



УДК 621.3.019.3

П.В. СТРЕЛЬНИКОВ*

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОЦЕНИВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПРИ МАЛОМ ЧИСЛЕ ОТКАЗОВ

*Институт проблем математических машин и систем НАН Украины, Киев, Украина

Анотація. Розроблено програмне забезпечення для обробки результатів спостереження у процесі експлуатації технічних систем з метою визначення показників надійності спостережуваних систем при малій кількості відмов.

Ключові слова: надійність, гамма-відсоткове напрацювання, розподіл наробітку до відмови.

Аннотация. Разработано программное обеспечение для обработки результатов наблюдения в процессе эксплуатации технических систем с целью определения показателей надежности наблюдаемых систем при малом числе отказов.

Ключевые слова: надежность, гамма-процентная наработка, распределение наработки до отказа.

Abstract. The software for processing the results of observations during the operation of technical systems in order to determine the reliability of the observed systems with a small number of failures was developed.

Keywords: reliability, gamma-percent operating time, distribution of operating time.

1. Введение

В ряде работ [1–3] разработаны методики оценки показателей надежности при малом числе отказов при наблюдении в процессе эксплуатации объектов на основе использования в качестве теоретической модели отказов DN -распределения. Типичными планами наблюдений с целью оценки показателей надежности высоконадежных и сложных систем представляются планы с однократным цензурированием (планы [NUr], [NUT]) или планы при многократном цензурировании ([NRr], [NRT]). Следует отметить, что оценки параметров двухпараметрического DN -распределения, в частности, максимально правдоподобные оценки параметра масштаба μ и параметра формы ν при усеченных наблюдениях получают из решения достаточно сложных систем уравнений [1]. Ниже представляются программы для вычисления показателей надежности при наблюдении малого числа отказов (но не менее шести).

2. Общие положения

Настоящая программа предназначена для вычисления параметров DN -распределения (μ, ν) и показателей надежности, когда объем статистических данных об отказах превышает шесть. При числе отказов, равном шести, и при использовании DN -распределения представляется возможным оценить параметры распределения (μ, ν) с минимальными требованиями по достоверности ($q = 0,8$; $\delta = 0,4$).

Заметим, что уже много десятков лет уровень доверительной вероятности оценки интенсивности отказов высоконадежных изделий электронной техники (резисторов, интегральных схем и др.) принимается равным $q = 0,6$.

Программа позволяет получить оценки параметров DN -распределения, вычислить все необходимые показатели надежности при однократном цензурировании и наличии отказов в соответствии с планами испытаний [NUR] и [NUT], а также при многократном цензурировании в соответствии с планами испытаний [NRr] и [NRT]. Все формулы и системы уравнений взяты из работы [1].

3. Алгоритм программы

A_0 . Ввод исходных данных.

A_{01} . План испытаний [NUT]: $N=$; $T=$; $m = d =$; $t_1 =$; $t_2 =$; $\dots t_d =$; $t_r = t_d$. На A_2 .

A_{02} . План испытаний [NUR]: $N=$; $m = r =$; $t_1 =$; $t_2 =$; $\dots t_r =$. На A_2 .

A_{03} . План испытаний [NRr]: $N=$; $r =$; $t_1 =$; $t_2 =$; $\dots t_r =$; $n =$; $\tau_1 =$; $\tau_2 =$; $\dots \tau_n =$ (τ_i – наработка неотказавших образцов). На A_3 .

A_{04} . План испытаний [NRT]: $N=$; $T=$; $r =$; $t_1 =$; $t_2 =$; $\dots t_r =$; $n =$; $\tau_1 =$; $\tau_2 =$; $\dots \tau_n =$. На A_3 .

A_2 . Вычисление максимально-правдоподобных оценок параметров DN -распределений при однократном усечении выборки (планы испытаний [NUR] или [NUT]).

Максимально-правдоподобные оценки параметров DN -распределения вычисляют при решении системы уравнений:

$$\begin{cases} v^2 + \frac{m'_1}{\mu} - \mu m'_{-1} - \frac{(N-m)}{m[1-DN(t_r; \mu, v)]} \left[v^2 DN(t_r; \mu, v) + \frac{\mu'_1}{\mu} - \mu \mu'_{-1} \right] = 0, \\ 2 + v^2 - \frac{m'_1}{\mu} - \mu m'_{-1} - \frac{(N-m)}{m[1-DN(t_r; \mu, v)]} \left[(2+v^2) DN(t_r; \mu, v) - \mu \mu'_{-1} - \frac{\mu'_1}{\mu} \right] = 0, \end{cases}$$

где $m = r$ – число отказов до момента усечения за время испытаний (наблюдений) по плану [NUT] или $m = d$ числу отказов при плане испытаний (наблюдений) [NUR] (при этом $t_r = t_d$);

$$\begin{aligned} m'_1 &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i; & m'_{-1} &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{1}{t_i}; & \mu'_{-1} &= \int_0^{t_r} \frac{1}{t} f_N(t) dt, \\ \mu'_1 &= \int_0^{t_r} t f_N(t) dt; & f_N(t) &= \frac{\sqrt{\mu}}{vt \sqrt{2\pi t}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2v^2 \mu t}\right], \\ DN(t_r; \mu, v) &= \Phi\left(\frac{t_r - \mu}{v \sqrt{\mu t_r}}\right) + \exp\left(\frac{2}{v^2}\right) \Phi\left(-\frac{t_r + \mu}{v \sqrt{\mu t_r}}\right). \end{aligned}$$

На печать $\tilde{\mu}, \tilde{v}$. На A_4 .

A_3 . Вычисление максимально-правдоподобных оценок параметров DN -распределения при многократном усечении выборки (планы испытаний [NRr] или [NRT]).

Максимально-правдоподобные оценки параметров DN -распределения вычисляют при решении системы уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} v^2 + \frac{m'_1}{\mu} - \mu m'_{-1} - \frac{1}{r} \sum_{j=1}^{N-r} \left[\frac{v^2 DN(\tau_j; \mu, v) + \frac{\mu'_{1j}}{\mu} - \mu \mu'_{-1j}}{1 - DN(\tau_j; \mu, v)} \right] &= 0, \\ 2 + v^2 - \frac{m'_1}{\mu} - \mu m'_{-1} - \frac{1}{r} \sum_{j=1}^{N-r} \left[\frac{(2 + v^2) DN(\tau_j; \mu, v) - \mu \mu'_{-1j} - \frac{\mu'_{1j}}{\mu}}{1 - DN(\tau_j; \mu, v)} \right] &= 0, \end{aligned} \right.$$

где обозначения $m'_1, m'_{-1}, \mu'_{1j}, \mu'_{-1j}$ приведены выше;

$$DN(\tau_j; \mu, v) = \Phi\left(\frac{\tau_j - \mu}{v\sqrt{\mu\tau_j}}\right) + \exp\left(\frac{2}{v^2}\right) \Phi\left(-\frac{\tau_j + \mu}{v\sqrt{\mu\tau_j}}\right). \text{ На печать } \tilde{\mu}, \tilde{v}. \text{ На } A_4.$$

A_4 . Вычисление доверительных границ параметров DN -распределения.

При достаточной статистике ($m > 6$) и планах испытаний [NUr] или [NUT] нижние доверительные границы (НДГ) параметров вычисляют по формулам:

$$\underline{\mu} = \tilde{\mu} x\left(1 - q; \frac{\tilde{v}}{\sqrt{m}}\right); \quad \underline{v} = \tilde{v} \left\{ 1 + \frac{(1 + 2\tilde{v}^2)U_q^2}{4m} - \frac{U_q}{4m} \sqrt{[8m + (1 + 2\tilde{v}^2)U_q^2](1 + 2\tilde{v}^2)} \right\}.$$

Верхние доверительные границы (ВДГ) параметров DN -распределения вычисляют по формулам:

$$\bar{\mu} = \tilde{\mu} x\left(q; \frac{\tilde{v}}{\sqrt{m}}\right); \quad \bar{v} = \tilde{v} \left\{ 1 + \frac{(1 + 2\tilde{v}^2)U_q^2}{4m} + \frac{U_q}{4m} \sqrt{[8m + (1 + 2\tilde{v}^2)U_q^2](1 + 2\tilde{v}^2)} \right\}.$$

На печать $\bar{\mu}, \underline{\mu}, \bar{v}, \underline{v}$.

A_5 . Вычисление точечных оценок и доверительных границ определяемых показателей надежности на основе DN -распределения.

Точечную оценку и доверительные границы средней наработки до отказа (ресурса) вычисляют по формулам:

$$\tilde{T}_{cp} = \tilde{\mu}; \quad \underline{T}_{cp} = \underline{\mu}; \quad \bar{T}_{cp} = \bar{\mu}.$$

Точечную оценку и доверительные границы гамма-процентной наработки до отказа (ресурса) вычисляют по формулам:

$$\tilde{T}_\gamma = \tilde{\mu} \cdot x(1 - \gamma; \tilde{v}); \quad \underline{T}_\gamma = \underline{\mu} \cdot x(1 - \gamma; \bar{v}); \quad \bar{T}_\gamma = \bar{\mu} \cdot x(1 - \gamma; \underline{v}).$$

Точечную оценку и доверительные границы вероятности безотказной работы (ВБР) за наработку t вычисляют по формулам:

$$\begin{aligned} \tilde{P}(t) &= \Phi\left(\frac{\tilde{\mu} - t}{\tilde{v}\sqrt{\tilde{\mu}t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\tilde{v}^2}\right) \Phi\left(-\frac{\tilde{\mu} + t}{\tilde{v}\sqrt{\tilde{\mu}t}}\right); \quad \underline{P}(t) = \Phi\left(\frac{\underline{\mu} - t}{\underline{v}\sqrt{\underline{\mu}t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\underline{v}^2}\right) \Phi\left(-\frac{\underline{\mu} + t}{\underline{v}\sqrt{\underline{\mu}t}}\right); \\ \bar{P}(t) &= \Phi\left(\frac{\bar{\mu} - t}{\bar{v}\sqrt{\bar{\mu}t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\bar{v}^2}\right) \Phi\left(-\frac{\bar{\mu} + t}{\bar{v}\sqrt{\bar{\mu}t}}\right). \end{aligned}$$

Точечную оценку и доверительные границы вероятности безотказной работы в заданном интервале $(t, t + t_{зад})$ вычисляют по формулам:

$$\tilde{P}(t, t_{зад}) = \frac{\Phi\left(\frac{\tilde{\mu} - t - t_{зад}}{\tilde{v} \sqrt{\tilde{\mu} (t + t_{зад})}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\tilde{v}^2}\right) \cdot \Phi\left(-\frac{\tilde{\mu} + t + t_{зад}}{\tilde{v} \sqrt{\tilde{\mu} (t + t_{зад})}}\right)}{\Phi\left(\frac{\tilde{\mu} - t}{\tilde{v} \sqrt{\tilde{\mu} t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\tilde{v}^2}\right) \cdot \Phi\left(-\frac{\tilde{\mu} + t}{\tilde{v} \sqrt{\tilde{\mu} t}}\right)};$$

$$P(t, t_{зад}) = \frac{\Phi\left(\frac{\mu - t - t_{зад}}{\underline{v} \sqrt{\mu (t + t_{зад})}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\underline{v}^2}\right) \cdot \Phi\left(-\frac{\mu + t + t_{зад}}{\underline{v} \sqrt{\mu (t + t_{зад})}}\right)}{\Phi\left(\frac{\mu - t}{\underline{v} \sqrt{\mu t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\underline{v}^2}\right) \cdot \Phi\left(-\frac{\mu + t}{\underline{v} \sqrt{\mu t}}\right)};$$

$$\bar{P}(t, t_{зад}) = \frac{\Phi\left(\frac{\bar{\mu} - t - t_{зад}}{\bar{v} \sqrt{\bar{\mu} (t + t_{зад})}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\bar{v}^2}\right) \cdot \Phi\left(-\frac{\bar{\mu} + t + t_{зад}}{\bar{v} \sqrt{\bar{\mu} (t + t_{зад})}}\right)}{\Phi\left(\frac{\bar{\mu} - t}{\bar{v} \sqrt{\bar{\mu} t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\bar{v}^2}\right) \cdot \Phi\left(-\frac{\bar{\mu} + t}{\bar{v} \sqrt{\bar{\mu} t}}\right)}.$$

На печать $\tilde{T}_{cp}, \underline{T}_{cp}, \bar{T}_{cp}, \tilde{T}_\gamma, \underline{T}_\gamma, \bar{T}_\gamma, \tilde{P}(t), P(t), \bar{P}(t)$.

Программа была скомпилирована в среде Embarcadero Rad Studio 2009 (C++ Builder 13).

4. Инструкция, руководство пользователя и пример решения задач с использованием программы n_mater

Программа, реализующая вышеприведенный алгоритм, названа Normat Mater (n_mater). Основная оболочка программы показана на рис. 1.

Инструкция пользователя программы n_mater

1. Запуск программы.
2. Ввод исходных данных в панели «Admission figures».
3. Ввод исходных значений в массив на панели «Arrays data».
4. Запуск программы на выполнение с помощью кнопки «Calculate» в самом низу рабочей формы.
5. Просмотр и анализ результатов в таблице на форме «Normat mater results», вывод на печать с помощью кнопки «Print results».

Примечание. Приняты обозначения: eps – точность вычисления параметров;

N=T count (число образцов, поставленных на испытания); n=Tau count (число цензурированных); T=TNUT (продолжительность испытаний при плане [NUT]); T= NRT (продолжительность испытаний при плане [NRT]); d=dNUT (число отказов при плане [NUT]); r=rNUT (число отказов при плане [NUT]); r=rNRT (число отказов при плане [NRT]); $\{t_1, t_2, \dots, t_N\}$ =Array t (count N) = 478, 607, ... 9250;

$\{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n\}$ =Array tau (count n)=... Если $n = 0$ (нет наработок до цензурирования), то задают: Tau count =1, а Array tau (count 1) и Value=0.

t для $P(t, t_{зад}) - t$; $t_{зад} = \text{tgiv}$;

$q = q$ (доверительная вероятность оценки параметров);

$\gamma = \text{Gamma}$.

Программа n_mater

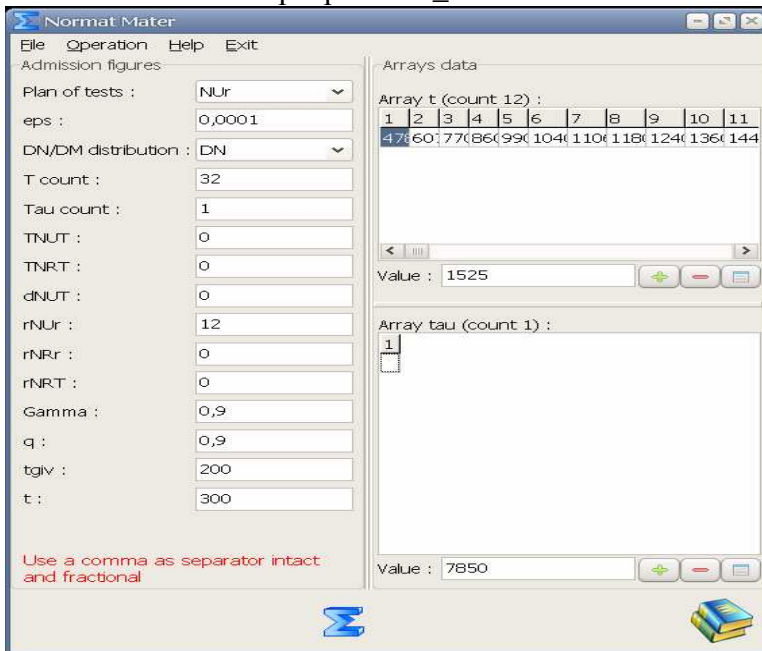


Рис. 1. Основная оболочка программы

Пример 1 (план [NUr], DN-распределение)

1. Обнуление старых данных (нажатием кнопки «Clear»).

2. Ввод новых исходных данных: Plan of tests (план испытаний) – NUr.

Ввод исходных данных: T count–32; Array t–478, 607, 770, 860, 990, 1040, 1106, 1180, 1240, 1360, 1441, 1525; Tau count–1; TNUT – 0; TNRT–0; dNUT–0; rNUR–12; rNRr–0; rNRT–0; q–0,9;

3. Если ставится задача оценки таких показателей, как T_γ , $P(t_{зад})$, $P(t, t + t_{зад})$, то задаются значения: Gamma–0,9; tgiv–200; t–300.

Форма с введенными

данными выглядит, как показано на рис. 1.

4. Запуск программы (нажатие Σ).
5. Распечатка результатов расчета (нажатие кнопки с пиктограммой «принтер»).
6. Выход из программы (пункт меню Exit или нажатием на крестик в шапке окна).
7. Форма с выведенными данными выглядит, как показано на рис. 2.

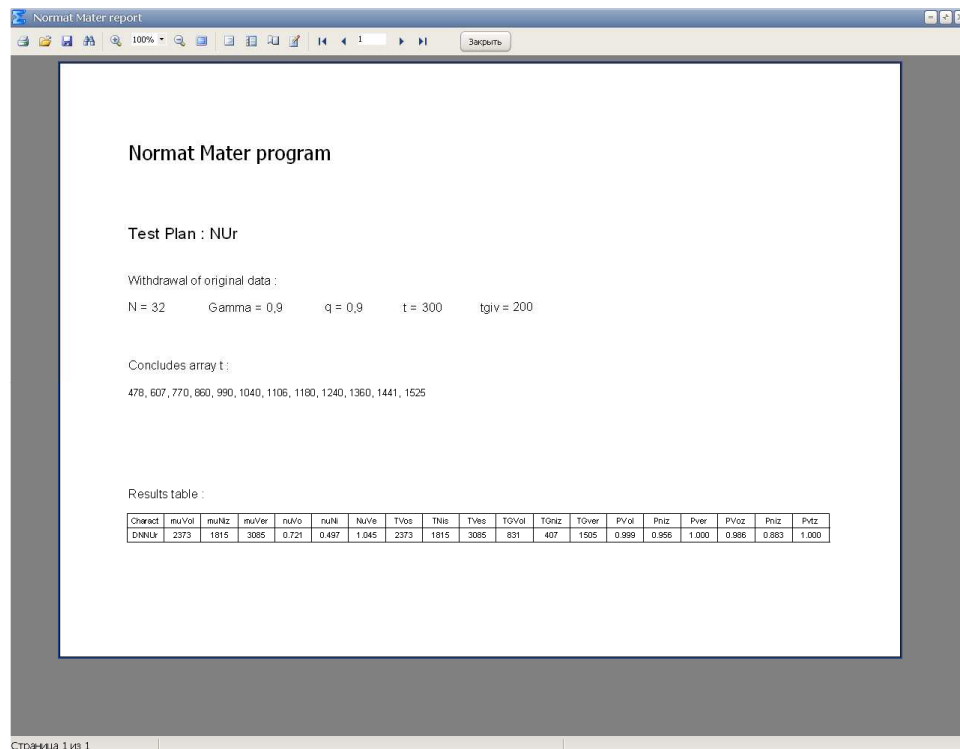


Рис. 2. Форма с введенными данными

Отметим, что оценка средней наработки до отказа в приведенном примере на основании укороченной выборки (12 наработок), равная $\tilde{T}_{cp} = 2373$ ч, имеет погрешность менее 5% по сравнению с оценкой средней наработки генеральной совокупности испытанных объектов (магнитофонов) [3] в количестве 96 образцов и равной $\tilde{T} = 2280$ ч.

5. Заключение

Разработано программное обеспечение для обработки результатов наблюдения в процессе эксплуатации технических систем с целью определения показателей надежности наблюдаемых систем при малом числе отказов. При этом определяются закон распределения наработки до отказа (на отказ) и все необходимые показатели надежности (средняя наработка до отказа (на отказ), гамма-процентная наработка, вероятность безотказной работы за заданное время или в заданном интервале наработки).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стрельников В.П. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем / В.П. Стрельников, А.В. Федухин. – К.: Логос, 2002. – 486 с.
2. Стрельников В.П. Оценка надежности по малой выборке с использованием дополнительной априорной информации / В.П. Стрельников, П.В. Стрельников // Материалы Междунар. конф. «Системные проблемы качества, математического моделирования, информационных, электронных и лазерных технологий». – Москва: Радио и связь, 2002. – Ч. 2. – С. 163 – 167.
3. Азарсков В.Н. Надежность систем управления и автоматики: учеб. пособ. / В.Н. Азарсков, В.П. Стрельников. – К.: НАУ, 2004. – 164 с.

Стаття надійшла до редакції 08.10.2013