

В.П. СТРЕЛЬНИКОВ, А.Н. ВОЛОЩУК, Н.Г. ВОРОНАЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СРЕДНИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Abstract: *Methods of planning are submitted with the purpose of the control of an average operating time over refusal of products of computer facilities on the basis of use diffusion distributions, and also exponential distribution. It is marked, that volume of tests (the minimal number of the samples necessary for tests) on a basis of exponential distribution are essentially overestimated in comparison with similar plans of the control over a basis diffusion distributions.*

Key words: *failure, an average operating time to failure, the plan of tests.*

Анотація: *Представлені методики планування з метою контролю середнього наробітку до відмови виробів обчислювальної техніки на основі використання дифузійних розподілів, а також експонентного розподілу. Відзначається, що обсяг випробувань (мінімальне число зразків, необхідних для випробувань) на основі експонентного розподілу істотно завищений у порівнянні з аналогічними планами контролю на основі дифузійних розподілів.*

Ключові слова: *відмова, середній наробіток до відмови, план випробувань.*

Аннотация: *Представлены методики планирования с целью контроля средней наработки до отказа изделий вычислительной техники на основе использования диффузионных распределений, а также экспоненциального распределения. Отмечается, что объем испытаний (минимальное число образцов, необходимых для испытаний) на основе экспоненциального распределения существенно завышен по сравнению с аналогичными планами контроля на основе диффузионных распределений.*

Ключевые слова: *отказ, средняя наработка до отказа, план испытаний.*

1. Введение

Основной целью контрольных испытаний является подтверждение или опровержение соответствия надежности партии продукции требованиям стандарта или технических условий. Контрольные испытания на надежность могут входить как составная часть в типовые, периодические и приемосдаточные испытания, основная цель которых сводится к проверке изделия на соответствие всем техническим требованиям. Планирование контрольных испытаний предусматривает использование той или иной теоретической функции распределения наработки до отказа. В зависимости от принятой теоретической функции распределения планы испытаний (объем испытаний) могут существенно отличаться. Целью настоящей работы является сравнительный анализ используемых планов и методов испытаний для контроля средней наработки до отказа средств вычислительной техники.

2. Определение браковочного и приемочного уровней контролируемого показателя надежности

По самой постановке задачи контрольные испытания должны строиться на противоречивых требованиях изготовителя партии и заказчика. Это обстоятельство накладывает определенный отпечаток на все вопросы, связанные с планированием и проведением контрольных испытаний. Заказчика, естественно, в первую очередь, интересует обеспечение незначительной вероятности ошибки при положительном исходе испытаний. В случае, когда партия принимается, заказчику необходима высокая степень уверенности в том, что данное решение правильно. С другой стороны, изготовитель, чтобы обеспечить себе благоприятные условия сдачи годной продукции,

вынужден при производстве изделий добиваться значительно более высокого уровня надежности, чем требуемый по техническим условиям и стандартам.

В связи с этим, чтобы учесть одновременно интересы изготовителя и заказчика, исходные данные для планирования контрольных испытаний задают в виде двух уровней надежности. При этом устанавливаются два значения показателя надежности изделий, в частности, при контроле средней наработки до отказа: приемочный T_α и браковочный T_β , соотношение между которыми выражается неравенством $T_\alpha > T_\beta$. Устанавливаются также два показателя достоверности контрольных испытаний: α – вероятность браковки партии с надежностью $T_u = T_\alpha$ (риск изготовителя); здесь T_u – истинное значение средней наработки до отказа; β – вероятность приемки партии с надежностью $T_u = T_\beta$ (риск заказчика).

Таким образом, постановка задачи планирования контрольных испытаний предусматривает в качестве исходных данных установленные значения рисков изготовителя (α) и заказчика (β), а также установленные значения приемочного (T_α) и браковочного (T_β) уровней контролируемого показателя надежности. В настоящее время в технической документации указывается, как правило, точечная оценка показателя надежности (T), который подлежит проверке при контрольных испытаниях на надежность. До сих пор в существующих нормативных документах, в том числе в стандартах по контрольным испытаниям, нет единого мнения о размещении интервала (T_β, T_α). Например, в межотраслевом стандарте [1] по контрольным испытаниям в качестве браковочного уровня T_β рекомендуется принимать значение показателя надежности T , заданное в технической документации, то есть интервал (T_β, T_α) смещен вправо относительно контролируемого уровня. В другом стандарте [2] для вычислительной техники ожидаемое (контролируемое) значение показателя надежности, установленное в технической документации, принимают в качестве приемочного значения ($T_\alpha = T$), то есть интервал (T_β, T_α) смещен влево относительно контролируемого уровня.

Необходимо отметить, что принятие значения контролируемого показателя надежности T , установленного в технической документации, в качестве одной из границ интервала (T_β, T_α) неверно с теоретической точки зрения и приводит к нежелательным последствиям. Если интервал (T_β, T_α) смещен влево относительно T , то это заведомо обеспечивает принятие порядка 50% изделий с уровнем надежности ниже контролируемого. Если принятый интервал (T_β, T_α) смещен вправо относительно контролируемого значения, то в таком случае по сути принимается и контролируется существенно завышенный уровень надежности, который требует увеличения объема испытаний.

Очевидно, что доверительный интервал (T_β, T_α) должен размещаться относительно T .
 Определение расположения доверительного интервала осуществляется на основе использования функции распределения контролируемого показателя (или достаточной статистики). Если в качестве теоретической модели распределения наработки (ресурса) изделий применяются, например, диффузионные распределения, то, используя свойства этих распределений, получают следующие оценки границ интервала.

Если принята гипотеза, что распределение времени наработки до отказа (на отказ) описывается DM -распределением, тогда распределение контролируемого показателя T типа «средняя наработка до отказа» можно записать в следующем виде:

$$F(T) = DM\left(t; T, \frac{v}{\sqrt{R}}\right) = \Phi\left(\frac{t-T}{v\sqrt{tT/R}}\right), \quad (1)$$

где $\Phi(\cdot)$ – функция нормированного нормального распределения; R – число отказов (число наработок до отказа, на основании которых определена средняя наработка T); t, v – наработка и параметр формы распределения (коэффициент вариации).

На основании функции распределения контролируемого показателя (1) можно записать:

$$T_\alpha = T \left(1 + \frac{v^2 U_\alpha^2}{2R} - \frac{v U_\alpha}{2\sqrt{R}} \sqrt{4 + \frac{v^2 U_\alpha^2}{R}} \right); \quad T_\beta = T \left(1 + \frac{v^2 U_\beta^2}{2R} + \frac{v U_\beta}{2\sqrt{R}} \sqrt{4 + \frac{v^2 U_\beta^2}{R}} \right). \quad (2)$$

При $\alpha = \beta$

$$T_\alpha \cdot T_\beta = T^2 \left(1 + \frac{v^2 U_\alpha^2}{2R} - \frac{v U_\alpha}{2\sqrt{R}} \sqrt{4 + \frac{v^2 U_\alpha^2}{R}} \right) \cdot \left(1 + \frac{v^2 U_\beta^2}{2R} + \frac{v U_\beta}{2\sqrt{R}} \sqrt{4 + \frac{v^2 U_\beta^2}{R}} \right) = T^2. \quad (3)$$

В практике контрольных испытаний обычно используют коэффициент D , представляющий собой отношение приемочного уровня к браковочному $D = \frac{T_\alpha}{T_\beta}$. Используя этот коэффициент, из уравнения (3) получают соотношения

$$T_\alpha = T \sqrt{D}; \quad T_\beta = \frac{T}{\sqrt{D}}. \quad (4)$$

Если в качестве теоретической модели распределения наработки использовать DN -распределение, то функция распределения контролируемого среднего показателя надежности как выборочного среднего значения описывается следующим выражением:

$$F(T) = DN\left(t; T, \frac{v}{\sqrt{R}}\right) = \Phi\left(\frac{t-T}{v\sqrt{tT/R}}\right) + \exp\left(\frac{2R}{v^2}\right) \cdot \Phi\left(-\frac{t+T}{v\sqrt{tT/R}}\right). \quad (5)$$

Из последнего распределения (5), где обозначения параметров прежние, аналогично (2), можно записать аналитические выражения для определения приемочного и браковочного значений:

$$T_\alpha = T \cdot x \left(1 - \alpha; \frac{v}{\sqrt{R}} \right); \quad T_\beta = T \cdot x \left(\beta; \frac{v}{\sqrt{R}} \right). \quad (6)$$

В последних уравнениях $x(F; \nu)$ – относительная величина (T_α / T или T_β / T), которая может быть определена из таблиц DN -распределения по значениям F и ν .

Сравнивая оценки приемочного T_α и браковочного значений T_β (формулы (4) и (6)), необходимо отметить, что, несмотря на их различные выражения, оценки получаются достаточно близкими. Установлено, что при экспериментальной оценке параметров диффузионных распределений оценки показателей надежности на их основе получаются достаточно близкими. И чем больше статистика, тем большее совпадение оценок показателей надежности.

Пример. Необходимо определить приемочное T_α и браковочное T_β значения для контроля среднего значения при следующих исходных данных:

$$T = 1; D = 2; \alpha = \beta = 0,1; \nu = 1; R = 9.$$

Решение 1. Принимая гипотезу о том, что в качестве теоретической модели распределения наработки используется DM -распределение, вычисляют значения T_α и T_β по формулам (4):

$$T_\alpha = T\sqrt{D} = \sqrt{2} = 1,414; \quad T_\beta = \frac{T}{\sqrt{D}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707.$$

Решение 2. Принимая гипотезу о том, что в качестве теоретической модели распределения наработки используется DN -распределение, вычисляют значения T_α и T_β по формулам (6):

$$T_\alpha = T \cdot x \left(1 - \alpha; \frac{\nu}{\sqrt{R}} \right) = x \left(1 - 0,1; \frac{1}{\sqrt{9}} \right) = 1,44;$$

$$T_\beta = T \cdot x \left(\beta; \frac{\nu}{\sqrt{R}} \right) = x \left(0,1; \frac{1}{\sqrt{9}} \right) = 0,692.$$

Как видно, значения вычисленных граничных значений контролируемого показателя надежности практически совпадают.

В дальнейшем рекомендуется использовать оценки граничных значений T_α и T_β по формулам (4) независимо от типа распределения, поскольку эти оценки представляются самыми простыми.

3. Контроль средней наработки до отказа

В настоящей работе рассматривается одноступенчатый контроль показателей надежности типа «средняя наработка» при плане испытаний [NUT]. Для выбора плана контроля абсолютные значения уровней T_α и T_β несущественны, план определяется лишь их отношением $D = T_\alpha / T_\beta$ и рисками α и β . В процессе контроля наработки на отказ фиксируется суммарное по всем N контролируемым образцам изделия число отказов r , а также суммарная

наработка $t_{\Sigma} = (N - r)t_u + \sum_{i=1}^r t_i$, где t_i – наработка i -го из отказавших изделий, а t_u – продолжительность испытаний. План контроля представляет собой пару чисел: браковочное число отказов r_{np} и предельную суммарную наработку t_{\max} . Контроль прекращается, как только будет достигнуто одно из этих значений. Если первым достигается $r = r_{np}$ при $t_{\Sigma} < t_{\max}$, то изделие бракуется; если достигается t_{\max} при $r < r_{np}$, то изделие принимается.

В зависимости от принятой теоретической модели распределения наработки до отказа планы испытаний могут существенно отличаться. Допустим, приняты следующие исходные данные: T_1 (контролируемая средняя наработка); $V = 0,75$ (ожидаемый коэффициент вариации наработки); $t_u = 0,5 \cdot T_1$; $\eta = t_u / T_1 = 0,5$; $\alpha = \beta = 0,1$; $D = 2$.

Решение 1 (на основе экспоненциального распределения). По значениям α, β, D из табл. 11 приложения 2 [1] определяют: $r_{np} = 14$; $t_{\max} / T_{\alpha} = 9,469$. Вычисляют число образцов N , которое необходимо поставить на испытания:

$$N = \frac{t_{\max}}{T_{\alpha}} \left(\frac{T_{\alpha}}{t_u} + 1 \right) = 9,469 \left(\frac{2T_1}{0,5 \cdot T_1} + 1 \right) \cong 48,$$

где $T_{\alpha} = D \cdot T_{\beta}$; $T_{\beta} = T_1$; $T_{\alpha} = 2T_1$; $t_u = 0,5T_1$.

Таким образом, согласно этому плану на испытания ставят $N = 48$ идентичных образцов и испытывают до момента времени $t_u = 0,5T_1$. Если в течение этого промежутка времени испытаний появится четырнадцатый отказ ($r_{np} = 14$), то испытания прекращают с отрицательным решением: средняя наработка до отказа испытываемых изделий не соответствует (меньше) требуемому значению. В случае, когда за время испытаний t_u количество отказов r будет менее r_{np} , принимают решение о соответствии контролируемого показателя требуемому значению.

Решение 2 (на основе DN -распределения). По значениям $\alpha, \beta, D, v, \eta$ из таблиц [3] определяют: $r_{np} = 8$; $N = 30$.

Таким образом, согласно плану контроля средней наработки до отказа на основе DN -распределения на испытания ставят $N = 30$ идентичных образцов и испытывают до момента времени $t_u = 0,5T_1$. Если в течение этого промежутка времени испытаний появится восьмой отказ ($r_{np} = 8$), то испытания прекращают с отрицательным решением: средняя наработка до отказа испытываемых изделий не соответствует (меньше) требуемому значению. В случае, когда за время испытаний t_u количество отказов r будет менее r_{np} , принимают решение о соответствии контролируемого показателя требуемому значению.

4. Выводы

Сравнивая планы контрольных испытаний для оценки средней наработки до отказа изделий при одинаковых заданных исходных данных (α, β, D) , можно отметить, что объем испытаний по DN -распределению более чем в полтора раза меньше по сравнению с экспоненциальным распределением. При более высоких требованиях по достоверности контроля (α, β, D) разница в объеме испытаний становится еще больше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 27.410-87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность. – Введ. 01.01.89. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 127 с.
2. ГОСТ 23773-88. Машины вычислительные электронные цифровые общего назначения. Методы испытаний. – Введ. 01.07.89. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 56 с.
3. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – К.: Логос, 2002. – 486 с.