

УДК 004.3

Л.И. Кульбак

## ИНТЕРВАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАСЧЕТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТА

*Приводится методика интервальной оценки показателей надежности объекта, имеющего последовательную структурную схему расчета надежности и исходные данные для расчета показателей надежности в виде интервальных оценок. Методика базируется на модели косвенных измерений.*

### Введение

Термин «интервальная оценка показателей надежности» отсутствует в основных стандартах по терминологии в области надежности [1–2]. Воспользуемся определением интервальной оценки, приведенной в [3], для формулировки данного термина.

Интервальная оценка показателя надежности представляет собой числовой интервал  $[X_{\text{CP}} - \Delta X, X_{\text{CP}} + \Delta X]$ , в который с определенной вероятностью  $\alpha$  попадает истинное значение показателя надежности. В обозначенном интервале  $X_{\text{CP}}$  – среднее значение показателя надежности,  $\Delta X$  – отклонение показателя надежности от среднего значения.

Условимся интервал показателя надежности представлять в виде  $[X_{\text{H}}, X_{\text{CP}}, X_{\text{B}}]\alpha$ , где  $X_{\text{H}}$ ,  $X_{\text{B}}$  – соответственно нижнее и верхнее значения интервала, а  $\alpha$  – доверительная вероятность данного интервала.

Работы, посвященные интервальным оценкам показателей надежности, встречаются достаточно редко. Данная тематика не нашла отражения и в справочниках по надежности (например, в [4–6]). В опубликованных работах по этой тематике, как правило, оцениваются результаты испытаний на надежность элементов и технических объектов.

Авторы статьи [7] утверждают, что каких-либо работ, в которых непосредственно рассматривалась бы проблема учета в расчетах надежности неопределенности, вызванной наличием доверительных интервалов при оценивании надежности элементов по схеме Бернулли, им найти не удалось. Однако такие работы имеются. К наиболее фундаментальным из них следует отнести РД 50-476-84 «Методические указания. Надежность в технике. Интервальная оценка надежности технического объекта по результатам испытаний составных частей. Общие положения» [8], в разработке которого принимали участие академики АН СССР Н.Н. Шереметьевский и Н.Н. Моисеев. Методы [8] распространяются на объекты, для которых структурная схема надежности представляет собой все сочетания последовательного и параллельного соединения элементов, в том числе многофункциональные с монотонной структурой, и результаты испытаний элементов должны быть представлены как испытания по биномиальному плану [8]. Определение интервальной оценки показателей надежности сводится к построению односторонних доверительных границ.

В РД 50-476-84 под объектом с монотонной структурой понимается объект, надежность которого не улучшается при ухудшении надежности его элементов, а под биномиальными планами испытаний понимаются планы испытаний, при проведении которых не фиксируются моменты отказов, а определяется лишь количество отказавших элементов за время испытаний объекта.

К развитию методов интервальной оценки расчетных показателей надежности объектов следует отнести статью [9]. В ней описан статистический метод получения интервальных оценок показателей надежности структурно-сложной системы, не приводимой к последовательно-параллельной или параллельно-последовательной структуре.

В работе [4] рассматривается определение вычислительной погрешности расчета надежности в ограниченном числе структур невозстанавливаемых систем с элементами, имеющими одинаковые показатели надежности и одинаковые доверительные вероятности интервалов значений этих показателей.

- В настоящей работе приняты следующие допущения и ограничения:
- исследованию подлежат лишь два свойства надежности – безотказность и ремонтпригодность;
  - оценке подлежат следующие показатели надежности восстанавливаемых объектов:  $\Lambda$  – интенсивность отказов,  $T_0$  – средняя наработка на отказ,  $P(t)$  – вероятность безотказной работы,  $T_B$  – среднее время восстановления,  $K_\Gamma$  – коэффициент готовности,  $K_{O,\Gamma}$  – коэффициент оперативной готовности;
  - наработка на отказ (до отказа) объектов и комплектующих их составных частей (элементов) имеет экспоненциальное распределение;
  - время восстановления составных частей объекта распределено по экспоненциальному закону;
  - показатель надежности объекта можно представить как функцию, аргументами которой являются показатели надежности его составных частей;
  - значения показателей надежности составных частей объекта представлены в виде интервалов с достаточно малым отклонением от среднего значения;
  - доверительная вероятность интервальных оценок у всех составных частей объекта должна быть единой;
  - структурная схема расчета надежности объекта может быть приведена к последовательной.

### 1. Общие положения

Расчет надежности согласно [10] – это процедура определения значений показателей надежности объекта с использованием методов, основанных на их вычислении по справочным данным о надежности элементов объекта, о надежности объектов-аналогов, о свойствах материалов и другой информации, имеющейся к моменту расчета.

В качестве примера приведем формулы расчета показателей надежности при последовательной структурной схеме расчета надежности для восстанавливаемого объекта:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^m \Lambda_i, \quad (1)$$

где  $\Lambda$  – интенсивность отказа объекта,  $m$  – количество типов элементов в объекте,  $\Lambda_i$  – интенсивность отказа  $i$ -го элемента структурной схемы надежности объекта;

$$T_0 = \frac{1}{\Lambda}, \quad (2)$$

где  $T_0$  – средняя наработка на отказ объекта;

$$P(t) = e^{-\Lambda t}, \quad (3)$$

где  $P(t)$  – вероятность безотказной работы объекта в течение наработки  $t$ ;

$$T_B = \sum_{i=1}^m \frac{T_{B,i} \Lambda_i}{\Lambda}, \quad (4)$$

где  $T_B$  – среднее время восстановления объекта,  $T_{B,i}$  – среднее время восстановления элемента  $i$ -го типа объекта;

$$K_\Gamma = \frac{T_0}{T_0 + T_B} = \frac{1}{1 + \Lambda T_B}, \quad (5)$$

где  $K_\Gamma$  – коэффициент готовности объекта;

$$K_{O,\Gamma} = K_\Gamma P(t), \quad (6)$$

где  $K_{O,Г}$  – коэффициент оперативной готовности объекта.

Из приведенных формул следует, что для оценки надежности восстанавливаемого объекта достаточно знать интенсивность отказов ( $\Lambda$ ) и среднее время восстановления ( $T_B$ ) объекта.

Существенной особенностью элементов объектов является то, что значения их показателей надежности известны лишь в виде интервальных оценок с установленной доверительной вероятностью. Такое положение обусловлено тем, что показатели надежности элементов находятся лишь в процессе испытаний при ограниченной их продолжительности.

Приведем примеры вычисления показателей надежности элементов в результате определительных испытаний или по данным реальной эксплуатации объекта.

В общем случае наработка элемента до отказа является случайной величиной, а показатели безотказности являются числовыми характеристиками случайной величины (математическим ожиданием и вероятностным значением). В принципе, в процессе эксперимента точно установить эти характеристики невозможно за время, меньшее бесконечности. Поэтому всегда следует использовать показатели, полученные с установленной точностью или находящиеся в определенном интервале.

Допустим, что оцениваются показатели надежности в виде средней наработки на отказ и интенсивности отказов элементов, объект подлежит испытаниям в течение наработки  $T_H$  и по исследуемому элементу зафиксировано  $m$  отказов. Оценку показателей надежности исследуемого элемента следует проводить по следующим формулам [11]:

$$T_{O,OP} = \frac{T_H}{m}; \quad (7)$$

$$T_{O,B} = r_1 T_{O,OP}; \quad (8)$$

$$T_{O,H} = r_2 T_{O,OP}, \quad m \neq 0; \quad (9)$$

$$T_{O,H} = \frac{T_H}{r_0}, \quad m = 0; \quad (10)$$

$$\Lambda_{OP} = \frac{1}{T_{O,OP}}; \quad (11)$$

$$\Lambda_H = \frac{\Lambda_{OP}}{r_1}; \quad (12)$$

$$\Lambda_B = \frac{\Lambda_{OP}}{r_3}; \quad (13)$$

$$r_1 = \frac{2m}{x_{1-\alpha}(2m)}; \quad (14)$$

$$r_2 = \frac{2m}{x_\alpha(2m+2)}; \quad (15)$$

$$r_3 = \frac{2m}{x_\alpha(2m)}; \quad (16)$$

$$r_0 = -\ln(1-\alpha), \quad (17)$$

где  $T_{O,OP}$  – опытное (точечное) значение средней наработки на отказ элемента;

$T_H$  – наработка элемента (объекта);

$m$  – число отказов элемента за наработку  $T_H$ ;

$\Lambda_{OP}$  – опытное (точечное) значение интенсивности отказов элемента;

$\Lambda_B, \Lambda_H$  – верхнее и нижнее значения интенсивности отказов соответственно;  
 $\chi_{1-\alpha}(2m), \chi_{\alpha}(2m+2), \chi_{\alpha}(2m)$  – квантили распределения  $\chi^2$ -квадрат, соответствующие вероятности  $(1-\alpha), \alpha, \alpha$  и числу степеней свободы  $2m, (2m+2)$  и  $2m$ .  
 Значения коэффициентов  $r_0, r_1, r_2, r_3$  даны в табл. 1–4.

Таблица 1  
 Значения коэффициента  $r_0$

$\alpha$	0,80	0,90	0,95
$r_0$	1,61	2,80	3,00

Таблица 2

Значения коэффициента  $r_1$ 

$\alpha$	Количество отказов $m$									
	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20
0,8	4,48	2,42	1,95	1,74	1,62	1,54	1,43	1,37	1,28	1,24
0,9	9,50	3,33	2,73	2,29	2,05	1,90	1,72	1,61	1,46	1,37

Таблица 3

Значения коэффициента  $r_2$ 

$\alpha$	Количество отказов $m$									
	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20
0,8	0,33	0,47	0,55	0,60	0,63	0,66	0,70	0,73	0,78	0,80
0,9	0,26	0,38	0,45	0,50	0,54	0,57	0,62	0,65	0,70	0,74

Таблица 4

Значения коэффициента  $r_3$ 

$\alpha$	Количество отказов $m$									
	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20
0,8	0,62	0,67	0,70	0,73	0,75	0,76	0,78	0,80	0,83	0,85
0,9	0,43	0,51	0,57	0,60	0,62	0,65	0,68	0,70	0,74	0,77

В результате определительных испытаний по наработке на отказ получают опытное (точечное) значение и доверительный интервал. При допущении экспоненциального распределения наработки на отказ опытное (точечное) значение соответствует средней наработке на отказ.

Следует отметить, что имеется принципиальная возможность пересчета интервала показателя надежности по данным его граничных значений и доверительной вероятности  $\alpha_1$  в интервал показателя надежности с другой доверительной вероятностью  $\alpha_2$ . С этой целью определяется опытное (точечное) значение показателя надежности по формуле

$$T_{0,оп} = T_{0,н} + \frac{T_{0,в} - T_{0,н}}{2}. \quad (18)$$

Затем из формулы (8) определяется

$$r_1 = \frac{T_{0,в}}{T_{0,оп}}, \quad (19)$$

а из таблицы коэффициентов  $r_1$  – значение числа отказов  $m$ , по которым находим интервал показателя надежности для доверительной вероятности  $\alpha_1$ . Зная значения  $T_{0,оп}$  и число отказов  $m$ , по формулам (8) и (9) определяются граничные значения интервала для доверительной вероятности  $\alpha_2$ .

## 2. Модель интервальной оценки показателей надежности объекта

Модель расчета показателей надежности объекта можно представить как косвенное вычисление функции ряда измеряемых аргументов. В качестве функции выступает формула расчета определенного показателя надежности объекта с аргументами в виде показателей надежности ее компонентов.

Косвенные измерения регламентируются нормативным документом [12].

Согласно [12] искомое значение физической величины  $A$  находят на основании результатов измерений аргументов  $a_1, \dots, a_i, \dots, a_m$ , связанных с искомой величиной уравнением

$$A = f(a_1, a_2, \dots, a_m). \quad (20)$$

Функция  $f$  должна быть известна из теоретических предпосылок или установлена экспериментально с погрешностью, которой можно пренебречь.

Результаты измерений аргументов и оценки их погрешностей могут быть получены из прямых, косвенных, совокупных и совместных измерений. Сведения об аргументах могут быть взяты из справочной литературы и технической документации.

Основные положения [12] устанавливаются для оценивания косвенно измеряемой величины и погрешностей результата измерения при линейной зависимости и отсутствии корреляции между погрешностями измерений аргументов и при нелинейной зависимости и отсутствии корреляции между погрешностями измерений аргументов.

Рассмотрим косвенные измерения при линейной зависимости, когда искомое значение  $A$  связано с  $m$  измеряемыми аргументами  $a_1, a_2, \dots, a_m$  уравнением

$$A = b_1 a_1 + b_2 a_2 + \dots + b_m a_m, \quad (21)$$

где  $b_1, b_2, \dots, b_m$  – постоянные коэффициенты при аргументах  $a_1, a_2, \dots, a_m$  соответственно.

*Примечание [12].* Если коэффициенты  $b_1, b_2, \dots, b_m$  определяют экспериментально, то задачу определения результата измерения величины решают поэтапно: сначала оценивают каждое слагаемое  $b_i a_i$  как косвенно измеряемую величину, полученную в результате произведения двух измеряемых величин, а потом находят оценку измеряемой величины  $A$ .

Результат косвенного измерения функции  $A$  вычисляют по формулам

$$A = A_{\text{CP}} \pm \Delta A; \quad (22)$$

$$A_{\text{CP}} = \sum_{i=1}^m b_i a_{\text{CP},i}; \quad (23)$$

$$\Delta A = \sum_{i=1}^m b_i \Delta a_i, \quad (24)$$

где  $A_{\text{CP}}$  – среднее значение измеряемой величины  $A$ ;

$\Delta A$  – отклонение измеряемой величины  $A$  от среднего значения (погрешность косвенного измерения);

$a_{\text{CP},i}$  – среднее значение  $i$ -го аргумента;

$\Delta a_i$  – отклонение значения  $i$ -го аргумента от среднего значения (погрешность измерения  $i$ -го аргумента).

Рассмотрим косвенные измерения при нелинейной зависимости. Согласно [12] при отсутствии корреляции между аргументами косвенно измеряемую функцию можно линеаризовать методом разложения в ряд Тейлора в виде

$$\Lambda = f(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) = f(\lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_m^*) \pm \sum_{i=1}^m \frac{df}{d\lambda_i} \Delta \lambda_i + R, \quad (25)$$

где  $f(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$  – функциональная зависимость измеряемой величины  $\Lambda$  от измеряемых аргументов  $\lambda_i$ ;

$\lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_m^*$  – средние значения измеренных аргументов;

$\frac{df}{d\lambda_i}$  – первая производная от функции  $f$  по аргументу  $\lambda_i$ , вычисленная в точке  $\lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_m^*$ ;

$\Delta\lambda_i$  – отклонение измеренного значения аргумента  $\lambda_i$  от его среднего значения (погрешность измеренного аргумента);

$R$  – остаточный член ряда (он мал относительно значения функции, и в связи с малостью погрешностей аргументов по отношению к их значениям им можно пренебречь).

Установлено, что корреляция между аргументами чаще всего возникает в тех случаях, когда их измерения проводятся одновременно и подвергаются одинаковому влиянию внешних условий (температуры, влажности, напряжения питающей сети, помех и т. п.), что не характерно при определении показателей надежности элементов.

Заметим, что абсолютную погрешность функции  $\Lambda$  можно вычислять по формуле Лагранжа [13]:

$$\Delta\Lambda = |\Lambda - \Lambda_{\text{CP}}| \leq \sum_{i=1}^m \left| \frac{df}{d\lambda_i} \right| \Delta\lambda_i, \quad (26)$$

где  $\Delta\Lambda$  – абсолютная погрешность функции  $\Lambda$ ;  $\Lambda_{\text{CP}}$  – среднее значение функции  $\Lambda$ ;  $\Delta\lambda_i$  – абсолютная погрешность значения аргумента  $\lambda_i$ .

В соответствии с [12] косвенно измеряемая функция  $\Lambda$  вычисляется по формулам

$$\Lambda = \Lambda_{\text{CP}} \pm \Delta\Lambda; \quad (27)$$

$$\Lambda_{\text{CP}} = f(\lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_m^*), \quad (28)$$

где  $\Lambda_{\text{CP}}$  – среднее значение косвенно измеряемой функции  $\Lambda$ ;

$$\Delta\Lambda = \sum_{i=1}^m \frac{df}{d\lambda_i} \Delta\lambda_i, \quad (29)$$

где  $\Delta\Lambda$  – погрешность косвенно измеряемой функции  $\Lambda$ .

### 3. Методика интервальной оценки показателей безотказности объекта

Распространим положения по косвенным измерениям на расчет показателей надежности объекта при наличии интервальных оценок показателей надежности его составных частей с заданным единым уровнем доверительной вероятности  $\alpha$ .

Для оценки показателей надежности объекта в нормативной документации рекомендуется разработать структурную схему расчета надежности.

Установлено, что подавляющее число структур объектов, показатели надежности которых подлежат расчету, можно привести к последовательной схеме расчета надежности (рис. 1).

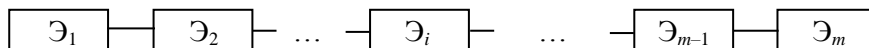


Рис. 1. Обобщенная структурная схема расчета надежности объекта

В соответствии с рис. 1 и согласно формуле (1) интенсивность отказов объекта  $\Lambda$  в этом случае следует вычислять по формуле

$$\Lambda = \sum_{i=1}^m \Lambda_{\mathcal{E}_i}, \quad (30)$$

где  $\Lambda_{\mathcal{E}_i}$  – интенсивность отказов  $i$ -го компонента структурной схемы надежности объекта.

Функция  $\Lambda$  будет линейной, если будут линейными ее компоненты. Для линеаризации формулы (30) потребуется линеаризация формул всех ее компонентов.

После линеаризации компоненты формулы (30) примут следующий вид:

$$\Lambda_{\text{Э},i} = \Lambda_{\text{СР},\text{Э},i} + \Delta\Lambda_{\text{Э},i}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad (31)$$

$$\Lambda_{\text{СР},\text{Э},i} = f_i(\lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_{m,i}^*), \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad (32)$$

$$\Delta\Lambda_{\text{Э},i} = \sum_{j=1}^{m_i} \frac{df_i}{d\lambda_{i,j}} \Delta\lambda_{i,j}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (33)$$

где  $\Delta\Lambda_{\text{Э},i}$  – абсолютная погрешность компонентов  $\Lambda_{\text{Э},i}$ ;

$\Lambda_{\text{СР},\text{Э},i}$  – среднее значение интенсивности отказов компонентов  $\Lambda_{\text{Э},i}$ ;

$\Delta\lambda_{i,j}$  – абсолютная погрешность значения аргумента  $\lambda_{i,j}$ ;

$f_i$  – функция  $i$ -го компонента структурной схемы расчета надежности объекта;

$m_i$  – количество аргументов в функции.

Формула (30) может иметь достаточно много разнообразных компонентов. В табл. 5 приведены наиболее часто встречаемые компоненты нерезервируемых систем. Резервируемые системы подлежат отдельному рассмотрению ввиду сложности изложения.

Таблица 5

Часто встречаемые компоненты нерезервируемых систем

Функция компонента	Среднее значение	Погрешность
$n\Lambda^*$	$n\Lambda_{\text{СР}}$	$\Delta\Lambda$
$n\Lambda^* \kappa^* \text{ иЭ}$	$n\Lambda_{\text{СР}} \kappa_{\text{СР,иЭ}}$	$n(\kappa_{\text{СР,иЭ}}\Delta\Lambda + \Lambda_{\text{СР}}\Delta\kappa_{\text{иЭ}})$
$\frac{n}{T_0^*}$	$\frac{n}{T_{0,\text{СР}}}$	$\frac{n\Delta T_0}{T_0^2}$

Интервальная оценка интенсивности отказов объекта с последовательной схемой расчета надежности (см. рис. 1) вычисляется по формулам

$$\Lambda_{\text{СР,ОБ}} = \sum_{i=1}^m \Lambda_{\text{СР},\text{Э},i}; \quad (34)$$

$$\Delta\Lambda_{\text{ОБ}} = \sum_{i=1}^m \Delta\Lambda_{\text{Э},i}; \quad (35)$$

$$\Lambda_{\text{ОБ,Н}} = \Lambda_{\text{СР,ОБ}} - \Delta\Lambda_{\text{ОБ}}; \quad (36)$$

$$\Lambda_{\text{ОБ,В}} = \Lambda_{\text{СР,ОБ}} + \Delta\Lambda_{\text{ОБ}}. \quad (37)$$

В соответствии с формулами (2), (28) и (29) интервальная оценка средней наработки на отказ объекта вычисляется по формулам

$$T_{0,\text{СР,ОБ}} = \frac{1}{\Lambda_{\text{СР,ОБ}}}; \quad (38)$$

$$\Delta T_{0,\text{ОБ}} = \frac{\Delta\Lambda_{\text{ОБ}}}{\Lambda_{\text{ОБ}}^2}; \quad (39)$$

$$T_{\text{ОБ,Н}} = 1 / \Lambda_{\text{СР,ОБ}} - \Delta T_{0,\text{ОБ}}; \quad (40)$$

$$T_{\text{ОБ,В}} = 1 / \Lambda_{\text{СР,ОБ}} + \Delta T_{0,\text{ОБ}}. \quad (41)$$

В соответствии с формулами (3), (28) и (29) интервальная оценка вероятности безотказной работы объекта вычисляется по формулам

$$P(t)_{\text{ОБ,СР}} = e^{-\Lambda_{\text{СР,ОБ}}t}; \quad (42)$$

$$\Delta P(t)_{\text{ОБ}} = e^{-\Lambda_{\text{СР,ОБ}}t} t \Delta \Lambda_{\text{ОБ}}; \quad (43)$$

$$P(t)_{\text{ОБ,Н}} = e^{-\Lambda_{\text{СР,ОБ}}t} (1 - t \Delta \Lambda_{\text{ОБ}}); \quad (44)$$

$$P(t)_{\text{ОБ,В}} = e^{-\Lambda_{\text{СР,ОБ}}t} (1 + t \Delta \Lambda_{\text{ОБ}}). \quad (45)$$

#### 4. Методика интервальной оценки показателя ремонтпригодности и комплексных показателей

В соответствии с формулами (4), (28) и (29) интервальная оценка среднего времени восстановления объекта вычисляется по формулам

$$T_{\text{В,СР,ОБ}} = \sum_{i=1}^m \frac{T_{\text{В,СР,Э},i} \Lambda_{\text{СР,Э},i}}{\Lambda_{\text{ОБ}}}; \quad (46)$$

$$\Delta T_{\text{В,ОБ}} = \sum_{i=1}^m \frac{\Lambda_{\text{СР,Э},i} \Delta T_{\text{В,СР,Э},i}}{\Lambda_{\text{ОБ}}}; \quad (47)$$

$$T_{\text{В,ОБ,Н}} = T_{\text{В,СР,ОБ}} - \Delta T_{\text{В,ОБ}}; \quad (48)$$

$$T_{\text{В,ОБ,В}} = T_{\text{В,СР,ОБ}} + \Delta T_{\text{В,ОБ}}. \quad (49)$$

В соответствии с формулами (5), (28) и (29) интервальная оценка коэффициента готовности объекта вычисляется по формулам

$$K_{\text{Г,ОБ,СР}} = \frac{T_{\text{О,ОБ,СР}}}{T_{\text{О,ОБ,СР}} + T_{\text{В,ОБ,СР}}}; \quad (50)$$

$$\Delta K_{\text{Г,ОБ}} = \frac{2\Delta T_{\text{О,ОБ}}}{(T_{\text{О,ОБ,СР}} + T_{\text{В,ОБ,СР}})} + \frac{T_{\text{О,ОБ,СР}} \Delta T_{\text{В,ОБ}}}{(T_{\text{О,ОБ,СР}} + T_{\text{В,ОБ,СР}})^2}; \quad (51)$$

$$K_{\text{Г,ОБ,Н}} = K_{\text{Г,СР,ОБ}} - \Delta K_{\text{Г,ОБ}}; \quad (52)$$

$$K_{\text{Г,ОБ,В}} = K_{\text{Г,СР,ОБ}} + \Delta K_{\text{Г,ОБ}}. \quad (53)$$

В соответствии с формулами (6), (28) и (29) интервальная оценка коэффициента оперативной готовности объекта вычисляется по формулам

$$K_{\text{О,Г,ОБ,СР}} = K_{\text{Г,ОБ,СР}} P(t)_{\text{ОБ,СР}}; \quad (54)$$

$$\Delta K_{\text{О,Г,ОБ}} = K_{\text{Г,ОБ,СР}} \Delta P(t)_{\text{ОБ}} + P(t)_{\text{ОБ,СР}} \Delta K_{\text{Г,ОБ}}; \quad (55)$$

$$K_{\text{О,Г,ОБ,Н}} = K_{\text{О,Г,СР,ОБ}} - \Delta K_{\text{О,Г,ОБ}}; \quad (56)$$

$$K_{\text{О,Г,ОБ,В}} = K_{\text{О,Г,СР,ОБ}} + \Delta K_{\text{О,Г,ОБ}}. \quad (57)$$



## 5. Алгоритм интервальной оценки показателей надежности объекта

Для интервальной оценки показателей надежности объекта рекомендуется следующий алгоритм:

*Шаг 1.* Составить последовательную структурную схему расчета надежности объекта.

*Шаг 2.* Записать формулы расчета интенсивности отказов каждого элемента структурной схемы.

*Шаг 3.* Выписать исходные данные, необходимые для расчета интенсивности отказов каждого элемента структурной схемы.

*Шаг 4.* Собрать для всех исходных данных интервальные оценки и привести их к единому значению доверительной вероятности.

*Шаг 5.* По формулам (32) и (33) определить средние значения интенсивностей отказов и отклонения от средних значений для всех элементов структурной схемы.

*Шаг 6.* По формулам (34) – (57) определить интервальные оценки всех показателей надежности объекта.

## Заключение

Приведенная методика интервальной оценки показателей надежности объекта, имеющего последовательную структурную схему расчета надежности и исходные данные для расчета показателей надежности в виде интервальных оценок, базируется на модели косвенных измерений и публикуется впервые в данной работе. В качестве измеряемой величины выступает показатель надежности объекта, представленный формулой, аргументами которой являются показатели надежности составных частей объекта, имеющих интервальную оценку.

Работа будет продолжена в направлении линеаризации формул резервируемых структур.

## Список литературы

1. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения : ГОСТ 27.002–89. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 37 с.
2. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения : ГОСТ Р 27.002–2009. – М. : Изд-во стандартов, 2009. – 75 с.
3. Теория погрешностей. Измерение физических величин [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа : <http://rudocs.exdat.com/docs/index-27707.html>. – Дата доступа : 20.07.2013.
4. Козлов, Б.А. Краткий справочник по расчету надежности радиоэлектронной аппаратуры / Б.А. Козлов, И.А. Ушаков. – М. : Советское радио, 1966. – 492 с.
5. Справочник. Надежность технических систем / под ред. проф. И.А. Ушакова. – М. : Радио и связь, 1985. – 606 с.
6. Надежность и эффективность в технике : справ. в 10 т. / под ред. д.т.н. А.И. Рембезы. – М. : Машиностроение, 1986.
7. Дубницкий, В.Ю. Определение вычислительной погрешности расчета надежности [Электронный ресурс] / В.Ю. Дубницкий, А.М. Кобылин, А.И. Ходырев. – 2013. – Режим доступа : <http://www.khai.csp/nauchpotal/Arhiv/REKS712/jubnits>. – Дата доступа : 20.07.2013.
8. Методические указания. Надежность в технике. Интервальная оценка надежности технического объекта по результатам испытаний составных частей. Общие положения : РД 50-476-84. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 87 с.
9. Струков, А.В. Интервальная оценка показателей надежности структурно-сложной системы по результатам биномиальных испытаний ее компонентов / А.В. Струков [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.szma.com/strukov%27s\\_lecture.pdf](http://www.szma.com/strukov%27s_lecture.pdf). – Дата доступа : 29.07.2013.
10. Надежность в технике. Расчет надежности. Общие положения : ГОСТ 27.301–95. Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1997. – 16 с.
11. Шор, Я.Б. Таблицы для анализа и контроля надежности / Я.Б. Шор, Ф.И. Кузьмин. – М. : Советское радио, 1968. – 289 с.

12. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей : МИ 2083–90. – М. : Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991.

13. Основы теории погрешности. Лекция 1[Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://wiki.auditory.ru/Лекция\\_1:\\_Основы\\_теории\\_погрешностей](http://wiki.auditory.ru/Лекция_1:_Основы_теории_погрешностей). – Дата доступа : 29.07.2013.

Поступила 23.07.13

*Объединенный институт проблем  
информатики НАН Беларуси,  
Минск, Сурганова,6  
e-mail: lkulbak@yandex.ru*

**L.I. Kulbak**

### **INTERVAL ESTIMATION OF OBJECT RELIABILITY INDICES**

The paper describes a method of interval estimation of reliability indices of an object having a consistent block diagram of reliability calculation and input data for calculation of reliability indices in the form of interval estimates. The technique is based on the model of indirect measurements.