

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ НЕПОЛНОМ ОБЪЕМЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

к. т. н. С. М. Гладкин, к. т. н. А. А. Чуйко,
(ВВИА им. Н. Е. Жуковского)

В статье рассматривается задача оценки наработки на отказ восстанавливаемого объекта, когда экспериментальные данные об отказах или их отсутствие достоверно известны лишь за некоторый период времени, непосредственно предшествующий обследованию. На практике описываемый тип экспериментальных данных встречается в авиаремонтных предприятиях, специализирующихся на ремонте изделий различных дат выпуска, не располагающих данными о предыдущих отказах объектов в процессе эксплуатации.

Управление надежностью авиационной техники [1], т.е. свойством выполнять заданные функции, предусматривает наличие достоверно оцененных показателей надежности, в частности – средней наработки на отказ восстанавливаемых объектов (компонентов авиационного комплекса).

Особого подхода к решению требует задача оценки наработки на отказ восстанавливаемого объекта, когда экспериментальные данные об отказах или их отсутствие достоверно известны лишь за некоторый период времени J , непосредственно предшествующий обследованию. Такие данные представляют собой специфический случай усечения слева [2].

Диаграмма, поясняющая процесс образования выборки, представлена на рис. 1.

На практике описываемый тип экспериментальных данных встречается в авиаремонтных предприятиях, специализирующихся на ремонте изделий различных дат выпуска, не располагающих данными о предыдущих отказах объектов в процессе эксплуатации. Дополнительная неопределенность имеет место в ряде случаев, когда предыстория эксплуатации изделий не может быть известна по организационно-техническим причинам.

В процессе решения такой задачи требуется восстановление недостающих данных путем расчета вероятностей отказов объектов в периоды, когда наблюдение за ними не производилось. Необходимым условием решения является существенно различная наработка объектов до отказа.

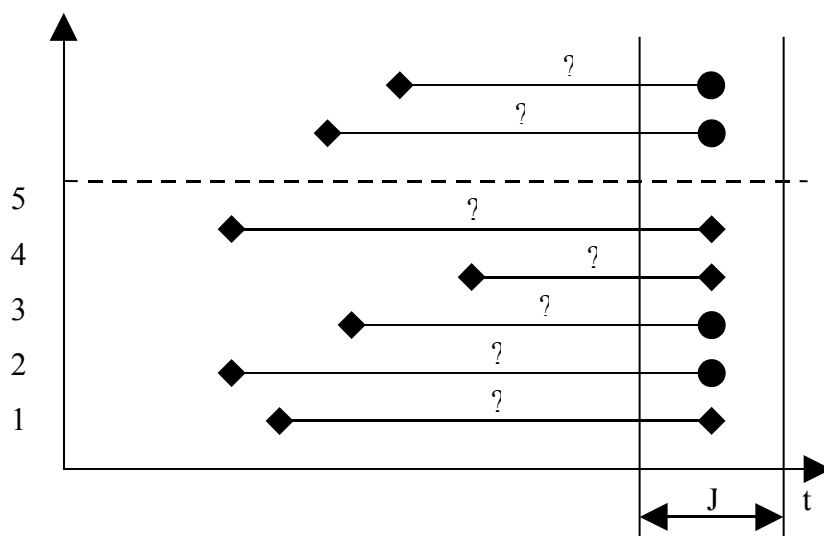


Рис. 1. Временная диаграмма процесса образования выборки

Пусть имеется ν одинаковых восстанавливаемых объектов. С периодом θ осуществляется контроль работоспособности объектов. Объекты достаточно высоконадежны, так что вероятностью двух и более отказов одного и того же объекта в течение периода θ можно пренебречь. Продолжительность интервала J , достаточного для проведения контроля работоспособности и восстановления объектов, значительно меньше, чем продолжительность контроля работоспособности изделия.

Специфичной особенностью экспериментальных данных [3] является то, что в g -й период контроля изделия не известно число предшествующих отказов объекта; известен лишь факт его безотказности или отказа за g -й период θ . Если наработку изделий выразить в числах периодов θ (с абсолютной погрешностью $\theta/2$), то исходные данные могут быть представлены в виде табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные					
Наработка изделия, период	0,5	1,5	2,5	...	M-0,5
Число отказавших объектов в изделиях с такой наработкой	m_1	m_2	m_3	...	m_M
Общее число обследованных объектов в изделиях с такой наработкой	ν_1	ν_2	ν_3	...	ν_M

Обозначим вероятность отказа объекта за один (первый) период работы $P(0; 1)$ через p_1 , за второй – $P(1; 2) = p_2$ и т.д., $P(M-1; M) = p_M$.

Построим графы возможных исходов для объектов, имеющих в среднем наработку 0,5; 1,5 и 2,5 периода (рис. 2 а, б, в).

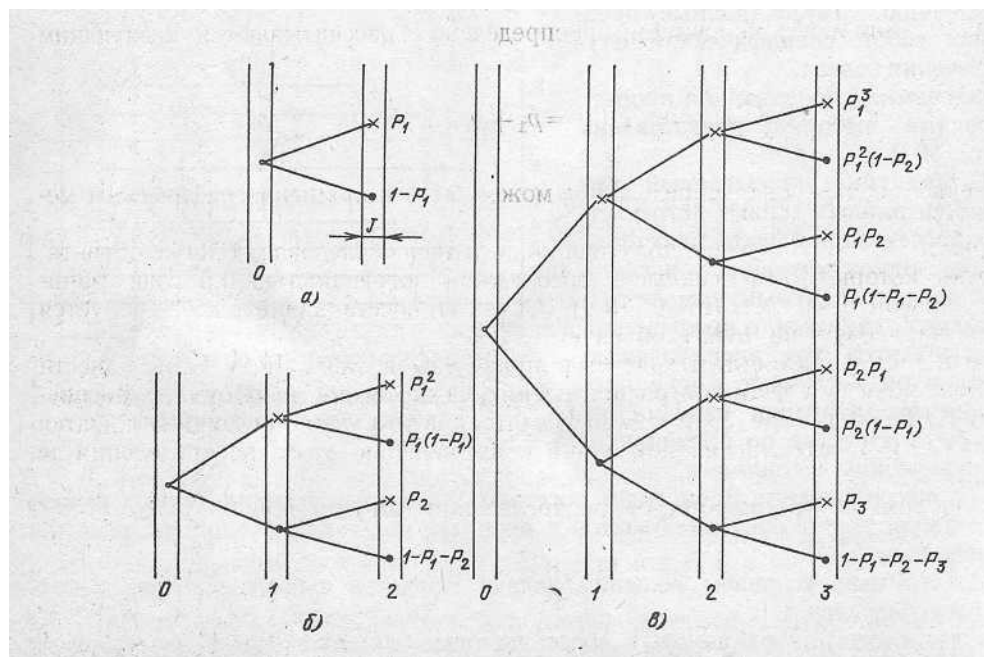


Рис. 2. Графы возможных исходов

За один (первый) период работы с вероятностью p_1 будет зарегистрирован отказ объекта, а с вероятностью $1-p_1$ – безотказная наработка.

В соответствии с исходными данными $p_1 = m_1/\nu_1$. Вероятность того, что при обследовании изделия с наработкой в среднем 1,5 периода будет обнаружен отказ

объекта, равна (см. соответствующий граф) $p_1^2 + p_2 = m_2 / v_2$, а с наработкой в среднем 2,5 периода: $p_1^2 + 2p_1p_2 + p_3 = m_3 / v_3$.

Обозначим m_j / v_j через p_j^0 . Тогда:

$$p_2 = p_2^0 - p_1p_2;$$

$$p_3 = p_3^0 - p_1p_2^0 - p_2p_1^0; \dots,$$

$$p_r = p_r^0 - \sum_{r=1}^{M-1} p_r p_{M-r}^0.$$

Точки эмпирической функции распределения рассчитываются следующим образом:

$$\hat{F}(0) = 0; \hat{F}(1) = p_1; \hat{F}(2) = p_1 + p_2, \dots, \hat{F}(r) = \sum_{k=1}^r p_k, \dots,$$

Оценка параметров распределения может быть выполнена графическим методом или методом наименьших квадратов (НК).

Пример. В течение полугода подверглись обследованию 1143 объекта, наработки которых, выраженные с абсолютной погрешностью 0,5 года, занимают диапазон 1 - 9 лет (табл. 2). Объекты восстанавливаемые. Требуется оценить наработку на отказ объекта.

Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Оценки параметров распределения вычисляются методом НК: $\hat{b} = 2,44; \ln \hat{a} = 2,09$, откуда $\hat{a} = e^{-2,09} = 8,1; \hat{T} = 8,1 \cdot 0,887 \cong 7,5$ лет.

Таблица 2

Результаты расчетов

Нароботка , год	Число обследованных объектов v	Число отказавших объектов m	$p_r^0 = m_r / v$	p_r	$\hat{F}(r)$	$\ln r$	$\ln \ln \frac{1}{1 - F(r)}$ $= l(r)$	$l(r) \ln r$	$\ln^2 r$
1	140	1	0,007	0,007	0,007	0	-4,96	0	0
2	230	4	0,017	0,017	0,024	0,69	-3,63	-2,52	0,48
3	191	10	0,052	0,052	0,076	1,10	-2,53	-2,78	1,21
4	112	12	0,107	0,106	0,182	1,39	-1,61	-2,24	1,93
5	139	16	0,115	0,112	0,294	1,61	-1,06	-1,71	2,59
6	84	8	0,095	0,087	0,381	1,79	-0,73	-1,31	3,20
7	88	15	0,170	0,154	0,535	1,95	-0,27	-0,53	3,80
8	102	10	0,098	0,069	0,604	2,08	-0,08	-0,16	4,33
9	157	9	0,157	0,117	0,721	2,20	0,24	0,53	4,84
				Сумма		12,81	-14,62	-10,71	22,38
				а					

На практике, в большинстве случаев, нет возможности организовать испытания так, чтобы получить экспериментальные данные по надежности необходимого вида и в достаточном объеме. Обычно задача заключается в том, чтобы оценить показатели

надежности по тому статистическому материалу, который имеется. На характер статистического материала существенное влияние оказывает стратегия испытаний (или режим эксплуатации), а именно факторы [4]:

- число изделий, подвергаемых испытаниям;
- порядок контроля функционирования в процессе испытаний (наблюдений);
- порядок восстановления (замены) изделий;
- порядок поступления изделий на испытания;
- критерий окончания испытаний (наблюдений).

Реально перечисленные факторы могут существенно варьироваться в зависимости от конкретных условий, например:

- испытания одного изделия или группы изделий;
- контроль непрерывный или периодический, либо только перед началом и по окончании испытаний;
- испытания с восстановлением (заменой) отказавших изделий, либо без восстановления (замены);
- одновременное испытание всех изделий, либо неодновременное (равноточные и неравноточные наблюдения);
- испытания до отказа всех изделий, либо до фиксированного числа отказов, либо до истечения фиксированного времени (наработки).

На практике различные сочетания этих факторов являются причиной большого разнообразия реальных стратегий испытаний.

В настоящее время общеприняты следующие условные обозначения основных факторов испытаний:

- N - число изделий;
- U - отсутствие замены или восстановления;
- R - замена отказавших изделий;
- M - восстановление отказавших изделий;

T - испытания (наблюдения) оканчиваются по истечении фиксированного отрезка времени (наработки);

г - испытания (наблюдения) оканчиваются по достижении фиксированного числа реализаций (отказов, восстановлений).

В этих обозначениях конкретная стратегия испытаний обычно записывается сочетанием трех соответствующих символов, например [NUT], [NRT] и т.д. При этом предполагается, что изделия подвергаются испытаниям одновременно и контроль осуществляется непрерывно. Поскольку на практике эти условия зачастую не выполняются, ниже используются дополнительно следующие обозначения для реальных стратегий испытаний.

Если изделия поступают на испытания не одновременно или снимаются с испытаний в произвольные моменты по каким-либо посторонним причинам, то такие нежесткие стратегии обозначаются так же, но заключаются не в квадратные, а в круглые скобки. Если при испытаниях контроль производится периодически, через определенные интервалы времени (наработки), то соответствующее условное обозначение заключается в двойные скобки (круглые или квадратные), например ((NUT)) - испытываются N изделий, отказавшие изделия не заменяются и не восстанавливаются, контроль производится периодически, испытания оканчиваются по истечении фиксированного отрезка времени (наработки), изделия могут поступать на испытания или сниматься с испытаний по каким-то причинам в произвольные моменты времени.

Наконец, испытания по так называемой непараметрической схеме, когда каждое из N изделий испытывается в течение фиксированной наработки T, а контроль производится только перед началом и по окончании испытаний, обозначаются фигурными скобками: {NUT}. Эта схема испытаний является предельным случаем периодического контроля. При таком контроле отказавшие изделия выявляются только после окончания испытаний,

следовательно, вопрос о замене или восстановлении отказавших изделий в процессе испытаний не возникает.

Все вышеприведенные мероприятия дают хорошие результаты, сопровождаясь аналитической работой по оценке наработки изделий на отказ.

Предложенная методика может, в определенной степени, помочь решить задачу оценки наработки на отказ восстанавливаемого объекта при отсутствии или недостоверности эксплуатационных данных по данному изделию.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ,
№ гранта 06-08-01518

Литература:

1. *Гузий А. Г.* Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронной аппаратуры. М.: ФВА РВСН, 1999, – 200 с.
2. *Гнеденко Б. В.* Курс теории вероятностей/ – М.: Издательство «Едиториал УРСС», 2005.
3. *Соколов Г. А., Гладких И. М.* Математическая статистика. – М.: Издательство «Экзамен», 2004.
4. ГОСТ 27.410-87 – М.: Издательство стандартов, 1988.