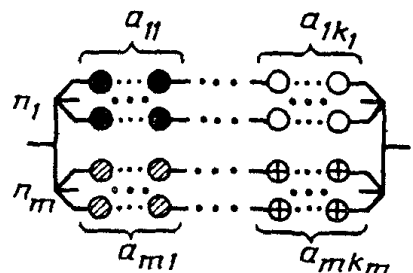
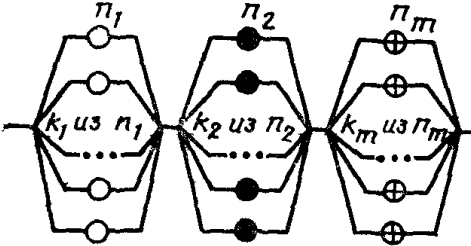
Таблица 2

## Характеристика наиболее типичных ССН объектов

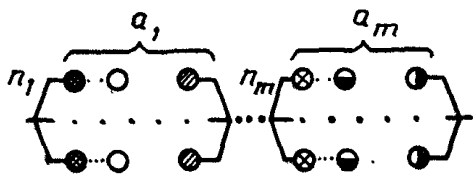
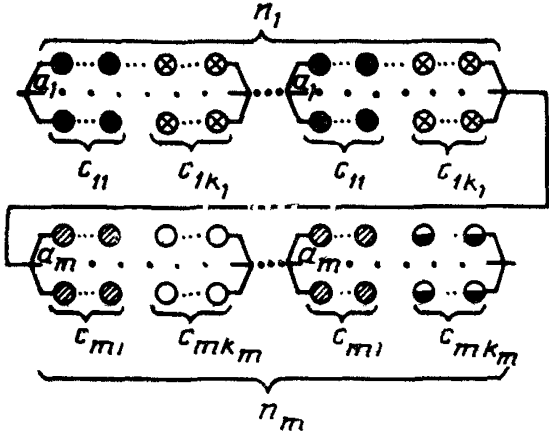
Шифр ССН	Название ССН	Характеристика ССН объекта	Графическое изображение ССН	Примечание
1	2	3	4	5
01	Последовательная из разнотипных элементов	Объект состоит из $m$ последовательно соединенных разнотипных элементов. Отказ объекта наступает при отказе любого элемента		
02	Последовательная при наличии однотипных элементов	Объект состоит из последовательно соединенных элементов $m$ типов по $n_1, n_2, \dots, n_m$ элементов каждого типа. Отказ объекта наступает при отказе любого элемента		Обобщение ССН 01
03	Параллельная из однотипных элементов	Объект состоит из параллельно соединенных однотипных элементов. Отказ объекта наступает в результате отказа всех элементов		

Шифр ССН	Название ССН	Характеристика ССН объекта	Графическое изображение ССН	Примечание
1	2	3	4	5
04	Параллельная из разнотипных элементов	Объект состоит из параллельно соединенных разнотипных элементов. Отказ объекта наступает в результате отказа всех элементов		Обобщение ССН 03
05	Параллельная при наличии однотипных элементов	Объект состоит из параллельно соединенных элементов $m$ типов по $n_1, n_2, \dots, n_m$ элементов каждого типа. Отказ объекта наступает при отказе всех элементов		Обобщение ССН 03, 04
06	Последовательно-параллельная (параллельное соединение однотипных элементов)	Объект состоит из $m$ последовательно соединенных подсистем, $i$ -я подсистема состоит из $n_i$ параллельно соединенных однотипных элементов. Отказ объекта наступает при отказе любой подсистемы		

Шифр ССН	Название ССН	Характеристика ССН объекта	Графическое изображение ССН	Примечание
1	2	3	4	5
07	<p>Последовательно-параллельная (параллельное соединение различных элементов)</p>	<p>Объект состоит из <math>m</math> последовательно соединенных подсистем, <math>i</math>-я подсистема состоит из <math>n_i</math> разнотипных параллельно соединенных элементов. Отказ объекта наступает при отказе любой подсистемы</p>		<p>Обобщение ССН 06</p>
08	<p>Последовательно-параллельная (параллельное соединение при наличии однотипных элементов, последовательное соединение при наличии однотипных подсистем)</p>	<p>Объект состоит из <math>m</math> типов последовательно соединенных подсистем по <math>n_i</math> подсистем <math>i</math>-го типа. Подсистема <math>i</math>-го типа представляет собой параллельное соединение элементов <math>k_i</math> типов по <math>a_{ij}</math> элементов <math>j</math>-го типа. Отказ объекта наступает при отказе любой подсистемы</p>		<p>Обобщение ССН 06, 07</p>
09	<p>Параллельно-последовательная (параллельное соединение однотипных подсистем)</p>	<p>Объект состоит из <math>m</math> параллельно соединенных однотипных подсистем, состоящих из <math>n</math> последовательно соединенных разнотипных элементов. Отказ объекта наступает при отказе всех составляющих его подсистем</p>		<p>Обобщение ССН 03</p>

Шифр ССН	Название ССН	Характеристика ССН объекта	Графическое изображение ССН	Примечание
1	2	3	4	5
10	Параллельно-последовательная (параллельное соединение различных подсистем)	Объект состоит из $m$ параллельно соединенных подсистем, $i$ -я подсистема состоит из $n_i$ последовательно соединенных различных элементов. Отказ объекта наступает при отказе всех составляющих его подсистем		Обобщение ССН 04
11	Параллельно-последовательная (параллельное соединение при наличии однотипных подсистем)	Объект состоит из $m$ типов параллельно соединенных подсистем по $n_i$ подсистем $i$ -го типа. Подсистема $i$ -го типа состоит из последовательно соединенных элементов $k_i$ типов по $a_{ij}$ элементов $j$ -го типа		Обобщение ССН 05, 09, 10
12	Последовательное соединение подсистем типа $k$ из $n$	Объект состоит из $m$ последовательно соединенных подсистем, $i$ -я подсистема представляет собой параллельное соединение $n_i$ однотипных элементов. Отказ $i$ -й подсистемы наступает при отказе $k_i$ или более ее элементов		Обобщение последовательных и последовательно-параллельных ССН



Шифр ССН	Название ССН	Характеристика ССН объекта	Графическое изображение ССН	Примечание
1	2	3	4	5
13	<p>Последовательно-параллельно-последовательная (последовательное соединение разнотипных подсистем и элементов)</p>	<p>Объект состоит из <math>m</math> последовательно соединенных разнотипных подсистем, <math>i</math>-я подсистема составлена из <math>n_i</math> параллельно соединенных одинаковых подсистем, каждая из которых включает в себя <math>a_i</math> последовательно соединенных разнотипных элементов</p>		<p>Обобщение ССН 06, 09</p>
14	<p>Последовательно-параллельно-последовательная (последовательное соединение подсистем и элементов при наличии однотипных)</p>	<p>Объект состоит из последовательно соединенных подсистем <math>m</math> типов, по <math>n_i</math> подсистем <math>i</math>-го типа. Подсистема <math>i</math>-го типа состоит из <math>a_i</math> параллельно соединенных однотипных подсистем, каждая из которых состоит из последовательно соединенных элементов <math>k_i</math> типов по <math>c_{ij}</math> элементов <math>j</math>-го типа</p>		<p>Обобщение ССН 06, 09, 13</p>

Шифр ССН	Название ССН	Характеристика ССН объекта	Графическое изображение ССН	Примечание
1	2	3	4	5
15	<i>П</i> — структура	Объект представляет собой последовательное или параллельное соединение подсистем, каждая из которых является последовательной или параллельной ССН, составленной из подсистем, представляющих собой различные сочетания последовательного и параллельного соединения элементов	—	Обобщение всех параллельно-последовательных и последовательно-параллельных ССН (01—14)
16	Монотонная структура	Объект представляет собой соединение элементов, при котором ПН объекта является монотонной функцией от ПН элементов	—	Частным случаем монотонной структуры является П-структура

Для определения интервальной оценки надежности объекта по результатам испытаний его элементов с отказами могут быть использованы следующие методы:

- метод эквивалентного биномиального плана;
- метод подстановки;
- комбинированный метод;
- метод эквивалентного слабейшего звена.

Общая характеристика методов интервального оценивания ПН объекта приведена в табл. 3. Теоретическое обоснование методов дано в справочном приложении 3, примеры применения методов — в справочном приложении 4.

1.6. При выборе метода определения интервальной оценки ПН объекта следует учитывать: цель испытаний, ССН объекта и имеющуюся исходную информацию.

В тех случаях, когда исходная информация не соответствует ситуациям, перечисленным в графе 2 табл. 2, а именно: испытания элементов проводились по различным планам; результаты испытаний по элементам каждого типа представлены в виде точечной оценки ВБР элемента и количества элементов каждого типа, поставленных на испытания; результаты испытаний по элементам каждого типа представлены в виде точечной и интервальной оценок ВБР элемента — необходимо провести ее предварительную обработку.

Методы предварительной обработки исходной информации приведены в обязательном приложении 5.

Предварительная обработка исходной информации позволяет представить ее в виде результатов испытаний элементов по биномиальному плану.

1.7. Для определения интервальной оценки ПН объекта методом подстановки, комбинированным методом и методом эквивалентного слабейшего звена используется функция, связывающая ПН объекта с ПН элементов:

$$\theta = \varphi(\theta_1, \dots, \theta_k).$$

Примечание. Функция, характеризующая связь ВБР объекта с ВБР элементов для различных ССН, приведена в табл. 4.

Функция связи ВБР объекта с ПН элементов в случае экспоненциального распределения наработки до отказа (наработки на отказ) элементов приведена в рекомендуемом приложении 6.

Характеристика методов интервальной оценки ПИ объекта

Название метода	Исходная информация для определения интервальной оценки ПИ объекта	Преимущества метода	Недостатки и ограничения метода	Рекомендации
1	2	3	4	5
Метод эквивалентного биномиального плана	Результаты испытаний элементов по биномиальному плану	Простота вычислений, высокая эффективность оценки	Применяется только для последовательных ССН при биномиальном плане испытаний элементов и для планов, сводимых к биномиальному	Рекомендуется для ССН 01, 02
Метод подстановки	Интервальные оценки ПИ элементов	Простота вычислений. Универсальность применения	Невысокая эффективность оценки	Рекомендуется для ССН 01—16 при отсутствии конкретных данных о результатах испытаний элементов
Комбинированный метод	Результаты испытаний элементов по биномиальному плану	Универсальность применения, высокая эффективность оценки	Применяется для испытаний элементов по биномиальному плану и по планам, сводимым к биномиальному	Рекомендуется для ССН 09—11; 13—16
Метод эквивалентного слабейшего звена	Результаты испытаний элементов по биномиальному плану	Универсальность применения. Высокая эффективность оценки	Применяется для испытаний элементов по биномиальному плану и по планам, сводимым к биномиальному	Рекомендуется для ССН 01—03, 06, 09, 12, 13

Примечание. В случае простейшего потока отказов элементов их испытания независимо от выбранного плана могут быть интерпретированы как биномиальные, когда количество условно испытываемых элементов за счет произвольного уменьшения длительности испытаний может быть большим, а число отказов остается фиксированным.

Функция, характеризующая связь ВБР объекта с ВБР  
элементов для ССН 01—14

Шифр ССН	ВБР объекта $P(\tau)=\varphi(p_1(\tau), \dots, p_k(\tau))$	Примечание
1	2	3
01	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m p_i(\tau)$	Индекс $i$ соответствует $i$ -му элементу
02	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m p_i^{n_i}(\tau)$	Индекс $i$ соответствует элементам $i$ -го типа
03	$P(\tau) = 1 - (1 - p(\tau))^m$	—
04	$P(\tau) = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_i(\tau))$	Индекс $i$ соответствует $i$ -му элементу
05	$P(\tau) = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_i(\tau))^{n_i}$	Индекс $i$ соответствует элементам $i$ -го типа
06	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m [1 - (1 - p_i(\tau))^{n_i}]$	Индекс $i$ соответствует элементам $i$ -й подсистемы
07	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m [1 - \prod_{j=1}^{n_i} (1 - p_{ij}(\tau))]$	Индексы $j, i$ соответствуют $j$ -му элементу внутри $i$ -й подсистемы
08	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m [1 - \prod_{j=1}^{k_i} (1 - p_{ij}(\tau))^{a_{ij} n_i}]$	Индексы $j, i$ соответствуют элементу $j$ -го типа внутри подсистемы $i$ -го типа
09	$P(\tau) = 1 - (1 - \prod_{i=1}^n p_i(\tau))^m$	Индекс $i$ соответствует $i$ -му элементу подсистемы
10	$P(\tau) = 1 - \prod_{i=1}^m [1 - \prod_{j=1}^{n_i} p_{ij}(\tau)]$	Индексы $j, i$ соответствуют $j$ -му элементу внутри $i$ -й подсистемы
11	$P(\tau) = 1 - \prod_{i=1}^m [1 - \prod_{j=1}^{k_i} p_{ij}^{a_{ij}}(\tau)]^{n_i}$	Индексы $j, i$ соответствуют элементу $j$ -го типа внутри подсистемы $i$ -го типа

Шифр ССН	ВБР объекта $P(\tau) = \varphi(p_1(\tau), \dots, p_k(\tau))$	Примечание
1	2	3
12	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m \left[ \sum_{j=0}^{k_i-1} C_{n_i}^j (1-p_i(\tau))^j p_i^{n_i-j}(\tau) \right]$	Индекс $i$ соответствует элементам $i$ -й подсистемы
13	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m \left[ 1 - \left( 1 - \prod_{j=1}^{a_i} p_{ij}(\tau) \right)^{n_i} \right]$	Индексы $j, i$ соответствуют $j$ -му элементу внутри $i$ -й подсистемы
14	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m \left[ 1 - \left( 1 - \prod_{j=1}^{k_i} p_{ij}(\tau) \right)^{a_i} \right]^{n_i}$	Индексы $j, i$ соответствуют элементу $j$ -го типа внутри подсистемы $i$ -го типа

Примечание.

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}$$

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТА В СЛУЧАЕ БЕЗОТКАЗНЫХ ИСПЫТАНИЙ

2.1. Приведенные в разделе расчетные формулы применимы для  $P$ -структур любого вида (ССН 01—15).

2.2. В качестве исходной информации используются данные по безотказным испытаниям элементов, проводимым в течение одного и того же времени  $\tau$  (количество испытываемых элементов по каждому типу элементов).

2.3. Нижние доверительные границы ВБР объекта, соответствующие доверительной вероятности  $(1-\beta)$ , определяются в соответствии с табл. 5.

2.4. Интервальные оценки других показателей надежности объекта определяются на основе зависимостей  $\theta = \psi[P(\tau)]$  оцениваемых ПН объекта от ВБР объекта путем подстановки в эту зависимость нижней доверительной границы ВБР. Зависимость  $\theta = \psi[P(\tau)]$  определяется в соответствии с функцией распределения наработки до отказа (наработки на отказ) объекта. Примеры зависимостей  $\theta = \psi[P(\tau)]$  для экспоненциального распределения наработки до отказа (наработки на отказ) объекта приведены в приложении 8.

Примечание. Изложенные в настоящем разделе методы являются дополнением к методам, приведенным в разд. 3—7, и позволяют в случае безотказных испытаний получить наилучшую интервальную оценку для ПН объекта.

Формулы для определения нижней доверительной границы ВБР объекта  
за время  $\tau$  по результатам безотказных испытаний элементов

Шифр ССН	Нижняя доверительная граница ВБР объекта $\underline{P}(\tau)$	Примечание
1	2	3
01	$P(\tau) = \beta^{\frac{1}{z}}, \quad z = \min_{1 \leq i \leq m} \{N_i\}$	$N_i$ — количество испы- тываемых элементов $i$ -го типа
02	$P(\tau) = \beta^{\frac{1}{z}}, \quad z = \min_{1 \leq i \leq m} \left\{ \frac{N_i}{n_i} \right\}$	$N_i$ — количество испы- тываемых элементов $i$ -го типа
03	$\underline{P}(\tau) = 1 - \left(1 - \beta^{\frac{1}{N}}\right)^m$	$N$ — количество испыты- ваемых элементов
04	$\underline{P}(\tau) = 1 - \prod_{i=1}^m \frac{x}{x + N_i},$ $x \text{ — решение уравнения } \sum_{i=1}^m N_i \ln \left(1 + \frac{x}{N_i}\right) = -\ln \beta$	$N_i$ — количество испы- тываемых элементов $i$ -го типа
05	$\underline{P}(\tau) = 1 - \prod_{i=1}^m \left( \frac{n_i x}{n_i x + N_i} \right)^{n_i}$ $x \text{ — решение уравнения } \sum_{i=1}^m N_i \ln \left(1 + \frac{n_i x}{N_i}\right) = -\ln \beta$	$N_i$ — количество испы- тываемых элементов $i$ -го типа

Шифр ССН	Нижняя доверительная граница ВБР объекта $\underline{P}(\tau)$	Примечание
1	2	3
06	$\underline{P}(\tau) = \min_{1 \leq i \leq m} \left\{ 1 - \left( 1 - \beta \frac{1}{N_i} \right)^{n_i} \right\}$	$N_i$ — количество испытываемых элементов $i$ -го типа
07	$\underline{P}(\tau) = \min_{1 \leq i \leq m} \left\{ 1 - \prod_{j=1}^{n_i} \frac{x_i}{x_i + N_{ij}} \right\}$ <p><math>x_i</math> (<math>1 \leq i \leq m</math>) — решение уравнения</p> $\sum_{j=1}^{n_i} N_{ij} \ln \left( 1 + \frac{x_i}{N_{ij}} \right) = -\ln \beta$	$N_{ij}$ — количество испытываемых элементов $j$ -го типа в $i$ -й подсистеме
08	$\underline{P}(\tau) = \min_{1 \leq i \leq m} \left\{ \left[ 1 - \prod_{j=1}^{k_i} \left( \frac{a_{ij} x_i}{a_{ij} x_i + N_{ij}} \right)^{a_{ij}} \right]^{n_i} \right\}$ <p><math>x_i</math> (<math>1 \leq i \leq m</math>) — решение уравнения</p> $\sum_{j=1}^{k_i} N_{ij} \ln \left( 1 + \frac{a_{ij} x_i}{N_{ij}} \right) = -\ln \beta$	$N_{ij}$ — количество испытываемых элементов $j$ -го типа в подсистеме $i$ -го типа
09	$\underline{P}(\tau) = 1 - \left( 1 - \beta \frac{1}{z} \right)^m, \quad z = \min_{1 \leq i \leq m} \{ N_i \}$	$N_i$ — количество испытываемых элементов $i$ -го типа в последовательной подсистеме



Шифр ССН	Нижняя доверительная граница ВБР объекта $\underline{P}(\tau)$	Примечание
1	2	3
10	$\underline{P}(\tau) = 1 - \prod_{i=1}^m \frac{x}{x + z_i}, \quad z_i = \min_{1 \leq j \leq n_i} \{N_{ij}\}, \quad (i = \overline{1, m})$ <p><math>x</math> — решение уравнения</p> $\sum_{i=1}^m z_i \ln \left( 1 + \frac{x}{z_i} \right) = -\ln \beta$	$N_{ij}$ — количество испытываемых элементов $j$ -го типа в $i$ -й подсистеме
11	$\underline{P}(\tau) = 1 - \prod_{i=1}^m \left( \frac{n_i x}{n_i x + z_i} \right)^{n_i}, \quad z_i = \min_{1 \leq j \leq k_i} \left\{ \frac{N_{ij}}{a_{ij}} \right\}, \quad (i = \overline{1, m})$ <p><math>x</math> — решение уравнения</p> $\sum_{i=1}^m z_i \ln \left( 1 + \frac{n_i x}{z_i} \right) = -\ln \beta$	$N_{ij}$ — количество испытываемых элементов $j$ -го типа в подсистеме $i$ -го типа
12	$\underline{P}(\tau) = \min_{1 \leq i \leq m} \sum_{j=0}^{k_i-1} C_{n_i}^j (1 - \beta^{\frac{1}{N_i}})^j \beta^{\frac{n_i-j}{N_i}}$	$N_i$ — количество испытываемых элементов $i$ -го типа
13	$\underline{P}(\tau) = \min_{1 \leq i \leq m} \left\{ 1 - \left( 1 - \beta^{\frac{1}{z_i}} \right)^{n_i} \right\}$ $z_i = \min_{1 \leq j \leq a_i} \{N_{ij}\}, \quad (i = \overline{1, m})$	$N_{ij}$ — количество испытываемых элементов $j$ -го типа в $i$ -й подсистеме

Шифр ССН	Шифрия доверительная граница ВБР объекта $\underline{P}(\tau)$	Примечание
1	2	3
14	$\underline{P}(\tau) = \min_{1 < i < m} \{ [1 - (1 - z_i)^{a_i}]^{n_i}, z_i = \min_{1 < j < k_i} \left\{ \frac{N_{ij}}{C_{ij}} \right\}, (i = \overline{1, m}) \}$	$N_{ij}$ — количество испытываемых элементов $j$ -го типа в подсистеме $i$ -го типа

Примечания:

$$1. C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!} .$$

2 При решении уравнений для ССН 04, 05, 07, 08, 10, 11 рекомендуется использовать стандартные программы *RTMI*, *RTNI* из пакета научных программ на языке ФОРТРАН—IV для машин типа ЕС При отсутствии стандартных программ может быть использован метод половинного деления. Блок-схема метода, соответствующая программа и ее описание приведены в справочном приложении 7 Для ССН 04, 05, 10, 11 может быть использована приближенная формула для вычисления  $\underline{P}(\tau)$ , приведенная в справочном приложении 7. Формула справедлива также при наличии отказов.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТА МЕТОДОМ ЭКВИВАЛЕНТНОГО БИНОМИАЛЬНОГО ПЛАНА

3.1. Метод эквивалентного биномиального плана применяется для последовательных ССН (01, 02).

3.2. В качестве исходной информации для определения интервальной оценки ПН объекта используются результаты испытаний элементов, проводимых по биномиальному плану.

Примечание. В случае экспоненциального распределения наработок до отказа (наработок на отказ) элементов метод эквивалентного биномиального плана применяется для следующих планов испытаний элементов: [NUT], [NUR], [NRT], [NRR]. Вариант метода эквивалентного биномиального плана для данной ситуации приведен в рекомендуемом приложении 9

3.3. По результатам испытаний элементов определяются величины  $N$  и  $D$ :

$$N = \min_{i=1, \dots, m} \left\{ \frac{N_i}{n_i} \right\},$$
$$D = N \left[ 1 - \prod_{i=1}^m \left( 1 - \frac{d_i}{N_i} \right)^{n_i} \right],$$

где  $n_i$  ( $i = \overline{1, m}$ ) — количество элементов  $i$ -го типа, входящих в состав объекта;

$m$  — количество типов элементов, входящих в состав объекта;

$d_i$  ( $i = \overline{1, m}$ ) — количество отказов элементов  $i$ -го типа.

3.4. Нижняя доверительная граница  $\underline{P}$  ( $\tau$ ), соответствующая доверительной вероятности  $(1-\beta)$ , определяется по табл. 1—3 справочного приложения 11 для  $n=N$ ,  $q=D/N$  с интерполяцией при необходимости или по приближенной формуле при  $D \leq \frac{1}{2}(N-1)$ ;

$$\underline{P}(\tau) = 1 - \frac{\chi_{1-\beta}^2(2D-2)}{2N-D + \frac{1}{2} \chi_{1-\beta}^2(2D+2)}.$$

Значения  $\chi_{1-\beta}'(2D+2)$  определяются по табл. 4 справочного приложения 11 для  $\nu=1-\beta$ ,  $L=2D+2$  с интерполяцией при необходимости.

3.5. Интервальная оценка других ПН объекта определяется в соответствии с п. 2.4 на основании нижней доверительной границы ВБР.

### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТА МЕТОДОМ ПОДСТАНОВКИ

4.1. Метод подстановки применяется для ССН 01—16 и позволяет определять интервальные оценки ПН объекта с доверительной вероятностью  $(1-\beta) \geq 0,777$ .

4.2. В качестве исходной информации при построении интервальной оценки ПН объекта используются интервальные оценки

ПН элементов, соответствующие доверительной вероятности  $(1-\beta)$  и распределениям с неубывающей интенсивностью отказов.

4.3. Нижняя или верхняя границы односторонних доверительных интервалов ПН объекта, соответствующие доверительной вероятности  $(1-\beta)$ , определяются по следующим формулам:

$$\underline{\theta} = \begin{cases} \varphi(\underline{\theta}_1, \dots, \underline{\theta}_k), & \text{если } \theta_1, \dots, \theta_k \text{ — ПН первой и третьей} \\ & \text{группы;} \\ \varphi(\bar{\theta}_1, \dots, \bar{\theta}_k), & \text{если } \theta_1, \dots, \theta_k \text{ — ПН второй группы.} \end{cases}$$

$$\bar{\theta} = \begin{cases} \varphi(\underline{\theta}_1, \dots, \underline{\theta}_k), & \text{если } \theta_1, \dots, \theta_k \text{ — ПН первой и третьей} \\ & \text{группы;} \\ \varphi(\bar{\theta}_1, \dots, \bar{\theta}_k), & \text{если } \theta_1, \dots, \theta_k \text{ — ПН второй группы.} \end{cases}$$

Здесь  $\underline{\theta}_i, \bar{\theta}_i, (i = \overline{1, k})$  — нижняя и верхняя границы одностороннего доверительного интервала показателя надежности  $i$ -го элемента объекта, соответствующие доверительной вероятности  $(1-\beta)$ . Значения  $\underline{\theta}_i (\bar{\theta}_i)$  ( $i = \overline{1, k}$ ) определяются в соответствии с ГОСТ 27.503—81 (рекомендуемое приложение 2).

## **5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТА КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ**

5.1. Комбинированный метод основан на совместном использовании метода эквивалентного биномиального плана и метода подстановки.

5.2. Комбинированный метод применяется для ССН 01—16 и позволяет определять интервальные оценки ПН объекта с доверительной вероятностью  $(1-\beta) \geq 0,777$ .

5.3. В качестве исходной информации для построения интервальной оценки ПН объекта используются результаты испытаний элементов по биномиальному плану.

**Примечание** В случае экспоненциального распределения наработок до отказа (наработка на отказ) элементов комбинированный метод применяется для следующих планов испытаний элементов:  $[NUT], [NUT], [NRT], [NRT]$ .

Вариант комбинированного метода для данной ситуации приведен в рекомендуемом приложении 10

5.4. Применение комбинированного метода предусматривает формирование структурных элементов исследуемого объекта. Структурный элемент представляет собой группу последовательно соединенных элементов объекта. ПН объекта в этом случае представляется как функция ПН структурных элементов:

$$\theta = \varphi(\theta_1, \dots, \theta_m)$$

( $m$  — количество структурных элементов в объекте).

**Примечание** В тех случаях, когда ССН объекта не содержит групп последовательно соединенных элементов, комбинированный метод совпадает с методом подстановки. Для объектов, ССН которых представляет собой последовательное соединение элементов (01, 02), комбинированный метод совпадает с методом эквивалентного биномиального плана

5.5. Доверительная граница ПН объекта  $\theta$  (или  $\bar{\theta}$ ) определяется на основе доверительных границ ПН структурных элементов  $\theta_1, \dots, \theta_m$  (или  $\bar{\theta}_1, \dots, \bar{\theta}_m$ ) по формуле:

$$\theta = \begin{cases} \varphi(\theta_1, \dots, \theta_m), & \text{если } \theta_1, \dots, \theta_m \text{ — ПН первой и третьей} \\ & \text{группы;} \\ \varphi(\bar{\theta}_1, \dots, \bar{\theta}_m), & \text{если } \theta_1, \dots, \theta_m \text{ — ПН второй группы;} \end{cases}$$

$$\bar{\theta} = \begin{cases} \varphi(\theta_1, \dots, \theta_m), & \text{если } \theta_1, \dots, \theta_m \text{ — ПН первой и третьей} \\ & \text{группы;} \\ \varphi(\bar{\theta}_1, \dots, \bar{\theta}_m), & \text{если } \theta_1, \dots, \theta_m \text{ — ПН второй группы.} \end{cases}$$

Здесь  $\theta_i, \bar{\theta}_i$  ( $i = 1, \dots, m$ ) — нижняя, верхняя границы одностороннего доверительного интервала ПН  $i$ -го структурного элемента. Значения  $\theta_1, \dots, \theta_m$  ( $\bar{\theta}_1, \dots, \bar{\theta}_m$ ) определяются с помощью метода эквивалентного биномиального плана в соответствии с пп. 3.3—3.5.

## 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТА МЕТОДОМ ЭКВИВАЛЕНТНОГО СЛАБЕЙШЕГО ЗВЕНА

6.1. Метод эквивалентного слабейшего звена применяется для ССН 01—14.

6.2. В качестве исходной информации при определении интервальной оценки ПН объекта используются результаты испытаний элементов, проводимых по биномиальному плану, а в случае экспоненциального распределения наработок до отказа (наработок на отказ) элементов — по планам  $[NUT]$ ,  $[NUR]$ ,  $[NRT]$ ,  $[NRR]$ .

6.3. Определение нижней доверительной границы ВБР объекта  $P(\tau)$ .

6.3.1. Для определения интервальной оценки ВБР объекта используется функция связи ВБР объекта с ВБР элементов

$$P(\tau) = \varphi[p_1(\tau), \dots, p_k(\tau)].$$

Для ССН 04, 05, 07, 08, 11 необходимо пользоваться функцией связи, приведенной в табл. 6; для ССН 01—03, 06, 09, 10, 12—14 необходимо пользоваться функцией связи, приведенной в табл. 4.

6.3.2. В соответствии с результатами испытаний элементов и ССН определяется точечная оценка ВБР объекта  $\hat{P}(\tau)$  путем подстановки точечных оценок ВБР элементов за время  $\tau$  ( $\hat{p}_1(\tau), \dots, \hat{p}_k(\tau)$ ) в функцию связи:

$$\hat{P}(\tau) = \varphi[\hat{p}_1(\tau), \dots, \hat{p}_k(\tau)].$$

Точечные оценки ВБР элементов определяются в соответствии с ГОСТ 27.503—81.

Функция  $\varphi[p_1(\tau), \dots, p_k(\tau)]$  для расчета надежности  
методом эквивалентного слабейшего звена

Шифр ССН	Расчетная функция $P(\tau) = \varphi[p_1(\tau), \dots, p_k(\tau)]$	Примечание
1	2	3
04	$P(\tau) = 1 - \left[ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (1 - p_i(\tau)) \right]^m$	Индекс $i$ соответствует $i$ -му элементу
05	$P(\tau) = 1 - \left[ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (1 - p_i(\tau))^{n_i} \right]^m$	Индекс $i$ соответствует элементам $i$ -го типа
07	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m \left[ 1 - \left( \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} (1 - p_{ij}(\tau)) \right)^{n_i} \right]$	Индексы $j, i$ соответствуют $j$ -му элементу внутри $i$ -й подсистемы
08	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m \left[ 1 - \left( \frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^{k_i} (1 - p_{ij}(\tau))^{a_{ij}} \right)^{k_i} \right]^{n_i}$	Индексы $j, i$ соответствуют элементу $j$ -го типа внутри подсистемы $i$ -го типа
11	$P(\tau) = 1 - \left[ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left( 1 - \prod_{j=1}^{k_i} p_{ij}^{a_{ij}}(\tau) \right)^{n_i} \right]^m$	Индексы $j, i$ соответствуют элементу $j$ -го типа внутри подсистемы $i$ -го типа

6.3.3. Для элементов каждого  $i$ -го типа определяется эквивалентная точечная оценка ВБР  $p_i^*(\tau)$  ( $i = 1, k$ ). Значение  $p_i^*(\tau)$  выбирается таким образом, чтобы при

$$\hat{p}_1(\tau) = \hat{p}_2(\tau) = \dots = \hat{p}_{i-1}(\tau) = \hat{p}_{i+1}(\tau) = \dots = \hat{p}_k(\tau) = 1 \text{ и } \hat{p}_i(\tau) = p_i(\tau)$$

точечная оценка ВБР объекта совпадала с полученным значением  $\hat{P}(\tau)$ ;

$$\hat{P}(\tau) = \varphi(1, \dots, 1, p_i^*(\tau), 1, \dots, 1).$$

6.3.4. Для каждого значения  $p_i^*(\tau)$  определяется эквивалентное число отказов  $D_i$ . Значение  $D_i$  выбирается таким образом, чтобы точечная оценка ВБР элемента для числа отказов  $D_i$  при сохранении других данных об испытаниях элемента (количества испытываемых элементов, суммарной наработки элементов) равнялась  $p_i^*(\tau)$ . Для биномиального плана испытаний элементов  $D_i$  определяется по следующей формуле:

$$D_i = N_i(1 - p_i^*(\tau)), \quad (i = 1, \bar{k}).$$

6.3.5. В соответствии с полученным значением  $D_i$  ( $i = \overline{1, k}$ ) при сохранении других данных об испытаниях элементов, для элементов каждого типа определяется эквивалентная нижняя доверительная граница ВБР  $\underline{p}_i^*$  ( $\tau$ ) ( $i = \overline{1, k}$ ). Значение  $\underline{p}_i^*$  ( $\tau$ ) определяется в соответствии с ГОСТ 27.503—81 (рекомендуемое приложение 2).

Значение  $\underline{p}_i^*$  ( $\tau$ ) может также определяться и непосредственно  $\underline{p}_i^*$  ( $\tau$ ) с учетом реально проводимых планов испытаний. Для биномиального плана испытаний  $\underline{p}_i$  ( $\tau$ ) можно найти по известным значениям  $\underline{p}_i^*$  ( $\tau$ ) и  $N_i$  по табл. 1, 2, 3 приложения 11 или по формуле п. 3.4 (для  $N_i > 50$ ).

6.3.6. Нижняя доверительная граница ВБР объекта  $\underline{P}$  ( $\tau$ ), соответствующая доверительной вероятности  $(1-\beta)$ , определяется по формуле

$$\underline{P}(\tau) = \min_{i=1, \dots, k} \{ \underline{P}_i \},$$

где

$$\begin{aligned} \underline{P}_1 &= \varphi(\underline{p}_1^*(\tau), 1, \dots, 1), \\ \underline{P}_2 &= \varphi(1, \underline{p}_2^*(\tau), 1, \dots, 1), \\ &\dots \\ \underline{P}_k &= \varphi(1, 1, \dots, 1, \underline{p}_k^*(\tau)). \end{aligned}$$

6.4. Интервальная оценка других ПН объекта определяется в соответствии с п. 2.4.

**ТЕРМИНЫ. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЯХ  
И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

Термин	Определение
Технический объект	В соответствии с ГОСТ 27.002—83
Элемент	Составная часть объекта или комплектующее изделие, которые при оценке ПН рассматриваются как единое целое
Автономные испытания элементов	Самостоятельные испытания элементов в условиях, соответствующих условиям их работы в объекте
Системные испытания элемента	Испытания элемента в составе объекта или части объекта, ССН которой является подсистемой ССН объекта
Нижняя (верхняя) граница одностороннего доверительного интервала ПН	Величина $\underline{\theta}(\bar{\theta})$ , для которой вероятность события $\theta \leq \underline{\theta}(\theta \geq \bar{\theta})$ не меньше назначенной доверительной вероятности $(1-\beta)$
Результаты испытаний	Значения фиксируемых в процессе испытаний величин (количество отказавших объектов, количество восстанавливаемых объектов, наработки до отказов испытываемых элементов, суммарные наработки и т. д.)
Объект с монотонной структурой	Объект, надежность которого не улучшается при ухудшении надежности его элементов
Биномиальный план испытаний	План испытаний [NUT], при проведении которых не фиксируются моменты отказов, а определяется лишь количество отказавших за время испытаний объектов



**ПЕРЕЧЕНЬ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

Обозначение	Наименование
1	2
$\theta$	Истинное значение показателя надежности объекта
$\bar{\theta}, \underline{\theta}$	Верхняя и нижняя границы односторонних доверительных интервалов показателя надежности объекта
$1-\beta$	Доверительная вероятность, соответствующая интервальной оценке показателя надежности объекта
$\theta_1, \dots, \theta_k$	Показатели надежности элементов
$\varphi(\theta_1, \dots, \theta_k)$	Функция, определяющая связь показателя надежности объекта с показателями надежности элементов
$\frac{\gamma}{100}$	Регламентированная вероятность

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПН ОБЪЕКТА

1. В разд. 2 методических указаний изложены методы определения наилучшей односторонней интервальной оценки ПН объекта по результатам безотказных испытаний элементов. В основу методов положена процедура определения наилучшей нижней доверительной границы ВБР объекта по результатам безотказных испытаний элементов [1]—[3], [7]. Эта процедура распространена на другие ПН объекта в случае, когда известна связь ПН объекта с ВБР объекта. Функция связи может быть легко найдена для однопараметрических законов распределения наработки до отказа (на отказ).

2. Изложенный в разд. 3 метод эквивалентного биномиального плана следует результатам работы [4] и [5] и имеет несколько распространенных названий: «Метод Ллойда—Липова», «Метод Линдстрема—Мадена», «Эвристический».

В основе метода лежит принцип определения эквивалентного числа отказов для биномиального плана испытаний при минимальном количестве испытываемых элементов, входящих в ССН объекта. Теоретическое обоснование метода проведено в работе [5]. Интерпретация метода для других планов испытаний в случае простейшего потока отказов выполнена в работе [6].

3. В разд. 4 изложен метод подстановки [7]. Метод применим при следующих предположениях

функция  $\varphi(\theta_1, \dots, \theta_k)$  монотонна по каждому из параметров  $\theta_1, \dots, \theta_k$ ,

функция  $\varphi(\theta_1, \dots, \theta_k)$  квазивыпукла (или квазивогнута);

доверительные границы ПН элементов определяются через квантили стареющих распределений

Исследование функции  $\varphi(\theta_1, \dots, \theta_k)$  для рассматриваемых ССН и используемых на практике методов определения интервальных оценок ПН элементов показывают, что упомянутые условия выполняются. Поэтому при изложении метода эти требования не приведены.

4. Комбинированный метод [6], [8], приведенный в разд. 5, объединяет метод эквивалентного биномиального плана и метод подстановки. Методы применяются последовательно. На первом этапе в ССН объекта выделяются структурные элементы (группы последовательно соединенных элементов), к которым применяется метод эквивалентного биномиального плана. На втором этапе для объекта, состоящего из структурных элементов, применяется метод подстановки.

5. Научной основой метода эквивалентного слабейшего звена является метод доверительных множеств Беляева—Большева [9]. Согласно методу эквивалентного слабейшего звена  $\underline{P}(\tau)$  для последовательно-параллельно-последовательных ССН равна минимуму нижних доверительных границ для ВБР однотипных подсистем, если последние определены в предположении равенства точечных оценок ВБР однотипных подсистем. Метод оценки ВБР объекта при реальных объемах испытаний и реальных структурах подсистем изложен в соответствии с работами [10]—[12].

Метод обобщает случай безотказных испытаний и «Метод Ллойда Липова». Обоснование метода проведено в двух случаях: в случае высокой надежности и ограниченных объемов испытаний (эквивалентное число отказов подсистем не слишком превосходит число резервных каналов); в специальном асимптотическом случае, когда оценка ПН имеет нормальное распределение (число последовательных подсистем велико, объем испытаний не слишком мал).

6. Приведенные в приложении числовые таблицы для определения нижних доверительных границ и квантилей  $\chi^2$ -распределения построены на основе табл. II из [13] и табл. 4 из [14].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирный Р. А., Соловьев А. Д. Оценка надежности системы по результатам испытаний ее компонент. — В кн.: Кибернетику — на службу коммунизму. Т. 2. — М.: Энергия, 1964.
2. Тескин О. И. Точные доверительные границы для надежности резервированных систем при безотказных испытаниях их элементов. — Изв. АН СССР, Техническая кибернетика, 1979, № 4.
3. Судаков Р. С. Видоизменение результата Мирного и Соловьева для случая резервированных систем. — В кн.: Точность и надежность кибернетических систем. Вып. 3. — Киев: Наукова думка, 1975.
4. Ллойд Д., Липов М. Надежность. Организация исследования, методы, математический аппарат. — М.: Советское радио, 1964.
5. Судаков Р. С. К вопросу об интервальном оценивании показателя надежности последовательной системы. — Изв. АН СССР. — Техническая кибернетика, 1974, № 3.
6. Гройсберг Л. Б. О расчетно-экспериментальном подтверждении надежности сложных систем. — В кн.: Надежность в технике. Совершенствование порядка регламентации методов контроля надежности в НТД. — Горький, Гф ВНИИНМАШ, 1983
7. Павлов И. В. Статистические методы оценки надежности сложных систем по результатам испытаний. — М.: Радио и связь, 1982.
8. Гройсберг Л. Б. О повышении эффективности доверительной оценки надежности системы. — Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1981, № 2
9. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. — М.: Наука, 1965.
10. Кроль И. А. Об использовании метода доверительных множеств для интервальной оценки критериев надежности. — Изв. АН СССР. — Техническая кибернетика, 1974, № 1.
11. Кроль И. А. Инженерные методы экспериментальной оценки надежности высоконадежных систем. — М.: Знание, 1982.
12. Кроль И. А. Интервальная оценка надежности при параметрических и внезапных отказах. — Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1979, № 5.
13. Статистические задачи обработки систем и таблицы для числовых расчетов показателей надежности/Под ред. проф. Р. С. Судакова. — М.: Высшая школа, 1975.
14. Мюллер П., Нойман П., Шторм Р. Таблицы по математической статистике. — М.: Финансы и статистика, 1982.

**ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ИНТЕРВАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТА**

1. Определить нижнюю доверительную границу ВБР объекта с последовательной ССН, состоящей из пяти элементов, за время  $\tau=5000$  ч для  $(1-\beta)=0,8$ . Испытания элементов проводились по биномиальному плану. Время испытаний 5000 ч.

Результаты испытаний элементов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные

Номер элемента	Количество испытываемых элементов $N_i$	Число отказов $d_i$
1	30	1
2	16	0
3	25	1
4	18	0
5	24	0

Для построения интервальной оценки допускается использовать метод эквивалентного биномиального плана.

В соответствии с п. 3.3.

$$N = \min\{30, 16, 25, 18, 24\} = 16,$$

$$D = 1 \varepsilon \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1}{30} \right) \left( 1 - \frac{1}{25} \right) \right] = 1,152.$$

В соответствии с п. 3.5, учитывая, что  $D < \frac{1}{2}(N-1)$ ,

находим  $\underline{P}(\tau)$ :

$$\underline{P}(\tau) = \frac{\chi_{0,8}^2(2 \cdot 1,152 + 2)}{2 \cdot 16 - 1,152 + \frac{1}{2} \chi_{0,8}^2(2 \cdot 1,152 + 2)} = 0,812.$$

2. Определить нижнюю доверительную границу ВБР объекта за время  $\tau=100$  ч, если его ССН представляет собой параллельное соединение трех различных элементов. Известны интервальные оценки интенсивности отказов элементов, соответствующие доверительной вероятности 0,9:

$$\bar{\lambda}_1 = 0,00031; \quad \bar{\lambda}_2 = 0,00015; \quad \bar{\lambda}_3 = 0,0002.$$

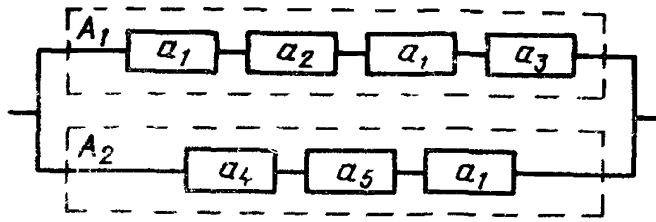
Наработки до отказа элементов подчиняются экспоненциальному распределению.

Для определения интервальной оценки ВБР может быть использован метод подстановки. В соответствии с п. 4.3 и таблицей справочного приложения 6 нижняя доверительная граница ВБР объекта определяется по формуле

$$\underline{P}(\tau) = 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - e^{-\bar{\lambda}_i \tau}) = 0,93993.$$

Полученная оценка соответствует доверительной вероятности  $(1-\beta)=0,9$

3. Определить комбинированным методом нижнюю доверительную границу  $\underline{P}(\tau)$  для  $(1-\beta)=0,9$  вероятности безотказной работы объекта с ССН параллельно-последовательного типа (ССН 10), представленной на рисунке.



Индексы элементов  $a_i$  ( $i=1,5$ ) соответствуют их типам Испытания проводились по биномиальному плану в течение времени  $\tau$ . Результаты испытаний приведены в табл 2

Таблица 2

Исходные данные

Номер элемента	Количество испытываемых элементов	Число отказов
1	600	2
2	100	1
3	50	0
4	300	0
5	200	0

Формирование структурных элементов  $A_1, A_2$  сводится к объединению элементов, составляющих каждую из параллельных подсистем. Зависимость показателя надежности системы  $P(\tau)$  от ВБР структурных элементов  $p_1(\tau)$  и  $p_2(\tau)$  в соответствии с табл. 4 для ССН 04 имеет вид

$$P(\tau) = 1 - (1 - p_1(\tau))(1 - p_2(\tau))$$

Условия применимости комбинированного метода выполнены. В соответствии с п. 5.5 определяются нижние доверительные границы ВБР структурных элементов  $A_1, A_2$  методом эквивалентного биномиального плана по правилам пп 3.3, 3.4. Для первого структурного элемента

$$N_1 = \min\left\{\frac{600}{2}, 100, 50\right\} = 50, D_1 = 0,333, \underline{p}_1 = 0,944.$$

Для второго структурного элемента

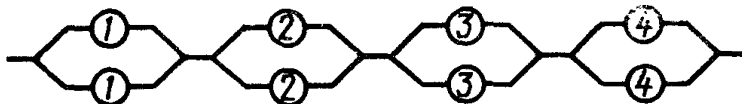
$$N_2 = \min\{300, 200, 600\} = 200, D_2 = 1,331, \underline{p}_2 = 0,978.$$

Интервальная оценка ВБР объекта определяется методом подстановки по формуле п. 5.5.

$$\underline{P}(\tau) = 1 - (1 - \underline{p}_1(\tau))(1 - \underline{p}_2(\tau)).$$

Таким образом,  $\underline{P}(\tau) = 0,9988$  и соответствует доверительной вероятности  $(1-\beta) = 0,9$ .

4. Определить нижнюю доверительную границу ВБР источника питания за время  $\tau = 1500$  ч. Структурная схема надежности [NUT] источника питания приведена на рисунке и соответствует ССН 06 с  $m=4, n_1=n_2=n_3=n_4=2$ .



Наработка до отказа каждого элемента подчиняется экспоненциальному распределению. Испытания элементов проводились по плану [NUT] объекта оценивается методом эквивалентного слабейшего звена. Суммарная наработка и количество отказов элементов источника питания в процессе испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытаний элементов

Номер элемента	Суммарная наработка элементов в процессе испытаний $S_i$	Количество отказов элементов в процессе испытаний $d_i$
1	30000	2
2	15000	0
3	30000	0
4	15000	0

В соответствии с п. 6.3.1 и табл. 4 определяется точечная оценка ВБР источника питания

$$\hat{P}(\tau) = \prod_{i=1}^4 [1 - (1 - p_i(\tau))^2].$$

В соответствии с ГОСТ 27.503—81 находим:

$$\hat{p}_i(\tau) = \exp\left\{-\frac{d_i \tau}{S_i}\right\}, \quad (i = \overline{1,4})$$

$$\hat{p}_1(\tau) = 0,9, \quad \hat{p}_2(\tau) = \hat{p}_3(\tau) = \hat{p}_4(\tau) = 1.$$

Таким образом,  $\hat{P}(\tau) = 0,99$ .

В соответствии с п. 6.3.3 значения  $p_i^*(\tau)$ , ( $i = \overline{1,4}$ ) определяются из уравнений:

$$1 - (1 - p_i^*(\tau))^2 = 0,99, \quad (i = \overline{1,4})$$

Очевидно, что

$$p_1^*(\tau) = p_2^*(\tau) = p_3^*(\tau) = p_4^*(\tau) = 0,9.$$

Эквивалентное число отказов  $D_i$  ( $i = \overline{1,4}$ ) в соответствии с п. 6.3.4 и ГОСТ 27.503—81 определяется из уравнений:

$$\exp\left\{-\frac{D_i \tau}{S_i}\right\} = 0,9, \quad (i = \overline{1,4}).$$

Таким образом,

$$D_1 = 2, \quad D_2 = 1, \quad D_3 = 2, \quad D_4 = 1.$$

Согласно п. 6.3.5 нижняя доверительная граница ВБР каждого элемента  $\underline{p}_i^*(\tau)$  определяется в соответствии с рекомендуемым приложением 2 ГОСТ 27.503—81 для доверительной вероятности  $1 - \beta = 0,8$ , плана испытаний [NUT], суммарной наработки элемента  $S_i$  и числа отказов  $D_i$  ( $i = \overline{1,4}$ ). Таким образом:

$$\underline{p}_1^* = 0,807, \quad \underline{p}_2^* = 0,741, \quad \underline{p}_3^* = 0,807, \quad \underline{p}_4^* = 0,741.$$

В соответствии с п. 6.3.6 нижняя доверительная граница ВБР источника питания, соответствующая доверительной вероятности  $1 - \beta = 0,8$ , определяется по формуле

$$P(\tau) = \min\{\underline{P}_1, \underline{P}_2, \underline{P}_3, \underline{P}_4\},$$

где

$$\underline{P}_1 = [1 - (1 - \underline{p}_1^*(\tau))^2] \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,963 ;$$

$$\underline{P}_2 = 1 \cdot [1 - (1 - \underline{p}_2^*(\tau))^2] \cdot 1 \cdot 1 = 0,933 ;$$

$$\underline{P}_3 = 1 \cdot 1 \cdot [1 - (1 - \underline{p}_3^*(\tau))^2] \cdot 1 = 0,963 ;$$

$$\underline{P}_4 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot [1 - (1 - \underline{p}_4^*(\tau))] = 0,933 .$$

Таким образом,  $\underline{P}(\tau) = 0,933$ .

5. Определить нижнюю доверительную границу ВБР объекта, ССН которого представляет собой параллельное соединение трех разнотипных элементов (ССН 03), за время  $\tau = 200$  ч.

Наработки до отказа элемента первого типа подчиняются нормальному распределению. Испытания элемента проводились по плану [NUN], выборочное среднее и выборочная дисперсия шести наблюдений составили 321 ч и 2767,7 ч<sup>2</sup>. Нарботки до отказа второго элемента подчиняются экспоненциальному распределению. Испытания проводились по плану [NUT]. Суммарная наработка испытываемых элементов составила 8000 ч, за время испытаний обнаружен один отказ. Элемент третьего типа испытывался по биномиальному плану в течение времени  $\tau = 200$  ч. Испытывалось 30 элементов, отказы не обнаружены.

В соответствии с обязательным приложением 5 имеющиеся исходные данные могут быть представлены как результаты испытаний, проводимых по биномиальному плану

В соответствии с п. 3.1 обязательного приложения 5 и ГОСТ 27.503—81 определяются точечные оценки и нижние доверительные границы ВБР элементов за  $\tau = 200$  ч с доверительной вероятностью  $(1 - \beta) = 0,9$ :

$$\hat{p}_1(\tau) = 0,988 ; \quad \underline{p}_1(\tau) = 0,888 ;$$

$$\hat{p}_2(\tau) = 0,975 ; \quad \underline{p}_2(\tau) = 0,907 ;$$

$$\hat{p}_3(\tau) = 1, \quad \underline{p}_3(\tau) = 0,926 .$$

Используя табл. 2 справочного приложения 11 согласно пп. 3.2, 3.3 обязательного приложения 5, находим:

$$N_1 \approx 23, \quad d_1 = (1 - 0,990) \cdot 23 = 0,23,$$

$$N_2 \approx 41, \quad d_2 = (1 - 0,975) \cdot 41 = 1,025,$$

$$N_3 = 30, \quad d_3 = 0 .$$

Для определения нижней доверительной границы ВБР используется метод эквивалентного слабейшего звена.

В соответствии с п. 6.3.1 и табл. 6 определяется точечная оценка ВБР объекта за  $\tau = 200$  ч:

$$\begin{aligned} \hat{P}(\tau) &= 1 - \left\{ \frac{1}{3} [(1 - \hat{p}_1(\tau)) + (1 - \hat{p}_2(\tau)) + (1 - \hat{p}_3(\tau))] \right\}^3 = \\ &= 1 - \left\{ \frac{1}{3} [(1 - 0,988) + (1 - 0,975) + (1 - 1)] \right\}^3 = 0,999998 . \end{aligned}$$

Значения  $p_i^*$  определяются согласно п. 6.3.3 из уравнения

$$0,999998 = 1 - \left[ \frac{1}{3} (1 - p_i^*) \right]^3, \quad (i = \overline{1,3}).$$

Таким образом

$$p_1^* = p_2^* = p_3^* = 0,962 .$$

Эквивалентные числа отказов  $D_1, D_2, D_3$  определяются по формуле п. 6.3.4:

$$D_1=0,871; D_2=1,558; D_3=1,140.$$

В соответствии с пп. 6.3.5 по табл. 2 справочного приложения 11 или по формулам п. 3.4  $\underline{p}_1^*(\tau)=0,846$ ;  $\underline{p}_2^*(\tau)=0,887$ ;  $\underline{p}_3^*(\tau)=0,867$ .

Нижняя доверительная граница ВБР объекта за  $\tau=200$  ч определяется в соответствии с п. 6.3.6

$$\begin{aligned} \underline{F}(\tau) &= \min\{\underline{P}_1, \underline{P}_2, \underline{P}_3\} = 0,99387 \\ \text{где } \underline{P}_1 &= 1 - \left[ \frac{1}{3} (1 - \underline{p}_1^*(\tau)) \right]^3 = 0,99987; \\ \underline{P}_2 &= 1 - \left[ \frac{1}{3} (1 - \underline{p}_2^*(\tau)) \right]^3 = 0,99995; \\ \underline{P}_3 &= 1 - \left[ \frac{1}{3} (1 - \underline{p}_3^*(\tau)) \right]^3 = 0,99911. \end{aligned}$$


---



## МЕТОДЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

1. Предварительная обработка исходной информации проводится в тех случаях, когда исходная информация представлена в одном из следующих трех видов:

Вид А — результаты испытаний элементов, проводимых по различным планам;

Вид Б — точечные оценки ВБР элементов и количество испытываемых элементов каждого типа ( $\underline{p}_i, N_i$ );

Вид В — точечные и интервальные оценки ВБР элементов каждого типа ( $\hat{p}_i(\tau), \underline{p}_i(\tau)$ ).

2. Предварительная обработка исходной информации позволяет представить ее в виде результатов испытаний элементов по биномиальному плану и сводится к определению величин  $N_i, d_i$  для элементов каждого типа.

3. Предварительная обработка исходной информации вида А

3.1. По результатам испытаний элементов каждого типа в соответствии с ГОСТ 27.503—81 определяются точечная и интервальная оценки ВБР элемента

$$\hat{p}_i(\tau), \underline{p}_i(\tau), (i=\overline{1, k})$$

3.2. Для элементов каждого типа на основе полученных значений  $\hat{p}_i(\tau), \underline{p}_i(\tau)$  и доверительной вероятности, соответствующей интервальной оценке, определяется  $N_i$  по табл. 1—3 справочного приложения 11. В качестве  $N_i$  выбирается такое значение  $n$ , при котором для  $q = 1 - \hat{p}_i(\tau)$  приведенное в таблице значение нижней доверительной границы совпадает со значением  $\underline{p}_i(\tau)$  с интерполяцией при необходимости.

3.3. Для элементов каждого типа значение  $d_i$  определяется по формуле

$$d_i = [1 - \hat{p}_i(\tau)] N_i, (i=\overline{1, k}).$$

4. Предварительная обработка исходной информации вида Б проводится в соответствии с п. 3.3 настоящего приложения.

5. Предварительная обработка исходной информации вида В проводится в соответствии с пп. 3.2, 3.3 настоящего приложения

**ФУНКЦИЯ**  
характеризующая связь ВБР объекта с ПН элементов для ССН 01—14  
в случае экспоненциального распределения наработки до отказа  
[наработки на отказ] элементов  $P\{\tau\} = \varphi[\theta_1, \dots, \theta_k]$

Шифр ССН	Показатели надежности		Примечание
	Средняя наработка до отказа, средняя наработка на отказ	Интенсивность отказов, параметр потока отказов	
1	2	3	4
01	$P(\tau) = \exp\left\{-\tau \sum_{i=1}^m \frac{1}{t_i}\right\}$	$P(\tau) = \exp\left\{-\tau \sum_{i=1}^m \lambda_i\right\}$	Индекс $i$ соответствует $i$ -му элементу
02	$P(\tau) = \exp\left\{-\tau \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{t_i}\right\}$	$P(\tau) = \exp\left\{-\tau \sum_{i=1}^m n_i \lambda_i\right\}$	Индекс $i$ соответствует элементам $i$ -го типа
03	$P(\tau) = 1 - \left(1 - \exp\left\{-\frac{\tau}{t}\right\}\right)^m$	$P(\tau) = 1 - (1 - e^{-\lambda\tau})^m$	—
04	$P(\tau) = 1 - \prod_{i=1}^m \left(1 - \exp\left\{-\frac{\tau}{t_i}\right\}\right)$	$P(\tau) = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - e^{-\lambda_i \tau})$	Индекс $i$ соответствует $i$ -му элементу

Шифр ССН	Показатели надежности		Примечание
	Средняя наработка до отказа, средняя наработка на отказ	Интенсивность отказов, параметр потока отказов	
1	2	3	4
05	$P(\tau) = 1 - \prod_{i=1}^m \left( 1 - \exp\left\{ -\frac{\tau}{t_i} \right\} \right)^{n_i}$	$P(\tau) = 1 - \prod_{i=1}^m \left( 1 - e^{-\lambda_i \tau} \right)^{n_i}$	Индекс $i$ соответствует элементам $i$ -го типа
06	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m \left[ 1 - \left( 1 - \exp\left\{ -\frac{\tau}{t_i} \right\} \right)^{n_i} \right]$	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m \left[ 1 - \left( 1 - e^{-\lambda_i \tau} \right)^{n_i} \right]$	Индекс $i$ соответствует элементам $i$ -й подсистемы
07	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m \left[ 1 - \prod_{j=1}^{n_i} \left( 1 - \exp\left\{ -\frac{\tau}{t_{ij}} \right\} \right) \right]$	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m \left[ 1 - \prod_{j=1}^{n_i} \left( 1 - e^{-\lambda_{ij} \tau} \right) \right]$	Индексы $i, j$ соответствуют $j$ -му элементу внутри $i$ -й подсистемы
08	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m \left[ 1 - \prod_{j=1}^{k_i} \left( 1 - \exp\left\{ -\frac{\tau}{t_{ij}} \right\} \right)^{a_{ij}} \right]^{n_i}$	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m \left[ 1 - \prod_{j=1}^{k_i} \left( 1 - \exp\left\{ -\tau \lambda_{ij} \right\} \right)^{a_{ij}} \right]^{n_i}$	Индексы $i, j$ соответствуют элементу $j$ -го типа внутри подсистемы $i$ -го типа
09	$P(\tau) = 1 - \left( 1 - \exp\left\{ -\tau \sum_{i=1}^n \frac{1}{t_i} \right\} \right)^m$	$P(\tau) = 1 - \left( 1 - \exp\left\{ -\tau \sum_{i=1}^n \lambda_i \right\} \right)^m$	Индекс $i$ соответствует $i$ -му элементу подсистемы
10	$P(\tau) = 1 - \prod_{i=1}^m \left[ 1 - \exp\left\{ -\tau \sum_{j=1}^{n_i} \frac{1}{t_{ij}} \right\} \right]$	$P(\tau) = 1 - \prod_{i=1}^m \left[ 1 - \exp\left\{ -\tau \sum_{j=1}^{n_i} \lambda_{ij} \right\} \right]$	Индексы $j, i$ соответствуют $j$ -му элементу внутри $i$ -й подсистемы

Шифр ССН	Показатели надежности		Примечание
	Средняя наработка до отказа, средняя наработка на отказ	Интенсивность отказов, параметр потока отказов	
1	2	3	4
11	$P(\tau) = 1 - \prod_{i=1}^m \left[ 1 - \exp \left\{ -\tau \sum_{j=1}^{k_i} \frac{a_{ij}}{t_{ij}} \right\} \right]^{n_i}$	$P(\tau) = 1 - \prod_{i=1}^m \left[ 1 - \exp \left\{ -\tau \sum_{j=1}^{k_i} a_{ij} \lambda_{ij} \right\} \right]^{n_i}$	Индексы $j, i$ соответствуют элементу $j$ -го типа внутри подсистемы $i$ -го типа
12	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m \left[ \sum_{j=0}^{k_i-1} C_{n_i}^j \left( 1 - \exp \left\{ -\frac{\tau}{t_i} \right\} \right)^j \exp \left\{ -\frac{\tau(n_i-j)}{t_i} \right\} \right]$	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m \left[ \sum_{j=0}^{k_i-1} C_{n_i}^j (1 - \exp \{-\tau \lambda_i\})^j \exp \{-\tau \lambda_i(n_i-j)\} \right]$	Индекс $i$ соответствует элементам $i$ -й подсистемы
13	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m \left[ 1 - \left( 1 - \exp \left\{ -\tau b_i \right\} \right)^{n_i} \right],$ $b_i = \sum_{j=1}^{a_i} \frac{1}{t_{ij}}$	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m \left[ 1 - \left( 1 - \exp \{-\tau b_i\} \right)^{n_i} \right],$ $b_i = \sum_{j=1}^{a_i} \lambda_{ij}$	Индексы $j, i$ соответствуют $j$ -му элементу внутри $i$ -й подсистемы
14	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m \left[ 1 - \left( 1 - b_i \right)^{a_i} \right]^{n_i}$ $b_i = \exp \left\{ -\tau \sum_{j=1}^{k_i} \frac{C_{ij}}{t_{ij}} \right\}$	$P(\tau) = \prod_{i=1}^m \left[ 1 - \left( 1 - b_i \right)^{a_i} \right]^{n_i}$ $b_i = \exp \left\{ -\tau \sum_{j=1}^{k_i} C_{ij} \lambda_{ij} \right\}$	Индексы $j, i$ соответствуют элементу $j$ -го типа внутри подсистемы $i$ -го типа

Примечания:

1.  $C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}$

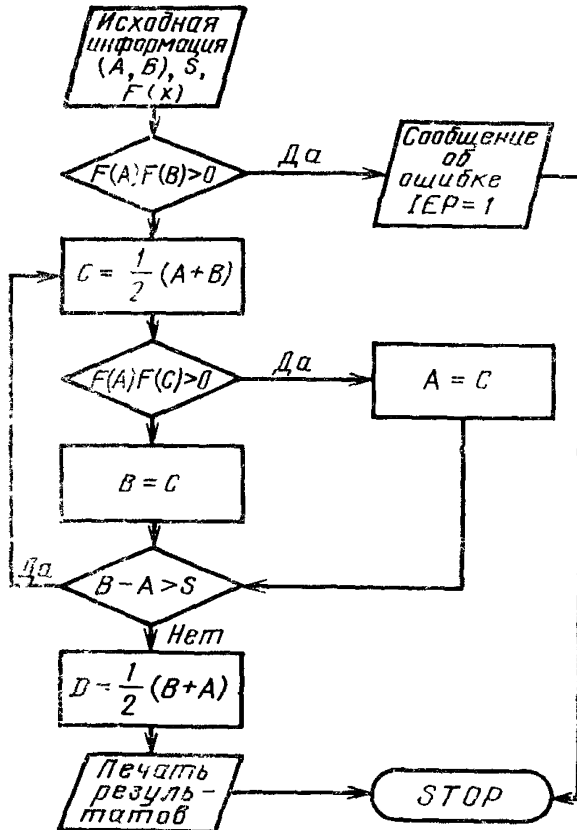
2. Принятые в графе 2 таблицы обозначения  $t_i, t_{ij}$  в зависимости от используемого ПН элементов имеют смысл  $t_{ср i}, t_{ср ij}$  или  $t_{oi}, t_{oij}$ .

**ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  $P\{\tau\}$   
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ БЕЗОТКАЗНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ТАБЛИЦЕ 5**

1. Метод половинного деления

Метод половинного деления используется для поиска корней трансцендентного уравнения вида  $F(x)=0$  в интервале  $(a, b)$ .

Блок-схема программы метода половинного деления приведена на рисунке



В соответствии с блок-схемой программы метода половинного деления на языке ФОРТРАН-IV разработана программа *POLD*. Обращение к программе осуществляется оператором:

*CALL POLD (A, B, D, S, FCT, IEP),*

*A* — значение левой границы интервала, содержащего корень;

*B* — значение правой границы интервала, содержащего корень;

*D* — вычисленный корень уравнения;

*S* — погрешность вычисления корня;

*FCT* — имя используемой внешней программы функции. Параметр *FCT* должен быть описан оператором *EXTERNAL*;

*IEP* — идентификатор ошибки

$IEP = \begin{cases} 0, & \text{нет ошибки} \\ 1, & \text{интервал } (a, b) \text{ не содержит} \\ & \text{корня, } F(a) \cdot F(b) > 0. \end{cases}$

Программа *POLD*:  
*SUBROUTINE POLD (A, B, D, S, FCT, IEP)*  
*IEP=0*  
*FA=FCT (A)*  
*FB=FCT (B)*  
 IF (FA\*FB.GT.Ø) GO TO 4Ø  
 1Ø CONTINUE  
 C=(A+B)/2  
 FC=FCT (C)  
 IE (FA\*FC.GT.Ø) GO TO 2Ø  
 B=C  
 FB=FC  
 GO TO 3Ø  
 2Ø CONTINUE  
 A=C  
 FA=FC  
 3Ø CONTINUE  
 IF (A.LE.1.) EPS=ABS (B-A)  
 IF (A.GT.1) EPS=ABS ((B-A)/A)  
 IF (EPS.GT.S) GO TO 1Ø  
 D=(A+B)/2  
 RETURN  
 4Ø IEP=1  
 RETURN  
 END

## 2. Приближенный метод определения $\underline{P}(\tau)$ .

При определении нижней доверительной границы ВБР объекта по табл. 5 для ССН 04, 05, 10, 11 может быть использована формула, дающая приближение снизу:

$$\underline{P}(\tau) = 1 - \left(1 - \underline{R}^{\frac{1}{k}}\right)^k,$$

где  $k$  — число параллельно соединенных элементов (подсистем);

$\underline{R}$  — нижняя доверительная граница для ВБР последовательной системы, составленной из всех элементов объекта.

Величина  $\underline{R}$  определяется в соответствии с разд. 3.

**ЗАВИСИМОСТЬ  $\theta = \Psi [P(\tau)]$  ДЛЯ ПН ОБЪЕКТА  
В СЛУЧАЕ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАРАБОТКИ ДО ОТКАЗА  
(НАРАБОТКИ НА ОТКАЗ) ОБЪЕКТА**

Оцениваемый ПН объекта (группа)	$\theta = \Psi [P(\tau)]$	Доверительная граница одностороннего доверительного интервала
I	$T_{\text{ср}} = -\frac{\tau}{\ln P(\tau)}$	$\underline{T}_{\text{ср}} = -\frac{\tau}{\ln \underline{P}(\tau)}$
	$T_0 = -\frac{\tau}{\ln P(\tau)}$	$\underline{T}_0 = -\frac{\tau}{\ln \underline{P}(\tau)}$
	$T_\gamma = \frac{\tau \cdot \ln(\gamma/100)}{\ln P(\tau)}$	$\underline{T}_\gamma = \frac{\tau \cdot \ln(\gamma/100)}{\ln \underline{P}(\tau)}$
II	$\Lambda = -\frac{1}{\tau} \ln P(\tau)$	$\underline{\Lambda} = -\frac{1}{\tau} \ln \underline{P}(\tau)$
III	$K_r = \frac{\tau}{\tau - T_B \ln P(\tau)}$	$\underline{K}_r = \frac{\tau}{\tau - T_B \ln \underline{P}(\tau)}$

**МЕТОД ЭКВИВАЛЕНТНОГО БИНОМИАЛЬНОГО ПЛАНА  
В СЛУЧАЕ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАРАБОТОК  
ДО ОТКАЗА (НАРАБОТОК НА ОТКАЗ) ЭЛЕМЕНТОВ**

1. Метод применяется для последовательных ССН (01, 02), элементы которых испытываются по следующим планам:

[NUT], [NUR], [NRT], [NRr].

2. В качестве исходной информации для определения интервальной оценки ПН объекта используются величины:

$S_1, \dots, S_m$  — суммарные наработки элементов каждого типа за время испытаний;

$d_1, \dots, d_m$  — количество отказов элементов каждого типа за время испытаний.

3. Интервальные оценки ПН объекта, соответствующие доверительной вероятности  $(1-\beta)$ , определяются по следующим формулам:

$$\underline{P}(\tau) = \exp \left\{ -\frac{\tau}{\underline{T}} \right\};$$

$$\underline{\Lambda} = \frac{1}{\underline{T}};$$

$$\underline{T} = \frac{2S}{\chi_{1-\beta}^2(2D+2)};$$

$$S = \min_{1 \leq i \leq m} \left\{ \frac{S_i}{n_i} \right\};$$

$$D = S \sum_{i=1}^m \frac{d_i^* n_i}{S_i};$$

$$\hat{d}_i = \begin{cases} d_i & \text{при планах испытаний элементов} \\ & \text{[NUT], [NRT];} \\ d_i - 1 & \text{при планах испытаний элементов} \\ & \text{[NUR], [NRr].} \end{cases}$$

Значения  $\chi_{1-\beta}^2(2D+2)$  определяются по табл. 4 справочного приложения 11 для  $\nu = 1-\beta$ ,  $L = 2D+2$  с интерполяцией при нецелых значениях  $L$ .



**КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД  
В СЛУЧАЕ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАРАБОТОК ДО ОТКАЗА  
(НАРАБОТОК НА ОТКАЗ ЭЛЕМЕНТОВ)**

1. Метод применяется для ССН 01—16, элементы которых испытываются по следующим планам:

[NUT], [NUR], [NRT], [NRr].

Метод позволяет определить интервальные оценки ПН объекта с доверительной вероятностью  $(1-\beta) \geq 0,777$ .

2. В качестве исходной информации для определения интервальной оценки ПН объекта используются суммарные наработки и количество отказов элементов каждого типа за время испытаний.

3. Применение комбинированного метода предусматривает формирование структурных элементов исследуемого объекта. Структурный элемент представляет собой группу последовательно соединенных элементов объекта. ПН объекта в этом случае представляется как функция интенсивностей отказов (параметров потока отказов) структурных элементов

$$\theta = \varphi(\lambda_1, \dots, \lambda_k).$$

4. По результатам испытаний элементов определяют верхние доверительные границы интенсивностей отказов (параметров потока отказов) структурных элементов:

$$\bar{\lambda}_i = \frac{\chi_{1-\beta}^2(2D_i+2)}{2s_i}, \quad (i = \overline{1, k}),$$

$$s_i = \min_{1 < j < k_i} \left\{ \frac{S_i}{n_{ij}} \right\};$$

$$D_i = s_i \sum_{j=1}^{k_i} \frac{d_{ij} n_{ij}}{S_{ij}},$$

$$d_{ij} = \begin{cases} d_{ij} & \text{при планах испытаний элементов} \\ & \text{[NUT], [NRT];} \\ d_{ij}-1 & \text{при планах испытаний элементов} \\ & \text{[NUR], [N_iRr],} \end{cases}$$

где  $s_{ij}$  — суммарная наработка элементов  $j$ -го типа  $i$ -го структурного элемента за время испытаний;

$d_{ij}$  — количество отказов элементов  $j$ -го типа  $i$ -го структурного элемента за время испытаний;

$n_{ij}$  — количество элементов  $j$ -го типа в  $i$ -м структурном элементе;

$k_i$  — количество различных типов элементов в  $i$ -м структурном элементе.

Значения  $\chi_{1-\beta}^2(2D+2)$  определяются по табл. 4 справочного приложения 11 для  $\nu=1-\beta$ ,  $L=2D+2$  с интерполяцией при нецелых  $L$ .

5. Интервальная оценка ПН объекта определяется на основе зависимости  $\theta = \varphi(\lambda_1, \dots, \lambda_k)$ :

$$\bar{\lambda} = \varphi_1(\bar{\lambda}_1, \dots, \bar{\lambda}_k);$$

$$\underline{T} = \varphi_2(\bar{\lambda}_1, \dots, \bar{\lambda}_k);$$

$$\underline{P}(\tau) = \varphi_3(\bar{\lambda}_1, \dots, \bar{\lambda}_k).$$

**ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ**  
**Приведенные в таблицах значения нижних доверительных границ**

**Нижние доверительные границы ВБР**

q	n										
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
00	5848	6687	7248	7647	7946	8178	8363	8513	8639	8745	8835
01	5745	6575	7129	7524	7820	8049	8232	8382	8505	8611	8701
02	5643	6463	7012	7403	7696	7923	8105	8253	8376	8481	8570
03	5542	6353	6896	7284	7574	7799	7979	8127	8249	8353	8442
04	5442	6244	6782	7166	7454	7677	7855	8002	8124	8227	8316
05	5343	6137	6659	7049	7335	7557	7734	7880	8001	8104	8192
06	5245	6030	6557	6934	7218	7438	7614	7759	7880	7982	8070
07	5147	5925	6447	6821	7102	7321	7496	7640	7760	7862	7949
08	5051	5820	6337	6708	6987	7204	7379	7522	7642	7743	7830
09	4953	5717	6229	6597	6873	7090	7263	7405	7525	7626	7713
10	4861	5614	6122	6485	6761	6976	7148	7290	7409	7510	7597
11	4768	5512	6015	6377	6650	6863	7035	7176	7294	7395	7482
12	4675	5412	5910	6269	6540	6752	6922	7053	7181	7281	7367
13	4583	5312	5805	6161	6430	6641	6811	6951	7078	7168	7254
14	4492	5213	5702	6055	6322	6532	6700	6840	6967	7056	7142
15	4401	5115	5599	5949	6215	6423	6591	6729	6846	6945	7031
16	4311	5017	5497	5845	6108	6315	6482	6620	6733	6835	6921
17	4222	4921	5396	5741	6003	6208	6374	6512	6627	6726	6811
18	4134	4825	5296	5638	5898	6102	6267	6404	6519	6617	6702
19	4047	4730	5197	5536	5794	5997	6161	6297	6411	6509	6594
20	3960	4636	5098	5434	5690	5892	6055	6191	6305	6402	6487
21	3874	4542	5000	5333	5588	5788	5950	6085	6199	6296	6380
22	3789	4450	4903	5233	5485	5685	5846	5980	6093	6190	6274
23	3704	4357	4805	5134	5384	5582	5743	5876	5989	6085	6169
24	3621	4266	4711	5035	5281	5480	5640	5772	5884	5980	6064
25	3538	4175	4616	4938	5184	5379	5538	5669	5781	5876	5960
26	3455	4085	4521	4840	5085	5278	5436	5567	5678	5773	5856
27	3373	3996	4427	4744	4988	5178	5335	5465	5576	5670	5753
28	3292	3908	4334	4648	4888	5079	5235	5364	5474	5568	5650
29	3212	3820	4242	4552	4791	4980	5135	5263	5373	5466	5548
30	3132	3732	4150	4457	4694	4882	5036	5163	5272	5365	5446

**НИЖНИХ ДОВЕРИТЕЛЬНЫХ ГРАНИЦ ВБР**  
 умножены на  $10^4$ , значения  $q$  умножены на  $10^2$

Таблица 1

для доверительной вероятности  $1-\beta = 0,8$

n												
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
8914	8983	9013	9037	9145	9188	9227	9262	9295	9324	9351	9377	9400
8773	8817	8907	8960	9008	9051	9089	9121	9157	9186	9213	9238	9261
8547	8715	8775	8828	8875	8918	8956	8991	9023	9053	9080	9105	9128
8519	8585	8645	8698	8745	8788	8827	8862	8894	8923	8950	8975	8999
8392	8459	8519	8572	8619	8661	8700	8735	8767	8797	8824	8849	8872
8268	8335	8394	8447	8494	8537	8576	8611	8643	8673	8700	8725	8749
8146	8213	8272	8325	8372	8415	8453	8489	8521	8551	8578	8604	8627
8025	8092	8151	8204	8251	8294	8332	8368	8401	8431	8458	8484	8507
7903	7973	8032	8085	8132	8175	8214	8249	8282	8312	8340	8365	8387
7789	7853	7914	7967	8015	8057	8096	8132	8165	8195	8222	8248	8272
7672	7739	7798	7851	7898	7941	7980	8016	8048	8079	8105	8132	8156
7557	7624	7683	7735	7783	7826	7865	7901	7933	7964	7992	8018	8042
7443	7509	7568	7621	7669	7712	7751	7785	7819	7850	7878	7904	7928
7330	7396	7455	7508	7555	7598	7637	7673	7703	7737	7765	7791	7815
7217	7284	7343	7395	7443	7486	7525	7561	7594	7625	7653	7679	7703
7103	7172	7231	7284	7331	7374	7414	7450	7483	7513	7541	7568	7592
6996	7052	7120	7173	7221	7264	7303	7339	7372	7403	7431	7457	7482
6883	6952	7010	7063	7111	7154	7193	7229	7262	7293	7321	7347	7372
6777	6843	6901	6954	7001	7044	7084	7120	7153	7183	7212	7238	7263
6669	6734	6793	6845	6893	6937	6975	7011	7044	7075	7103	7130	7155
6561	6627	6685	6737	6785	6828	6867	6903	6936	6967	6995	7022	7047
6454	6519	6578	6630	6677	6720	6760	6796	6829	6859	6888	6914	6939
6348	6413	6471	6523	6571	6614	6653	6689	6722	6753	6781	6808	6832
6242	6307	6365	6417	6464	6507	6546	6582	6616	6646	6675	6701	6725
6137	6202	6260	6312	6359	6402	6441	6477	6510	6540	6569	6595	6620
6032	6097	6155	6207	6254	6296	6335	6371	6404	6435	6463	6490	6515
5928	5993	6050	6102	6149	6192	6231	6266	6300	6330	6359	6385	6410
5825	5889	5947	5998	6045	6087	6126	6162	6195	6226	6254	6281	6305
5722	5785	5843	5895	5941	5984	6023	6058	6091	6122	6150	6177	6201
5620	5683	5740	5792	5838	5880	5919	5955	5988	6018	6046	6073	6098
5518	5581	5638	5689	5735	5778	5816	5852	5885	5915	5943	5970	5994

q	n										
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
00	9421	9441	9460	9478	9494	9509	9524	9537	9551	9562	9574
01	9283	9303	9321	9339	9355	9370	9385	9399	9411	9424	9435
02	9149	9169	9188	9206	9222	9237	9252	9266	9279	9291	9303
03	9020	9040	9059	9077	9093	9109	9123	9137	9150	9163	9175
04	8894	8914	8933	8951	8968	8983	8998	9012	9025	9038	9050
05	8771	8791	8810	8828	8845	8861	8875	8890	8903	8916	8928
06	8649	8670	8689	8707	8724	8740	8755	8769	8783	8795	8808
07	8529	8550	8569	8588	8605	8621	8636	8650	8664	8677	8689
08	8411	8432	8451	8470	8487	8503	8519	8533	8547	8560	8572
09	8294	8315	8335	8373	8371	8387	8402	8417	8431	8444	8457
10	8179	8200	8219	8238	8255	8272	8287	8302	8316	8330	8342
11	8064	8085	8105	8124	8141	8158	8174	8188	8203	8216	8229
12	7951	7972	7992	8011	8028	8045	8061	8076	8090	8103	8116
13	7838	7859	7879	7898	7916	7933	7949	7964	7978	7991	8004
14	7726	7748	7768	7787	7804	7821	7837	7852	7867	7880	7893
15	7615	7637	7657	7676	7694	7711	7727	7742	7756	7770	7783
16	7505	7526	7547	7566	7584	7601	7617	7632	7646	7660	7673
17	7395	7417	7437	7456	7474	7491	7507	7523	7537	7551	7564
18	7286	7308	7328	7347	7365	7382	7399	7414	7429	7443	7456
19	7178	7199	7220	7239	7257	7274	7290	7306	7321	7335	7348
20	7070	7091	7112	7131	7149	7167	7183	7198	7213	7227	7240
21	6962	6984	7005	7024	7042	7059	7076	7091	7106	7120	7133
22	6856	6877	6898	6917	6935	6953	6969	6985	6999	7013	7027
23	6749	6771	6792	6811	6829	6846	6863	6878	6893	6907	6921
24	6643	6665	6686	6705	6723	6741	6757	6773	6788	6802	6815
25	6538	6560	6580	6600	6618	6635	6652	6667	6682	6696	6710
26	6433	6455	6475	6495	6513	6530	6547	6563	6577	6592	6605
27	6329	6350	6371	6390	6409	6426	6442	6458	6473	6487	6501
28	6224	6246	6267	6286	6304	6322	6338	6354	6369	6383	6397
29	6121	6142	6163	6182	6201	6218	6234	6250	6265	6279	6293
30	6017	6039	6060	6079	6097	6115	6131	6147	6162	6176	6189

n												
38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
9585	9596	9603	9615	9624	9633	9641	9649	9656	9663	9670	9677	9683
9446	9457	9466	9476	9485	9493	9502	9510	9517	9524	9531	9538	9544
9314	9324	9334	9344	9353	9361	9370	9378	9385	9393	9400	9403	9413
9185	9196	9203	9216	9225	9234	9243	9251	9258	9266	9273	9280	9287
9051	9072	9082	9092	9101	9110	9119	9127	9135	9143	9150	9157	9164
8939	8950	8960	8970	8980	8989	8998	9005	9014	9022	9029	9036	9043
8810	8830	8841	8851	8860	8870	8878	8887	8895	8903	8910	8918	8925
8701	8712	8723	8733	8743	8752	8761	8770	8778	8783	8793	8801	8808
8584	8595	8603	8616	8626	8636	8645	8654	8662	8670	8678	8685	8692
8469	8480	8491	8501	8511	8521	8530	8539	8547	8555	8563	8571	8578
8354	8366	8377	8387	8397	8407	8416	8425	8434	8442	8450	8457	8465
8241	8252	8264	8274	8284	8294	8303	8312	8321	8329	8337	8345	8352
8128	8140	8151	8162	8172	8181	8191	8200	8209	8218	8225	8233	8241
8017	8028	8040	8050	8061	8071	8080	8089	8098	8107	8115	8123	8130
7905	7918	7929	7940	7950	7960	7970	7979	7988	7996	8005	8012	8020
7795	7807	7819	7830	7840	7850	7860	7869	7878	7887	7895	7903	7911
7686	7698	7709	7720	7731	7741	7751	7760	7769	7778	7786	7794	7802
7577	7589	7600	7612	7622	7632	7642	7651	7660	7669	7678	7686	7694
7468	7481	7492	7503	7514	7524	7534	7543	7552	7561	7570	7578	7586
7361	7373	7384	7396	7406	7416	7426	7435	7445	7454	7462	7470	7478
7253	7265	7277	7288	7299	7309	7319	7329	7338	7347	7355	7364	7371
7146	7158	7170	7181	7192	7203	7213	7222	7231	7240	7249	7257	7265
7040	7052	7064	7075	7085	7096	7105	7116	7125	7134	7143	7151	7159
6934	6946	6958	6969	6980	6990	7000	7010	7019	7028	7037	7045	7053
6828	6840	6852	6864	6874	6885	6895	6905	6914	6923	6932	6940	6948
6723	6735	6747	6758	6769	6780	6790	6800	6809	6818	6827	6835	6843
6618	6630	6642	6654	6665	6676	6685	6695	6704	6713	6722	6730	6738
6514	6526	6538	6549	6560	6571	6581	6590	6600	6609	6618	6626	6634
6409	6422	6434	6445	6456	6467	6477	6486	6496	6505	6514	6522	6530
6303	6318	6330	6341	6352	6363	6373	6383	6392	6401	6410	6418	6427
6202	6215	6227	6238	6249	6260	6270	6279	6289	6298	6307	6315	6323

Нижние доверительные границы ВБР

q	n										
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
00	4642	5623	6310	6813	7197	7499	7743	7943	8111	8254	8379
01	4542	5509	6185	6882	7031	7359	7600	7798	7964	8105	8227
02	4444	5397	6034	6554	6929	7223	7464	7657	7822	7961	8082
03	4347	5287	5945	6429	6799	7030	7326	7520	7683	7821	7941
04	4252	5178	5838	6306	6671	6960	7193	7385	7547	7685	7804
05	4158	5071	5712	6185	6547	6832	7033	7254	7415	7552	7670
06	4035	4965	5599	6036	6424	6707	6936	7126	7285	7421	7538
07	3974	4832	5487	5949	6303	6583	6811	6999	7157	7293	7409
08	3884	4759	5377	5833	6184	6462	6688	6875	7032	7167	7283
09	3795	4658	5258	5720	6037	6343	6567	6752	6909	7043	7158
10	3708	4558	5161	5608	5952	6225	6447	6632	6787	6920	7036
11	3622	4460	5055	5497	5838	6109	6329	6513	6667	6800	6915
12	3536	4363	4951	5388	5726	5994	6213	6395	6549	6681	6796
13	3452	4267	4818	5281	5615	5881	6098	6279	6432	6564	6678
14	3369	4173	4746	5174	5505	5769	5985	6165	6317	6448	6561
15	3287	4079	4646	5069	5397	5659	5873	6052	6203	6333	6446
16	3203	3987	4547	4965	5290	5550	5762	5940	6090	6220	6332
17	3126	3896	4449	4833	5185	5442	5653	5829	5979	6108	6220
18	3048	3803	4352	4761	5080	5335	5545	5720	5868	5996	6108
19	2970	3717	4256	4661	4977	5230	5437	5611	5759	5887	5998
20	2893	3629	4161	4562	4874	5125	5331	5504	5651	5778	5888
21	2817	3542	4037	4464	4773	5022	5226	5398	5544	5670	5780
22	2742	3456	3975	4366	4673	4919	5122	5292	5437	5563	5672
23	2668	3371	3883	4270	4574	4818	5019	5188	5332	5457	5566
24	2595	3288	3792	4175	4474	4717	4917	5085	5228	5352	5460
25	2523	3205	3703	4081	4378	4618	4816	4982	5124	5247	5355
26	2452	3123	3614	3988	4282	4519	4715	4881	5022	5144	5251
27	2382	3042	3526	3836	4186	4422	4616	4780	4920	5041	5148
28	2312	2962	3439	3804	4032	4325	4517	4680	4819	4940	5045
29	2244	2882	3353	3714	3998	4229	4420	4581	4719	4839	4944
30	2176	2804	3268	3624	3905	4134	4323	4483	4620	4739	4843

Таблица 2

для доверительной вероятности  $1-\beta=0,9$ 

$n$												
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
8483	8577	8560	8733	8799	8859	8913	8962	9006	9047	9085	9120	9152
8332	8425	8506	8579	8645	8704	8757	8805	8850	8891	8928	8963	8995
8186	8278	8359	8432	8496	8555	8608	8656	8701	8741	8779	8813	8845
8045	8136	8217	8289	8353	8412	8465	8513	8557	8598	8635	8670	8702
7907	7998	8078	8150	8215	8273	8326	8374	8418	8459	8497	8531	8564
7772	7853	7943	8015	8079	8137	8190	8239	8283	8324	8361	8396	8429
7641	7731	7811	7832	7947	8005	8058	8106	8151	8192	8230	8265	8297
7512	7601	7681	7753	7817	7875	7928	7977	8021	8062	8100	8135	8168
7385	7474	7554	7625	7690	7748	7801	7850	7894	7935	7973	8009	8042
7260	7349	7429	7500	7564	7623	7676	7724	7769	7810	7848	7884	7917
7137	7226	7305	7377	7441	7499	7552	7601	7646	7687	7725	7761	7794
7016	7105	7184	7255	7319	7377	7431	7479	7524	7566	7604	7640	7673
6896	6985	7064	7135	7199	7257	7310	7359	7404	7446	7484	7520	7553
6778	6866	6945	7016	7080	7139	7192	7241	7285	7327	7366	7401	7435
6661	6749	6828	6899	6963	7021	7047	7123	7168	7210	7248	7284	7318
6546	6634	6712	6783	6847	6905	6958	7007	7052	7094	7132	7168	7202
6431	6519	6597	6668	6732	6790	6843	6892	6937	6979	7017	7053	7088
6318	6406	6484	6554	6618	6670	6729	6778	6823	6865	6903	6939	6973
6203	6293	6371	6442	6505	6563	6616	6665	6710	6752	6790	6827	6860
6095	6182	6260	6330	6394	6451	6504	6553	6598	6640	6678	6715	6748
5985	6072	6150	6219	6283	6340	6393	6442	6487	6529	6567	6603	6637
5877	5963	6040	6110	6173	6230	6283	6332	6377	6418	6457	6493	6527
5769	5855	5931	6001	6064	6121	6174	6223	6267	6309	6348	6384	6417
5662	5747	5824	5893	5956	6013	6066	6114	6159	6200	6239	6275	6309
5555	5640	5717	5783	5848	5906	5958	6003	6051	6092	6131	6167	6201
5450	5535	5611	5679	5742	5799	5851	5899	5944	5985	6024	6060	6093
5345	5430	5505	5574	5636	5693	5745	5793	5837	5879	5917	5953	5987
5242	5326	5401	5469	5531	5588	5640	5687	5732	5773	5811	5847	5881
5139	5222	5297	5365	5427	5483	5535	5583	5627	5668	5706	5742	5775
5037	5120	5194	5262	5323	5379	5431	5480	5522	5563	5601	5637	5670
4935	5018	5092	5159	5220	5276	5327	5375	5419	5459	5497	5533	5566

q	n										
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
00	9183	9211	9237	9261	9284	9306	9326	9345	9353	9380	9397
01	9025	9053	9079	9103	9126	9147	9167	9185	9204	9222	9238
02	8875	8903	8929	8954	8976	8998	9018	9038	9056	9073	9089
03	8732	8760	8785	8811	8834	8855	8878	8895	8914	8931	8947
04	8594	8622	8648	8673	8695	8718	8739	8758	8776	8794	8811
05	8459	8487	8514	8539	8562	8584	8605	8625	8643	8661	8678
06	8328	8356	8383	8408	8431	8453	8474	8494	8513	8531	8548
07	8199	8227	8254	8279	8303	8326	8343	8367	8385	8404	8421
08	8072	8101	8128	8153	8177	8200	8221	8241	8261	8279	8295
09	7948	7977	8004	8029	8053	8076	8091	8118	8137	8156	8173
10	7825	7854	7881	7907	7931	7954	7976	7996	8016	8034	8052
11	7704	7733	7761	7785	7811	7834	7855	7876	7896	7914	7932
12	7584	7614	7641	7667	7692	7715	7737	7757	7777	7795	7814
13	7466	7496	7523	7549	7574	7597	7619	7640	7660	7679	7697
14	7349	7379	7405	7432	7457	7480	7502	7523	7543	7562	7581
15	7233	7264	7291	7317	7342	7365	7388	7408	7428	7447	7466
16	7118	7148	7176	7202	7227	7251	7273	7294	7314	7333	7352
17	7005	7034	7062	7089	7113	7137	7159	7181	7201	7220	7238
18	6892	6922	6950	6976	7001	7024	7047	7068	7088	7108	7126
19	6780	6810	6838	6864	6889	6913	6935	6957	6977	6995	7015
20	6669	6699	6727	6753	6778	6802	6824	6846	6866	6885	6904
21	6559	6588	6616	6643	6668	6692	6714	6736	6756	6776	6794
22	6449	6479	6507	6533	6559	6582	6605	6626	6647	6666	6685
23	6340	6370	6398	6425	6450	6474	6496	6518	6538	6558	6576
24	6232	6262	6290	6317	6342	6365	6388	6410	6430	6450	6468
25	6125	6155	6183	6209	6234	6258	6281	6302	6323	6342	6361
26	6018	6048	6076	6102	6128	6151	6174	6195	6216	6235	6254
27	5912	5942	5970	5996	6021	6045	6068	6089	6110	6129	6148
28	5807	5836	5864	5891	5916	5940	5962	5984	6004	6024	6042
29	5702	5731	5759	5786	5811	5834	5857	5878	5899	5918	5937
30	5598	5627	5655	5681	5705	5730	5752	5774	5794	5814	5833



n												
38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
9412	9427	9441	9454	9467	9478	9490	9501	9512	9522	9532	9541	9550
9253	9268	9282	9295	9307	9320	9331	9342	9353	9363	9373	9382	9391
9105	9119	9133	9147	9160	9172	9183	9195	9205	9216	9276	9235	9244
8963	8978	8992	9006	9019	9031	9043	9054	9035	9076	9086	9095	9105
8827	8842	8856	8870	8883	8895	8907	8919	8930	8941	8951	8961	8970
8694	8709	8724	8738	8751	8764	8776	8788	8799	8810	8820	8830	8840
8564	8580	8595	8609	8622	8635	8647	8659	8671	8682	8692	8703	8712
8437	8453	8468	8482	8496	8509	8522	8534	8545	8556	8567	8577	8587
8313	8328	8344	8358	8372	8385	8398	8410	8422	8433	8444	8454	8465
8190	8206	8221	8236	8250	8264	8276	8288	8300	8312	8323	8333	8343
8069	8085	8100	8115	8129	8143	8156	8168	8180	8192	8203	8213	8224
7949	7965	7981	7993	8010	8024	8037	8049	8061	8073	8084	8095	8106
7831	7847	7863	7878	7892	7906	7919	7932	7944	7956	7967	7978	7989
7714	7730	7746	7761	7775	7789	7803	7815	7828	7840	7851	7862	7873
7598	7614	7630	7645	7660	7674	7687	7700	7713	7725	7736	7747	7758
7483	7500	7515	7531	7545	7559	7573	7586	7598	7611	7622	7633	7644
7369	7386	7402	7417	7432	7446	7459	7473	7485	7497	7509	7520	7531
7256	7273	7289	7304	7319	7333	7347	7360	7373	7385	7397	7408	7419
7144	7161	7170	7192	7207	7221	7235	7248	7261	7273	7285	7297	7308
7032	7049	7066	7081	7096	7110	7124	7137	7150	7163	7174	7186	7197
6922	6939	6955	6971	6986	7000	7014	7028	7040	7052	7064	7076	7087
6812	6829	6845	6861	6876	6890	6904	6918	6930	6943	6955	6966	6978
6703	6720	6736	6752	6767	6781	6795	6809	6822	6834	6846	6858	6869
6594	6611	6628	6643	6658	6673	6687	6700	6713	6726	6738	6749	6761
6486	6503	6520	6535	6551	6565	6579	6593	6606	6618	6630	6642	6653
6379	6396	6412	6428	6443	6458	6472	6485	6498	6511	6523	6535	6546
6272	6289	6306	6321	6337	6351	6365	6379	6392	6404	6416	6428	6440
6166	6183	6199	6215	6230	6245	6259	6273	6286	6298	6310	6322	6334
6060	6077	6094	6110	6125	6139	6153	6167	6180	6193	6205	6217	6228
5955	5972	5989	6004	6020	6034	6048	6062	6075	6087	6100	6111	6123
5850	5868	5884	5900	5915	5930	5944	5957	5970	5983	5995	6007	6018

Нижние доверительные границы ВБР для

q	n										
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
00	3684	4729	5493	6070	6518	6877	7139	7411	7615	7791	7942
01	3593	4619	5370	5938	6379	6732	7020	7259	7462	7633	7782
02	3503	4511	5250	5809	6244	6592	6876	7112	7311	7481	7629
03	3415	4406	5133	5683	6112	6455	6735	6969	7166	7335	7480
05	3329	4302	5018	5560	5983	6322	6599	6830	7025	7192	7337
06	3244	4200	4905	5440	5857	6192	6466	6694	6888	7053	7197
06	3161	4101	4794	5321	5734	6035	6235	6562	6754	6918	7061
07	3079	4003	4686	5206	5613	5940	6208	6432	6622	6785	6927
08	2998	3906	4579	5092	5494	5818	6083	6305	6494	6656	6797
09	2919	3812	4475	4980	5378	5698	5961	6181	6368	6529	6669
10	2841	3719	4372	4871	5263	5580	5840	6058	6244	6404	6543
11	2765	3627	4270	4763	5151	5464	5722	5938	6122	6281	6419
12	2690	3537	4171	4657	5040	5350	5605	5820	6002	6160	6298
13	2616	3449	4073	4552	4931	5237	5490	5703	5884	6041	6178
14	2543	3362	3976	4449	4823	5127	5377	5588	5768	5924	6060
15	2472	3276	3881	4348	4718	5018	5266	5475	5654	5808	5943
16	2402	3191	3787	4248	4613	4910	5155	5363	5541	5694	5828
17	2332	3108	3695	4149	4510	4804	5048	5253	5429	5582	5715
18	2264	3026	3604	4052	4409	4699	4941	5144	5319	5469	5603
19	2198	2946	3514	3956	4309	4596	4835	5037	5210	5358	5492
20	2132	2866	3426	3862	4210	4494	4731	4931	5103	5249	5383
21	2067	2788	3339	3769	4113	4394	4628	4826	4997	5142	5275
22	2003	2711	3253	3677	4016	4294	4523	4723	4891	5035	5168
23	1941	2635	3168	3585	3921	4196	4425	4620	4788	4929	5062
24	1879	2560	3084	3496	3827	4099	4326	4519	4685	4824	4957
25	1819	2485	3002	3408	3735	4003	4228	4419	4583	4720	4853
26	1759	2413	2921	3321	3643	3908	4131	4320	4483	4618	4751
27	1701	2342	2841	3235	3553	3815	4034	4222	4383	4516	4648
28	1643	2271	2761	3149	3463	3722	3939	4125	4285	4415	4547
29	1587	2202	2683	3055	3375	3631	3845	4029	4187	4314	4447
30	1531	2133	2606	2982	3288	3540	3752	3934	4091	4215	4348

доверительной вероятности  $1-\beta=0,95$ 

<i>n</i>												
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
8074	8190	8293	8384	8467	8541	8609	8671	8727	8779	8827	8871	8912
7912	8027	8128	8219	8300	8374	8441	8502	8558	8609	8656	8700	8741
7757	7871	7971	8016	8142	8215	8282	8342	8398	8449	8496	8539	8580
7608	7720	7820	7910	7990	8063	8129	8189	8245	8296	8343	8386	8427
7463	7575	7674	7763	7843	7916	7982	8042	8097	8148	8195	8239	8279
7323	7434	7533	7621	7701	7773	7839	7899	7954	8005	8052	8096	8137
7183	7296	7394	7483	7562	7634	7700	7760	7815	7866	7914	7957	7998
7052	7162	7260	7347	7427	7499	7564	7625	7680	7731	7778	7822	7863
6920	7030	7127	7215	7294	7366	7432	7492	7547	7598	7646	7690	7731
6792	6901	6998	7085	7164	7236	7302	7362	7417	7468	7516	7560	7601
6665	6774	6871	6958	7037	7108	7174	7234	7289	7340	7388	7432	7473
6541	6649	6746	6833	6911	6983	7048	7108	7164	7215	7262	7306	7348
6419	6526	6623	6709	6788	6859	6924	6984	7040	7091	7138	7183	7224
6298	6405	6501	6588	6666	6737	6802	6862	6918	6969	7016	7061	7102
6180	6283	6382	6468	6546	6617	6682	6742	6797	6848	6896	6940	6982
6033	6169	6264	6350	6427	6498	6563	6623	6678	6730	6777	6821	6863
6541	6053	6147	6233	6310	6381	6446	6506	6561	6612	6660	6704	6745
6419	5938	6032	6118	6195	6265	6330	6390	6445	6496	6543	6588	6629
6298	5825	5919	6003	6081	6151	6215	6275	6630	6381	6428	6473	6514
6180	5713	5806	5991	5968	6038	6102	6161	6216	6267	6314	6359	6400
6063	5602	5695	5779	5856	5923	5990	6049	6104	6154	6202	6246	6287
5947	5493	5585	5669	5745	5815	5879	5938	5992	6043	6090	6134	6176
5833	5384	5476	5560	5635	5705	5768	5827	5882	5932	5979	6023	6065
5720	5277	5368	5451	5527	5596	5659	5718	5772	5823	5870	5914	5955
5609	5171	5262	5344	5419	5488	5551	5610	5664	5714	5761	5805	5846
5499	5055	5156	5238	5313	5381	5444	5502	5556	5603	5653	5697	5738
5390	4961	5051	5133	5207	5275	5338	5396	5450	5499	5546	5590	5631
5282	4858	4948	5029	5103	5170	5233	5290	5344	5394	5440	5483	5524
5175	4756	4845	4925	4999	5066	5128	5186	5239	5288	5335	5378	5419
5070	4655	4743	4823	4896	4963	5025	5082	5135	5184	5230	5273	5314
4965	4554	4642	4721	4794	4860	4922	4979	5031	5080	5126	5169	5210

q	n										
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
00	8350	8385	9019	9050	9079	9106	9132	9157	9180	9202	9222
01	8778	8814	8846	8877	8906	8934	8959	8984	9006	9028	9049
02	8617	8653	8686	8716	8745	8773	8798	8823	8846	8868	8888
03	8464	8500	8533	8564	8593	8620	8646	8670	8694	8716	8737
04	8317	8353	8386	8417	8446	8474	8500	8524	8548	8570	8591
05	8175	8210	8244	8275	8304	8332	8358	8383	8407	8429	8450
06	8036	8072	8105	8137	8166	8194	8221	8246	8270	8292	8314
07	7901	7937	7981	8002	8032	8060	8087	8112	8136	8159	8180
08	7769	7805	7839	7870	7900	7929	7995	7981	8005	8028	8050
09	7639	7675	7709	7741	7771	7800	7827	7852	7876	7899	7921
10	7512	7548	7582	7614	7644	7673	7700	7726	7750	7773	7795
11	7386	7423	7457	7489	7519	7548	7575	7601	7626	7649	7671
12	7263	7299	7333	7366	7396	7425	7452	7478	7503	7526	7549
13	7141	7177	7212	7244	7275	7304	7331	7357	7382	7405	7428
14	7021	7057	7092	7124	7155	7184	7211	7237	7262	7285	7308
15	6902	6938	6973	7005	7036	7065	7093	7119	7144	7168	7190
16	6784	6821	6855	6888	6919	6948	6975	7002	7027	7051	7073
17	6668	6705	6739	6772	6802	6832	6859	6886	6911	6935	6958
18	6553	6590	6624	6657	6688	6892	6745	6771	6796	6820	6843
19	6439	6476	6510	6543	6574	6779	6631	6657	6682	6706	6729
20	6326	6363	6397	6430	6461	6667	6518	6544	6570	6594	6617
21	6214	6251	6285	6318	6349	6556	6406	6432	6458	6482	6505
22	6104	6140	6174	6207	6238	6446	6295	6321	6347	6371	6394
23	5994	6030	6064	6097	6128	6337	6185	6211	6237	6261	6284
24	5885	5921	5955	5988	6019	6228	6076	6102	6127	6151	6174
25	5776	5813	5847	5879	5910	6120	5967	5994	6019	6043	6066
26	5669	5705	5740	5772	5803	6013	5860	5886	5911	5935	5958
27	5563	5599	5633	5665	5696	5906	5753	5779	5804	5828	5851
28	5457	5493	5527	5559	5590	5800	5646	5673	5698	5722	5745
29	5352	5388	5422	5454	5484	5695	5541	5567	5592	5616	5639
30	5248	5283	5317	5349	5380	5591	5436	5462	5487	5511	5534

n

38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
9242	9261	9278	9295	9312	9327	9342	9356	9370	9383	9395	9407	9418
9068	9087	9105	9122	9138	9153	9168	9182	9196	9209	9221	9233	9245
8908	8927	8945	8962	8978	8994	9008	9023	9036	9050	9062	9074	9086
8756	8775	8793	8811	8827	8843	8858	8872	8886	8900	8912	8925	8937
8611	8630	8648	8666	8683	8699	8714	8729	8743	8756	8769	8782	8794
8471	8490	8508	8526	8543	8559	8575	8590	8604	8618	8631	8644	8656
8334	8354	8372	8390	8407	8424	8439	8454	8469	8483	8496	8509	8522
8201	8221	8240	8258	8275	8291	8307	8322	8337	8351	8365	8378	8391
8070	8090	8109	8128	8145	8162	8178	8193	8208	8222	8236	8249	8262
7942	7963	7982	8000	8018	8034	8051	8066	8081	8096	8110	8123	8136
7817	7837	7856	7875	7892	7909	7926	7941	7956	8971	7985	7999	8012
7692	7713	7732	7751	7769	7786	7802	7818	7833	7848	7862	7876	7889
7570	7591	7610	7629	7647	7664	7681	7697	7712	7727	7741	7755	7768
7449	7470	7490	7508	7527	7544	7561	7577	7592	7607	7622	7635	7649
7330	7351	7370	7389	7408	7425	7442	7458	7474	7489	7503	7517	7531
7212	7233	7253	7272	7290	7307	7324	7341	7356	7371	7385	7400	7414
7095	7116	7136	7155	7173	7191	7208	7224	7240	7255	7270	7284	7298
6979	7000	7020	7040	7058	7076	7093	7109	7125	7140	7155	7169	7183
6865	6886	6906	6925	6944	6961	6978	6995	7011	7026	7041	7055	7069
6751	6772	6792	6812	6830	6848	6865	6882	6898	6913	6928	6942	6956
6638	6660	6680	6699	6718	6736	6753	6769	6785	6801	6816	6830	6844
6527	6548	6568	6587	6606	6624	6641	6658	6674	6689	6704	6719	6733
6416	6437	6457	6477	6495	6513	6531	6547	6563	6579	6594	6608	6622
6306	6327	6347	6367	6385	6403	6421	6437	6453	6469	6484	6498	6512
6197	6218	6238	6257	6276	6294	6311	6328	6344	6360	6375	6389	6403
6088	6109	6129	6149	6168	6186	6203	6220	6226	6251	6266	6281	6295
5980	6001	6022	6041	6060	6078	6095	6112	6128	6144	6159	6173	6187
5873	5894	5915	5934	5953	5971	5988	6005	6021	6037	6052	6066	6080
5767	5788	5808	5828	5846	5864	5882	5898	5914	5930	5945	5960	5974
5661	5682	5702	5722	5740	5758	5776	5792	5809	5824	5839	5854	5868
5556	5577	5597	5617	5635	5653	5671	5687	5703	5719	5734	5749	5763

Квантили  $\chi^2_{\nu}(L)$ 

L	v			Z	v		
	0,8	0,9	0,95		0,8	0,9	0,95
1	1,642	2,706	3,841	41	48,363	52,949	56,942
2	3,219	4,605	5,991	42	49,456	54,090	58,124
3	4,642	6,251	7,815	43	50,548	55,230	59,304
4	5,989	7,779	9,488	44	51,639	56,369	60,481
5	7,289	9,236	11,070	45	52,729	57,505	61,656
6	8,558	10,645	12,592	46	53,818	58,641	62,830
7	9,803	12,017	14,067	47	54,906	59,774	64,001
8	11,030	13,362	15,507	48	55,993	60,907	65,171
9	12,242	14,684	16,919	49	57,079	62,038	66,339
10	13,442	15,987	18,307	50	58,164	63,167	67,505
11	14,631	17,275	19,675	51	59,248	64,295	68,669
12	15,812	18,549	21,026	52	60,332	65,422	69,832
13	16,985	19,812	22,362	53	61,414	66,548	70,993
14	18,151	21,064	23,685	54	62,496	67,673	72,153
15	19,311	22,307	24,996	55	63,577	68,796	73,311
16	20,465	23,542	26,296	56	64,658	69,918	74,468
17	21,615	24,769	27,587	57	65,737	71,040	75,624
18	22,760	25,989	28,869	58	66,816	72,160	76,778
19	23,900	27,204	30,144	59	67,894	73,279	77,931
20	25,038	28,412	31,410	60	68,972	74,397	79,082
21	26,171	29,615	32,671	61	70,049	75,514	80,232
22	27,301	30,813	33,924	62	71,125	76,630	81,381
23	28,429	32,007	35,172	63	72,201	77,745	82,529
24	29,553	33,196	36,415	64	73,276	78,860	83,675
25	30,675	34,382	37,652	65	74,351	79,973	84,821
26	31,795	35,563	38,885	66	75,425	81,086	85,965
27	32,912	36,741	40,113	67	76,498	82,197	87,108
28	34,027	37,916	41,337	68	77,571	83,308	88,250
29	35,139	39,087	42,557	69	78,643	84,418	89,391
30	36,250	40,256	43,773	70	79,715	85,527	90,531
31	37,359	41,422	44,985	71	80,786	86,635	91,670
32	38,466	42,585	46,194	72	81,857	87,743	92,808
33	39,572	43,745	47,400	73	82,927	88,850	93,945
34	40,676	44,903	48,602	74	83,997	89,956	95,081
35	41,778	46,059	49,802	75	85,066	91,061	96,217
36	42,879	47,212	50,998	76	86,135	92,166	97,351
37	43,978	48,363	52,192	77	87,203	93,270	98,484
38	45,076	49,513	53,384	78	88,271	94,374	99,617
39	46,173	50,660	54,572	79	89,338	95,476	100,749
40	47,269	51,805	55,758	80	90,405	96,578	101,879

Продолжение табл. 4

L	v			L	v		
	0,8	0,9	0,95		0,8	0,9	0,95
81	91,472	97,680	103,010	91	102,117	108,661	114,268
82	92,538	98,780	104,139	92	103,179	109,756	115,390
83	93,604	99,880	105,267	93	104,241	110,850	116,511
84	94,669	100,980	106,395	94	105,303	111,944	117,632
85	95,734	102,079	107,522	95	106,364	113,038	118,752
86	96,799	103,177	108,648	96	107,425	114,131	119,871
87	97,863	104,275	109,773	97	108,486	115,223	120,990
88	98,927	105,372	110,898	98	109,547	116,315	122,108
89	99,991	106,469	112,022	99	110,607	117,407	123,225
90	101,054	107,565	113,145	100	111,667	118,498	124,342

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Основные положения . . . . .	1
2. Определение интервальной оценки показателей надежности объекта в случае безотказных испытаний . . . . .	12
3. Определение интервальной оценки показателей надежности объекта методом эквивалентного биномиального плана . . . . .	17
4. Определение интервальной оценки показателей надежности объекта методом подстановки . . . . .	17
5. Определение интервальной оценки показателей надежности объекта комбинированным методом . . . . .	18
6. Определение интервальной оценки показателей надежности объекта методом эквивалентного слабейшего звена . . . . .	19
Приложение 1. Справочное . . . . .	22
Приложение 2. Справочное . . . . .	23
Приложение 3. Справочное . . . . .	24
Приложение 4. Справочное . . . . .	26
Приложение 5. Обязательное . . . . .	31
Приложение 6. Рекомендуемое . . . . .	32
Приложение 7. Справочное . . . . .	35
Приложение 8. Справочное . . . . .	37
Приложение 9. Рекомендуемое . . . . .	38
Приложение 10. Рекомендуемое . . . . .	39
Приложение 11. Справочное . . . . .	41



## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**Надежность в технике. Интервальная оценка надежности  
технического объекта по результатам испытаний составных частей.  
Общие положения**

**РД 50—476—84**

Редактор *Т. А. Киселева*  
Технический редактор *Н. В. Келейникова*  
Корректор *Е. И. Евтеева*

Сдано в наб. 09.01.85 Подп. в печ. 11.07.85 Т—09066 Формат 60×90<sup>1/16</sup> Бумага типограф-  
ская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая 3,5 усл. п. л. 3,75 усл. кр.-отт.  
3,26 уч.-изд. л. Тираж 5000 Зак. 102 Цена 20 коп. Изд. № 8300/4

---

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП,  
Новопресненский пер., 3.  
Калужская типография стандартов, ул. Московская, 256.