

**УДК 338.45**

**ББК 65.9.050**

**Ч-751**

**В. З. Чокой**  
**Иркутск, Россия**

## **ИНСТРУМЕНТЫ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ЦЕНЗУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ**

Экономические трудности, сопровождающие авиаперевозки российскими авиакомпаниями в последние годы, а также определённые проблемы в обеспечении безопасности полетов требуют изыскания и приведения в действие скрытых резервов эффективности. Одним из резервов может стать реальное управление эксплуатационной надёжностью воздушных судов и наземных элементов авиатранспортных систем. Такое управление предполагает решение комплекса задач, одной из которых является формирование корректного программного обеспечения для многоаспектной оценки надёжности в условиях неполных, цензурированных данных. Выполнение такой оценки до сих пор составляет известную сложность, особенно для персонала с недостаточной математической и компьютерной подготовкой. В статье анонсируется пакет инструментальных оболочек для непараметрической оценки надёжности с помощью ЭВМ.

**Ключевые слова:** надёжность, показатели надёжности, авиационная техника, непараметрическая оценка, цензурированные данные

**V. Z. Chokoj**  
**Irkutsk, Russia**

## **TOOLS OF NON-PARAMETRIC ESTIMATE OF AIRCRAFT EQUIPMENT RELIABILITY WITH CENSORED DATA**

Economic difficulties in air transportation in Russia over the recent years as well as particular problems of flight safety require exploring and actuating latent reserves of efficiency. One of the reserves can be real control of operation reliability of aircraft and ground-based elements of air transport systems. The control proposes solving the problems one of which is correct software formation for reliability multiple-aspect estimate with incomplete censored data. The estimate involves a certain problem especially for the staff having insufficient mathematical and computer training. The article announces the packet of tool skins for non-parametric estimate of reliability by means of ECM.

**Key words:** reliability, reliability indices, aircraft equipment, non-parametric estimate, censored data

В соответствии с методами оценки показателей надежности по цензурированным выборкам [Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по цензурированным выборкам. ГОСТ 27.504-84.] для определения показателей надежности (безотказности, долговечности, сохраняемости, ремонтно-пригодности) применяют два подхода:

*непараметрический* – при неизвестном виде закона распределения наработки до отказа, который предполагает оценку показателей надежности по выборочным данным;

*параметрический* – при известном виде закона распределения, который предполагает предварительную оценку параметров закона распределения, входящих в расчетную формулу оцениваемого показателя надежности, и последующую оценку нужного показателя надежности.

Ниже рассмотрен непараметрический подход к точечной оценке средней наработки до отказа  $\bar{t}$ , точечной оценке гамма-процентной наработки  $\bar{t}_{\gamma\%}$ , точечной и интервальной оценкам вероятности безотказной работы  $P(t)$ ,  $P_H(t)$  и  $P_B(t)$  – с использованием эмпирической интегральной функции распределения, формируемой в общем случае по цензурированным слева и справа выборкам. Данный подход рассмотрен в [Одареев, 2011; Чоккой, 2006, 2011; Величко 2006]

и реализован в авторском пакете электронных инструментов оценки надежности, получившем условное наименование Оптимист.

*Предварительные процедуры с исходными данными.* Исходными данными для непараметрической оценки показателей надежности являются:

выборочные значения наработки до отказа  $t_1, t_2, \dots, t_r$ ;

выборочные значения наработки до цензурирования  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ ;

число наработок до отказа  $r$ ;

число наработок до цензурирования  $n$ ;

объем выборки  $N = r + n$ .

Наработки до отказа и цензурирования выстраивают в единый вариационный ряд в порядке неубывания. Если отдельные значения наработки до отказа равны некоторым значениям наработки до цензурирования, то в вариационном ряду сначала указывают наработки до отказа, затем наработки до цензурирования.

Далее по построенному вариационному ряду определяется количество интервалов наблюдения  $m$ . Для каждого интервала наблюдения подсчитывается число наработок до отказа  $r_i (i = 1, 2, \dots, m)$ , число наработок до цензурирования  $n_{i-1}$ , лежащих между  $i - 1$  и  $i$ -м интервалами наблюдения. Затем для каждого интервала наблюдения  $i (i=1, 2, \dots, m-1)$  находится величина  $N_{эi+1}$ , рассчитываемая по формуле

$$N_{эi+1} = N_{эi} \cdot \left[ 1 - \frac{n_i}{N - \sum_{j=0}^{i-1} n_j - \sum_{j=1}^i r_j} \right],$$

где  $N_{э1} = N - n_0$ .

*Оценка средней наработки до отказа  $\bar{t}$*  вычисляется по формуле

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^m \frac{\sum_{j=p_{i+1}}^{q_i} t_{(j)}}{N_{эi}} + \left[ 1 - \hat{F}(t_{(N-n_m)}) \right] \cdot t_{(N-n_m)},$$

где  $p_i = n_0 + \sum_{j=1}^{i-1} (n_j + r_j)$ ,  $q_i = p_i + r_i$ ,

$\hat{F}(t)$  – эмпирическая интегральная функция распределения, которая может быть рассчитана по формулам:

если  $l$ -я наработка до отказа принадлежит первому интервалу наблюдения, то

$$\hat{F}(t) = \frac{l-n_0}{N_{\text{э}1}};$$

если  $l$ -я наработка до отказа принадлежит  $i$ -му ( $i = 2, \dots, m$ ) интервалу наблюдения, то

$$\hat{F}(t) = \sum_{j=0}^{i-1} \frac{r_j}{N_{\text{э}j}} + \frac{l - \sum_{j=0}^{i-1} n_j - \sum_{j=1}^{i-1} r_i}{N_{\text{э}i}}.$$

Оценка гамма-процентной наработки  $\bar{t}_{\gamma\%}$  вычисляется по формуле

$$\bar{t}_{\gamma\%} = (1 - d_2) \cdot t_{(i-1)} + d_2 \cdot t_{(i)},$$

где  $t_{(i-1)}$  и  $t_{(i)}$  – наработки до отказа, для которых выполняется условие:

$$\hat{F}(t_{(i-1)}) < 1 - \frac{\gamma\%}{100} < \hat{F}(t_{(i)}),$$

$$d_2 = \frac{\frac{100-\gamma\%}{100} - \hat{F}(t_{(i)})}{\hat{F}(t_{(i)}) - \hat{F}(t_{(i-1)})}.$$

Если выполнено одно из условий  $1 - \frac{\gamma\%}{100} = \hat{F}(t_{(i-1)})$  или  $1 - \frac{\gamma\%}{100} = \hat{F}(t_{(i)})$ ,

то

$$\bar{t}_{\gamma\%} = t_{(i-1)} \text{ или } \bar{t}_{\gamma\%} = t_{(i)}.$$

Оценка вероятности безотказной работы за наработку  $t_0$  ( $t_0 < t_{(N-n_m)}$ ) вычисляется по формуле

$$\hat{P}(t_0) = 1 - [d_1 \cdot \hat{F}(t_{(l)}) + (1 - d_1) \cdot \hat{F}(t_{(l-1)})],$$

где  $d_1 = \frac{t_0 - t_{(l-1)}}{t_{(l)} - t_{(l-1)}}$ ,

$t_{(l-1)}$ ,  $t_{(l)}$  – наработки до отказа, между которыми лежит наработка  $t_0$ .

Оценки доверительных границ вероятности безотказной работы для задаваемой доверительной вероятности  $\gamma$  вычисляются по формулам:

$$P_H(t_0) = \hat{P}(t_0) - U_{\beta} \cdot \sigma_l,$$

$$P_B(t_0) = \hat{P}(t_0) + U_{\beta} \cdot \sigma_l,$$

$$\sigma_l = P(t_{i-1}) \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^j \frac{r_i}{(N-p_i) \cdot (N-q_i)}},$$

где  $U_{\beta}$  – квантиль нормального распределения, соответствующая вероятности  $\beta$ ;

$$\beta \begin{cases} \gamma & \text{– при вычислении нижней односторонней доверительной границы;} \\ \frac{1 + \gamma}{2} & \text{– при вычислении двусторонних доверительных границ.} \end{cases}$$

$j$  – номер интервала наблюдения, на котором лежит  $l$  –  $l$ -й член вариационного ряда.

Из представленных выше зависимостей следует, что оценка показателей надежности на основе ручного счета проблематична. В этой связи на факультете ЭЛА ИФ МГТУ ГА сформирован авторский пакет для ЭВМ, предназначенный, в том числе, для непараметрической оценки показателей надежности. Пакет инструментальных оболочек представляет собой полнофункциональное windows-приложение, адаптированное к типовым ПЭВМ.

Инструментальные оболочки доступны через головное иерархическое меню (*рис. 1*). Интерфейсные решения по головной и инструментальным панелям и их дизайн, как и на всех программных ресурсах, сформированных на факультете, – типовые; они достаточно полно описаны в [Чокой, 2016]. Примеры работы с отдельными инструментальными оболочками, позволяющими непараметрическим способом оценивать надежность объектов авиатранспортных систем, представлены на *рис. 2...6*.

Исходные данные могут вводиться в одиночные поля и в окна таблиц с клавиатуры. Для табличных данных предусмотрена альтернативная загрузка предварительно подготовленных числовых файлов. Максимальный размер табличных данных – 500 значений в строке. Набранные с клавиатуры (или загруженные из файла) данные, после их корректировки могут быть записаны в файл числовых данных. Отдельные данные вводятся путем выбора из списка значений или вариантов. Запуск инструментальной оболочки на расчет выполняется путем активации курсором кнопки с зеленой стрелкой, располагаемой в левом верхнем углу группы «Исходные данные» (*рис. 2*).

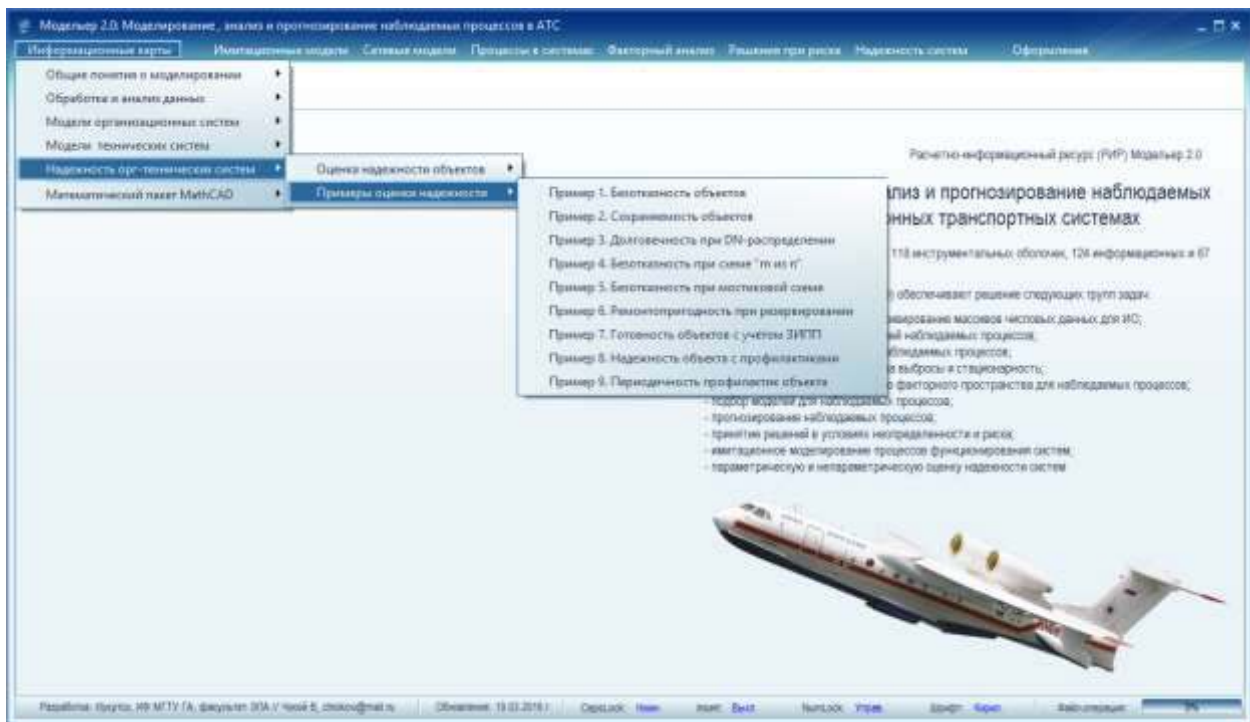


Рис. 1. Головная панель пакета Оптимист (развернута группа «Информационные карты»)

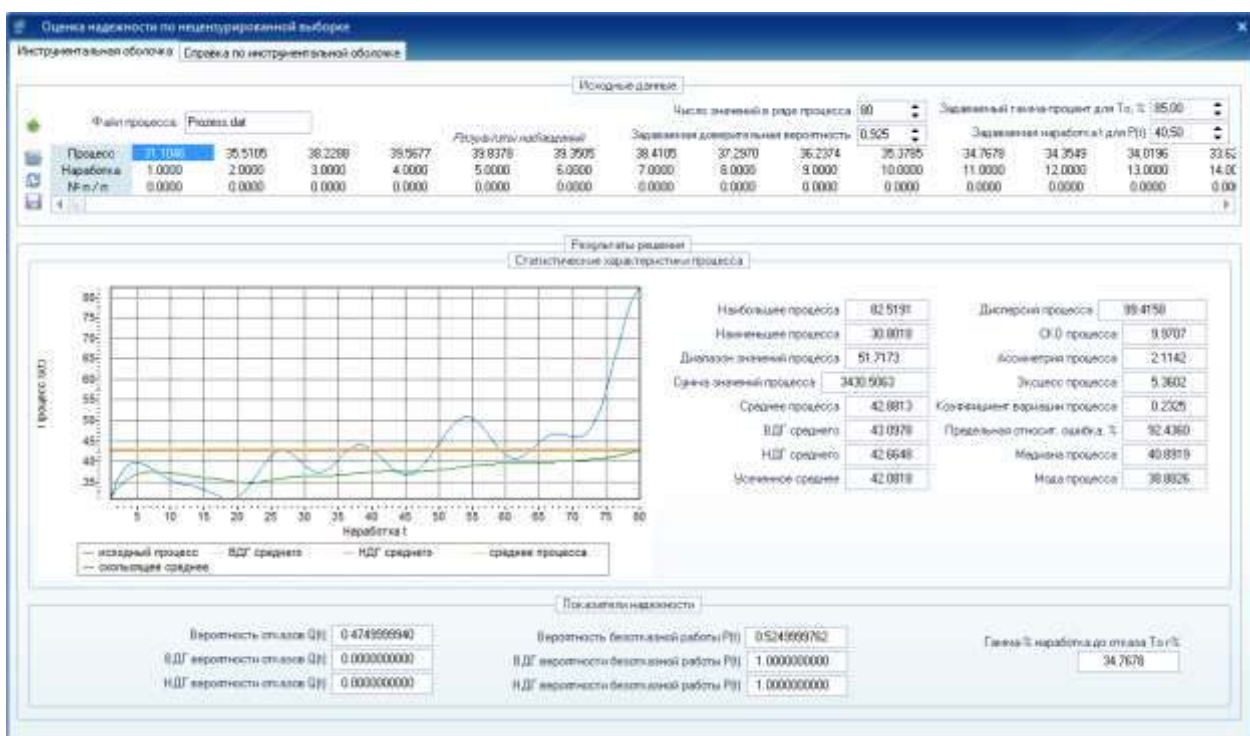


Рис. 2. Панель инструмента «Оценка надежности по не цензурированным данным»

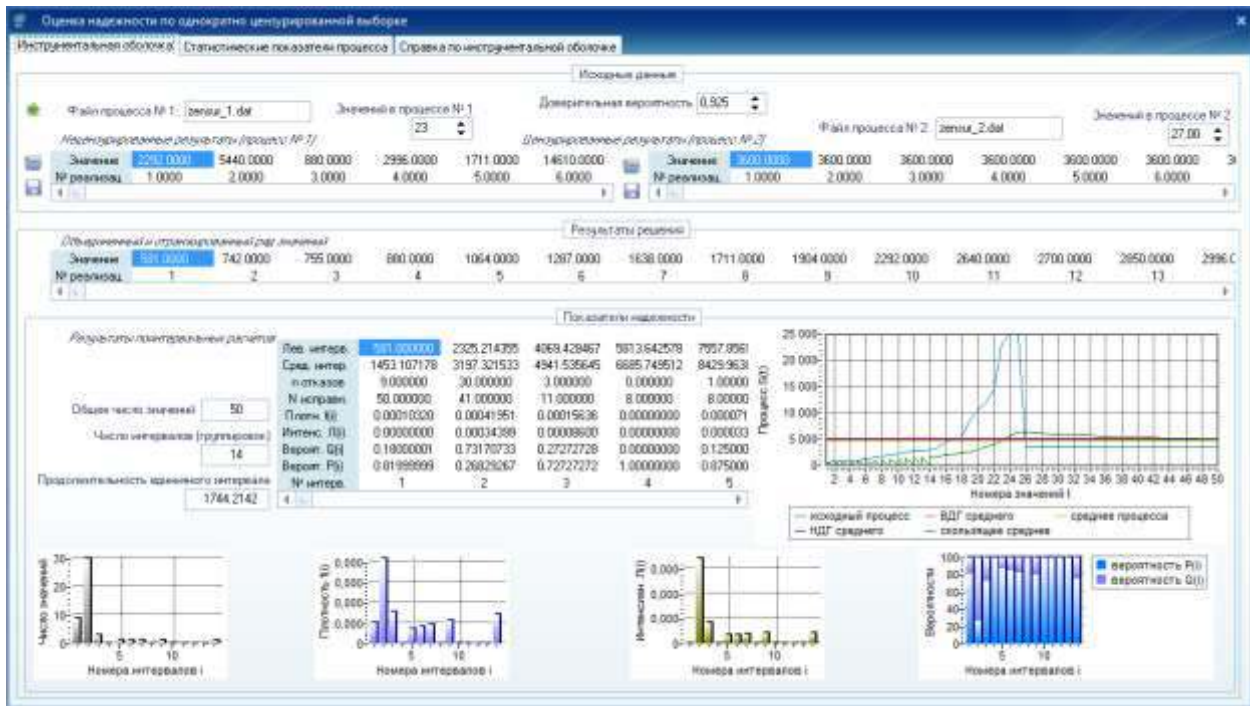


Рис. 3. Панель инструмента «Оценка надежности по однократно цензурированным данным»

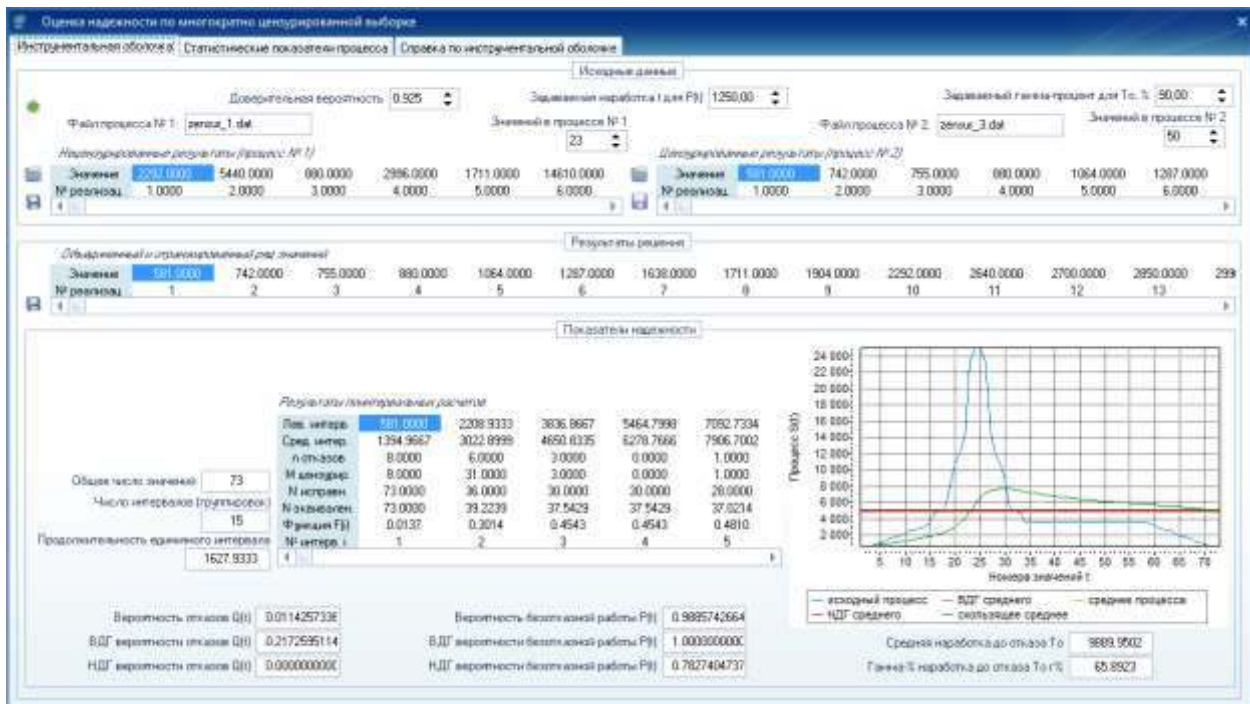


Рис. 4. Панель инструмента «Оценка надежности по многократно цензурированным данным»

Промежуточные и окончательные результаты оценки показателей надежности выводятся: в поля единичных данных; в окна табличных данных, в виде графиков и диаграмм (рис. 2).

Одной из особенностей непараметрической оценки надежности является необходимость ранжирования табличных данных в порядке их не убывания. В инструментальных оболочках рутинные процедуры ранжирования данных выполняются автоматически.

Важной особенностью инструментальных оболочек, включенных в пакет Оптимист, является наличие в каждой из них закладки «Справка по инструментальной оболочке», в которую при активации автоматически загружается соответствующий справочный материал. Справки содержат: рекомендации по проверке работоспособности, ссылки на рекомендуемые демонстрационные (тестовые) числовые данные, показания к применению инструмента, примеры решения задач, рекомендации по корректной интерпретации получаемых результатов.

Наилучшие результаты использования рассмотренных инструментальных оболочек достигаются при последовательном использовании и других инструментов, включенных в пакет Оптимист. Например, перед оценкой надежности целесообразно выполнить фильтрацию накопленных данных, многоаспектную оценку экстремальных значений на выбросы, удаление обнаруженных выбросов и маргиналов.





Рис. 5. Панель инструмента «Оценка надежности восстанавливаемых объектов по цензурированным данным»

## Библиографический список

1. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по цензурированным выборкам. ГОСТ 27.504-84. М.: Изд. Госстандарт СССР. 44 с.
2. Одарев В. А. Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Надежность и техническая диагностика» / В. А. Одарев, В. З. Чокой. Иркутск: ИрГТУ, 2011. Электрон. опт. диск (CD-ROM). УДК: 621.452.3-192(078), инв. Номер: ДСК-2115.
3. Чокой В. З. Надежность и техническая диагностика авиационной техники / В. З. Чокой, И. И. Величко. Курс лекций и практических занятий. Иркутск: ИВВАИУ (ВИ), 2006. 187 с.
4. Чокой В. З. Электронный тренажер Speller-TSM по локализации отказов оборудования самолетов Airbus A320 // «Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык». 2016. № 1 (08). URL: <http://ce.if-mstuca.ru/index.php/2016-1>. (дата обращения: 10.03.2016).