

## ПЛАНИРОВАНИЕ ИСПЫТАНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ БЕЗОТКАЗНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Abstract:** The technique of planning tests is developed with the purpose of an estimation of probability of non-failure operation of technical systems on the basis of use  $DN$ -distribution. Analytical expressions for an estimation of confidential intervals (boundary values), allowable number of failures  $r$  and necessary number of samples  $N$  are received. It is shown, that is offered technique results in more effective (economic) plans of tests.

**Key words:** reliability function, confidential interval, relative mistake.

**Анотація:** Розроблено методику планування іспитів з метою оцінки імовірності безвідмовної роботи технічних систем на основі використання  $DN$ -розподілу. Отримано аналітичні вирази для оцінки довірчих інтервалів (граничних значень), припустимого числа відмовлень  $r$  і необхідного числа зразків  $N$ . Показано, що запропонована методика приводить до більш ефективних (економічних) планів іспитів.

**Ключові слова:** імовірність безвідмовної роботи, довірчий інтервал, відносна помилка.

**Аннотация:** Разработана методика планирования испытаний с целью оценки вероятности безотказной работы технических систем на основе использования  $DN$ -распределения. Получены аналитические выражения для оценки доверительных интервалов (граничных значений), допустимого числа отказов  $r$  и необходимого числа образцов  $N$ . Показано, что предлагаемая методика приводит к более эффективным (экономичным) планам испытаний.

**Ключевые слова:** вероятность безотказной работы, доверительный интервал, относительная ошибка.

### 1. Введение

Экспериментальная оценка показателей надежности является обязательным этапом и практически основным способом установления реальных количественных показателей надежности в процессе разработки и серийного производства изделий. В связи с этим вопросы планирования и обработки результатов испытаний на надежность являются весьма важными в общей проблеме обеспечения надежности изделий. Существующие нормативные материалы, устанавливающие параметрические методы оценки показателей надежности по результатам испытаний, основаны на использовании некоторых теоретических функций распределения (моделей надежности). Как известно, принятие той или иной теоретической модели надежности может существенно повлиять как на оценку показателей надежности, так и на планы испытаний.

Планирование испытаний на надежность и оценки доверительных интервалов показателей надежности объектов решаются просто, если известны функции распределения достаточных статистик (или оценок показателей надежности). При этом вид функции распределения достаточной статистики (или оцениваемого показателя надежности) и, соответственно, планы испытаний (наблюдений) существенно зависят от закона распределения первичной наблюдаемой статистики (наработки до отказа). В настоящей работе рассматриваются процедура планирования и оценки показателей надежности типа вероятность безотказной работы на основе использования  $DN$ -распределения.

### 2. Планирование испытаний на безотказность

Исходными данными для планирования испытаний на безотказность с целью определения вероятности безотказной работы за заданное время (наработку)  $t_{зад}$  являются:

- 1) доверительная вероятность  $q$  интервальной оценки вероятности безотказной работы;

- 2) предельная относительная ошибка  $\varepsilon$  оценки вероятности безотказной работы;
- 3) вид закона распределения случайной величины (наработки, ресурса);
- 4) ожидаемое значение коэффициента вариации  $V$  распределения наработки (ресурса) исследуемых объектов;
- 5) ожидаемый уровень вероятности безотказной работы за заданное время (наработку)  $R_0(t_{зад})$  (получают расчетным путем);
- 6) тип плана испытаний.

При определительных испытаниях с целью оценки вероятности безотказной работы используют план  $[NUT]$ , где значение  $T$ , как правило, совпадает с заданной наработкой, для которой определяется вероятность безотказной работы.

Определение необходимого объема испытаний, т.е. вычисление числа образцов  $N$ , которое нужно поставить на испытания, чтобы обеспечить определение вероятности безотказной работы с требуемой достоверностью и точностью  $(q, \varepsilon)$ , осуществляется в соответствии с нижеприведенными положениями.

Достаточной статистикой для оценки показателей надежности типа вероятность безотказной работы  $R(t)$  является статистика  $\vartheta = \frac{r}{N}$ , где  $r$  – число отказавших образцов за наработку  $t_{зад}$

из  $N$  образцов, поставленных на испытание ( $R(t) = 1 - \vartheta$ ). Установлено [1], что если  $t$  – случайная величина подчиняется  $DN$ -распределению вида  $DN(t; \mu, \nu)$ , то статистика  $\vartheta$  имеет распределение вида  $DN\left(\vartheta; \frac{s}{N}, \nu_r\right)$ :

$$F(\vartheta) = \Phi\left(\frac{\vartheta - s/N}{\nu_r \sqrt{\vartheta s/N}}\right) + \exp\left(\frac{2s}{\nu_r^2}\right) \cdot \Phi\left(-\frac{\vartheta + s/N}{\nu_r \sqrt{\vartheta s/N}}\right), \quad (1)$$

где  $\Phi(\cdot)$  – функция нормированного нормального распределения;  $s$  – математическое ожидание числа отказов за  $t_{зад}$ ;  $\nu_r = \frac{\nu}{\sqrt{s}}$  – параметр формы распределения, совпадающий с коэффициентом вариации статистики  $\vartheta$  (здесь  $\nu$  – коэффициент вариации распределения наработки до отказа испытываемых объектов предполагается известной величиной).

Используя функцию распределения достаточной статистики  $\vartheta$  (1), можно определить граничные оценки для вероятности безотказной работы в следующем виде:

$$R_n(t) = 1 - \vartheta_n^g; \quad R_g(t) = 1 - \vartheta_n^g,$$

где  $\vartheta_n^g = \frac{s}{N} x(1-q, \nu_r)$ ,  $\vartheta_g^g = \frac{s}{N} x(q, \nu_r)$  – квантили распределения (1) уровней  $(1-q)$  и  $q$ ;  $x(1-q, \nu_r)$  и  $x(q, \nu_r)$  определяют из таблиц функции  $DN$ -распределения по значениям  $F = 1 - q$  и  $\nu = \nu_r$ .

С учетом полученных выше результатов число допустимых отказов  $r$ , необходимое для удовлетворения задаваемой точности ( $\varepsilon$ ) и достоверности ( $q$ ) при известном параметре  $\nu$ , определяют по следующей формуле [1]:

$$r = \left( \frac{\nu U_q}{\varepsilon} \right)^2 \frac{(1 + \sqrt{1 + \varepsilon^2})}{2} = \frac{\nu U_q}{\varepsilon \sqrt{2}} \left( 1 + \sqrt{1 + \varepsilon^2} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

где  $U_q$  – квантиль нормированного нормального распределения уровня  $q$ .

Необходимое число образцов, которое нужно поставить на испытание, чтобы обеспечить появление  $r$  отказов за фиксированное время  $t_{зад}$ , определяется из соотношения

$$N = \frac{r}{1 - R_0(t_{зад})}. \quad (3)$$

### 3. Пример

*Постановка задачи.* Необходимо определить объем испытаний ( $N$ ) с целью оценки вероятности безотказной работы (ВБР) изделий с доверительной вероятностью  $q = 0,9$  и относительной ошибкой  $\varepsilon = 0,2$ . Вычислить граничные оценки ВБР. Известно, что ожидаемый коэффициент вариации наработки до отказа этих изделий равен  $\nu = 0,75$ , а ожидаемое значение ВБР за заданное время  $t_{зад} = 1000$  час равно  $R_0(t_{зад}) = 0,9$ .

*Решение.* Решаем поставленную задачу, используя настоящую методику:

1) Определяем допустимое число отказов  $r$ , которое нужно зафиксировать, чтобы удовлетворить заданные требования по точности ( $\varepsilon = 0,2$ ) и достоверности ( $q = 0,9$ ):

$$r = \frac{\nu U_q}{\varepsilon \sqrt{2}} \left( 1 + \sqrt{1 + \varepsilon^2} \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{0,75 \cdot 1,282}{0,2 \sqrt{2}} \left( 1 + \sqrt{1 + 0,04} \right)^{1/2} = 4,83 \approx 5.$$

2) Определяем необходимое число образцов, которые нужно поставить на испытания:

$$N = \frac{r}{1 - R_0(t_{зад})} = \frac{5}{1 - 0,9} = 50.$$

3) Допустим, что за время испытаний 50 образцов в течение 1000 час отказало  $\tilde{r} = 5$  образцов. Вычисляем значения ВБР:

$$\tilde{R}(t_{зад}) = 1 - \frac{\tilde{r}}{N} = 1 - \frac{5}{50} = 0,9;$$

$$\underline{R}(t_{зад}) = 1 - \frac{\tilde{r}}{N} x \left( q; \frac{\nu}{\sqrt{\tilde{r}}} \right) = 1 - 0,1 \cdot x(0,9; 0,335) = 1 - 0,1 \cdot 1,443 = 0,856;$$

$$\overline{R}(t_{зад}) = 1 - \frac{\tilde{r}}{N} x \left( 1 - q; \frac{\nu}{\sqrt{\tilde{r}}} \right) = 1 - 0,1 \cdot x(0,1; 0,335) = 1 - 0,1 \cdot 0,626 = 0,937.$$

Таким образом, для исходных данных ( $q = 0,9$ ;  $\varepsilon = 0,2$ ;  $\nu = 0,75$ ;  $R_0(t_{зад}) = 0,9$ ) на основании предлагаемой методики получают результаты:  $r = 5$ ;  $N = 50$ ;  $\underline{R}(t_{зад}) = 0,86$ ;

$$\bar{R}(t_{зад}) = 0,94.$$

Если решать поставленную задачу с использованием стандарта [2] (табл. 34), то получаем следующие результаты: план контроля с рисками  $\alpha = \beta = 0,1$  (что соответствует доверительной вероятности  $q = 0,9$ ) и аналогичными граничными оценками ВБР ( $\underline{R} = R_\beta = 0,86$ ;  $\bar{R} = R_\alpha = 0,94$ ) требует испытаний  $N = 91$  образцов с допустимым числом отказов  $C_\alpha = 8$ .

Если решать поставленную задачу с использованием нормативного документа [3] (табл. 28), то получаем следующие результаты: план для оценки ВБР ( $R_0(t_{зад}) = 0,9$ ) с доверительной вероятностью  $q = 0,9$ , при допустимом числе отказов  $d = 5$  требует испытаний  $N = 91$  образцов.

Сравнивая объемы испытаний для оценки вероятности безотказной работы, можно отметить, что предлагаемый план испытаний эффективнее (экономичнее) традиционных планов, основанных на использовании экспоненциального закона более, чем в два раза.

#### 4. Выводы

Разработана эффективная методика для планирования испытаний с целью оценки вероятности безотказной работы технических систем на основе использования  $DN$ -распределения, приводящая к сокращению объема испытаний практически в два раза по сравнению с традиционными. Представлены аналитические выражения для граничных оценок ВБР, а также формулы для определения объема испытаний (допустимого числа отказов  $r$  и необходимого числа образцов  $N$ ) для удовлетворения требований по точности и достоверности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – К.: Логос, 2002. – 486 с.
2. ГОСТ 27.410 – 87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность. – Введ. 01.01.89. – 78 с.
3. РД 50-690 – 89. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. – Введ. 01.01.91. – 132 с.