

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 τ 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 τ 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 (ω_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 τ 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 ω_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 ω_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 χ^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 ω_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 ξ_i , вычисляемых по формуле $\xi_i = n_i/n$, где n_i – число появлений реализаций ω_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 ω_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.