

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА РЭС ЗРК ПО ДАННЫМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

д.т.н., проф. Б.Н. Ланецкий, В.В. Кобзев

*Предлагается методика оценки показателей остаточного ресурса радиоэлектронных средств (РЭС) одного или нескольких однородных ЗРК с использованием методов регрессионного анализа и бутстреп-метода.*

**Постановка задачи.** Возможность эксплуатации РЭС зенитных ракетных комплексов (ЗРК) по истечении назначенного технического ресурса определяется величиной остаточного ресурса (о.р.), под которым понимается величина суммарной наработки изделия от момента  $\tau$  контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние при установленных режимах и условиях эксплуатации [1]. Каждый ЗРК, эксплуатирующийся в составе всего парка, характеризуется величиной своего “возраста”. Относительно исследуемого изделия может быть выделена группа лидерных изделий, характеризующихся одинаковыми условиями и режимами эксплуатации с исследуемым и имеющих упрежденный расход ресурса. Для принятия обоснованного решения о целесообразности эксплуатации исследуемого ЗРК с момента  $\tau$  необходимо решить задачу оценки показателей о.р., к которым относятся средний и гамма-процентный остаточный ресурс [3].

**Анализ литературы.** Известные методики оценки показателей о.р. разработаны для невозстанавливаемых объектов или построены на предположении об известном законе распределения наработки до ресурсного отказа для восстанавливаемых объектов [2]. Их результаты нельзя применить для отдельного изделия, а для получения приемлемой точности и достоверности оценок показателей о.р. требуются большие выборки ЗРК и продолжительные интервалы наблюдений до ресурсных отказов.

**Цель статьи.** Разработка общих положений методики решения поставленной задачи для одного или нескольких однородных РЭС ЗРК (т.е. произведенных по одинаковой технологии, одного “возраста” и эксплуатирующихся в одинаковых режимах и условиях), использующей данные эксплуатационных наблюдений о наработках между отказами исследуемого (исследуемых) и лидерных изделий.

Достижение цели может быть реализовано с помощью методов регрессионного анализа и бутстреп-метода, использующих в качестве исходных данных эксплуатационные наблюдения о наработках между отказами одного или нескольких изделий. Величина ресурса РЭС ЗРК определяется в соответствии с технико-экономическим критерием предельного состояния [3], как  $T_p = \min \{T_{pt}, T_{pэ}\}$ , где  $T_{pt}$  – величина среднего ресурса, рассчитанная по техническому критерию, т.е. определяемая как суммарная наработка изделия до момента времени, когда значение показателя безотказности (например, параметр потока отказов  $\omega(t)$ ) достигнет предельно допустимой величины ( $\omega_d$ );  $T_{pэ}$  – величина среднего ресурса, рассчитанная по экономическому критерию, т.е. определяемая по минимуму удельных затрат на приобретение и поддержание РЭС ЗРК в работоспособном состоянии (величина этих затрат также является функцией от величины параметра потока отказов). Величина среднего остаточного ресурса определяется как разность между значением среднего ресурса изделия и моментом контроля  $\tau$  его технического состояния  $T_{op} = T_p - \tau$ . Так как показатели о.р. являются функционалами от  $\omega(t)$ , то ниже рассматриваются математические модели для построения зависимости  $\omega(t)$ , в качестве которой предлагается использовать регрессионные модели.

Для построения регрессионной зависимости  $\omega(t)$  от суммарной наработки предлагается использовать данные эксплуатационных наблюдений лидерных изделий. Исследуемые изделия ставятся на подконтрольную эксплуатацию с целью получения более достоверной информации.

Сущность предлагаемой процедуры построения регрессионной модели зависимости  $\omega(t)$  состоит в следующем. Интервал эксплуатации лидерных изделий разбивается на подинтервалы, на которых характеристика интенсивности отказов предполагается постоянной. Величина подинтервала эксплуатации изделия определяется периодичностью технических обслуживаний, интенсивностью эксплуатации и уровнем безотказности изделий. Данные о наработках между отказами РЭС ЗРК на этих подинтервалах можно считать результатами испытаний на надежность согласно плану [NMT], а точечные оценки величин  $\omega(t)$  находить по расчетным соотношениям методики [4]. Последовательность полученных значений  $\omega(t)$  проверяется на стационарность, например, по критерию серий. При наличии нестационарности (снижения уровня безотказности) фиксируется момент ее начала и по данным оценок величины  $\omega(t)$  в процессе дальнейшей эксплуатации строится линия регрессии и ее доверительные границы с заданной доверительной вероятностью. Далее рассматривается гипотеза о принадлежности данных эксплуатацион-

ных наблюдений исследуемых ЗРК и данных лидерной эксплуатации на принадлежность одной генеральной совокупности. Для этого используется свободный от распределения критерий ранговых сумм Уилкоксона [5]. В случае подтверждения гипотезы принимается решение о возможности применения модели зависимости  $\omega(t)$ , построенной по данным лидерной эксплуатации, для оценки показателей ресурса исследуемых РЭС ЗРК. В ситуации, когда объем наблюдений достаточен, используется аппарат регрессионного анализа. В противном случае для построения регрессионной зависимости  $\omega(t)$  предлагается использовать бутстреп-метод [6], суть применения которого заключается в следующем. Исходная выборка тиражируется большое число раз. Полученное множество данных перемешивается и из общей совокупности последовательно извлекаются с возвращением выборки исходного объема. По каждой из них вычисляются статистические оценки параметров, для которых затем строятся доверительные интервалы.

В качестве исходной выборки выступает последовательность значений параметра потока отказов  $\omega_j$  за каждый подинтервал эксплуатации изделия.

Применение бутстреп-метода для оценки значения параметра потока отказов включает следующие этапы: получение случайных чисел на ЭВМ и проверка их качества; извлечение выборки заданного объема  $n$ ; формирование  $N$  новых бутстреп-выборок (БВ) для последовательности значений  $\omega_j$ ; определение параметров зависимостей  $\omega(t)$  для каждой из  $N$  БВ; определение доверительных интервалов для параметров и для исходной зависимости  $\omega(t)$ ; оценка прогнозируемого значения гамма-процентного ресурса.

Целью проверки качества датчика случайных чисел является проверка гипотезы о равномерном распределении полученных случайных чисел. Для этого может быть использован критерий  $\chi^2$  согласия между эмпирическим и теоретическим (равномерным) распределением. Если распределение последовательности случайных чисел можно считать равномерным, то ее можно использовать для построения бутстреп-выборок. Каждой из  $n$  реализаций исходной выборочной последовательности присваивается номер от 1 до  $n$ . После этого с помощью генератора случайных чисел получают  $n$  значений случайной величины, распределенной от нуля до единицы. Первая БВ получается в виде последовательности значений  $\omega_j$ , при этом некоторые исходные реализации могут появляться несколько раз, а другие не появляться ни разу. Для каждой бутстреп-выборки определяются параметры зависимости  $\omega(t)$  с учетом весовых коэффициентов  $\xi_i$ , вычисляемых по формуле  $\xi_i = n_i/n$ , где  $n_i$  – число появлений реализаций  $\omega_j$  в каждой бутстреп-выборке.

Определение двусторонних доверительных интервалов для парамет-

ров регрессионной зависимости  $\omega(t)$  производится графически по построенным гистограммам с заданной доверительной вероятностью. Для нахождения параметров кривых, указывающих доверительную область зависимости  $\omega(t)$ , графически строятся  $2^k$  зависимостей  $\omega_i(t)$ , соответствующих полному факторному эксперименту  $2^k$ , где  $k$  – количество параметров регрессионной зависимости  $\omega(t)$ . Оценка величины гамма-процентного ресурса изделия находится как абсцисса точки пересечения графика регрессионной зависимости  $\omega(t)$  и горизонтальной прямой, соответствующей предельному значению параметра  $\omega_d$ .

**Выводы.** Таким образом, сформулированы общие положения методики оценки показателей остаточного ресурса одного или нескольких однородных РЭС ЗРК с заданной точностью и достоверностью по данным эксплуатационных наблюдений с использованием методов регрессионного анализа и бутстреп-метода. Кроме того, двусторонние доверительные границы регрессионной зависимости  $\omega(t)$  могут быть использованы для корректировки периодичности технических обслуживаний на этапе продления эксплуатации, а односторонняя верхняя доверительная граница регрессионной зависимости  $\omega(t)$ , построенная на том же статистическом материале, – для определения момента проведения контроля предельного состояния изделия и принятия решения о дальнейшей эксплуатации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1995. – 92 с.
2. Надежность и эффективность в технике. Т.6. Экспериментальная обработка и испытания / Под общ. ред. Р.С. Судакова, О.И Тескина. – 376 с.
3. Ланецкий Б.Н., Пивнев Д.А., Кирилюк А.С. Методика расчета показателей остаточного ресурса РЭС, находящихся в эксплуатации // Тез. докл. 4-го ММФ “Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке”. – Х. : ХГТУРЭ. – 2000. – С. 53 – 54.
4. РД 50-690-89. Методические указания. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 133 с.
5. Холлендер М., Вульф Д.А. Непараметрические методы статистики. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 518 с.
6. Диаконис П., Эфрон Б. Статистические методы с интенсивным использованием ЭВМ // В мире науки. – 1983. – № 7. – С. 60 – 73.

Поступила 12.05.2003

**ЛАНЕЦКИЙ Борис Николаевич**, доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры ХВУ. Область научных интересов — эксплуатация, надежность и эффективность в технике.

**КОБЗЕВ Владислав Владимирович**, адъюнкт ХВУ. В 1997 году окончил ХВУ. Область научных интересов — эксплуатация, надежность и эффективность в технике.