

УДК 631.7.04-197:631:7.019.9

В.О. ПОВГОРОДНИЙ*Институт проблем машиностроения НАН Украины им. А.Н. Подгорного, Украина***ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ
НА БЕЗОТКАЗНОСТЬ**

Рассматриваются вопросы определения показателей надежности (безотказности) в результате испытаний механических конструкций бортовой аппаратуры. Определительные испытания на безотказность проводятся в соответствии с методикой, которая включает в себя ряд этапов. Это определение требуемого объема испытаний, в соответствии с этим построение плана испытаний, собственно проведение испытаний в соответствии с этим планом, оценка результатов испытаний и их сравнение с результатами контрольных испытаний на надежность (безотказность) и эксплуатационными (статистическими) данными. В качестве объекта испытаний рассматривается блок воздушных параметров (БВП) – пакет плат с электронными радиотехническими элементами (ЭРЭ). Это наиболее распространенная конструкция, применяемая в бортовой аппаратуре отечественных самолетов.

испытание, надежность, определение, безотказность, вероятность, оценка, бортовая аппаратура**Введение**

Обеспечение заданных количественных показателей надежности вновь разрабатываемых изделий за весь период их эксплуатации является основной задачей комплексной системы управления качеством.

Обеспечение надежности изделий осуществляется комплексом организационно-технических и технологических мероприятий, реализуемых на различных стадиях разработки, опытного производства, серийного выпуска и эксплуатации изделий. Расчет показателей плана определительных испытаний проведен для конкретного авиационного прибора – БВП. Сам БВП предназначен для установки на самолетах АН-140 и АН-74 ТК 300. К числу технологических мероприятий относятся:

- обоснованный выбор показателей надежности и методов их подтверждения на ранних стадиях проектирования изделий;
- разработка и реализация программы обеспечения надежности разработки (ПОНр) с учетом поэтапной теоретической и экспериментальной оценки заданных уровней надежности;

– внесение в научно-техническую документацию на изделия требований по надежности, их подтверждение и контроль на этапах изготовления и эксплуатации [1 – 3].

Вопросы обеспечения надежности решаются на следующих основных этапах проектирования:

- разработка технического предложения или аванпроекта;
- разработка эскизного проекта;
- разработка технического проекта;
- разработка рабочей документации опытного образца (рабочий проект).

В качестве критериев надежности (отказов) принимаются следующие показатели безотказности:

- вероятность безотказной работы (ВБР) объекта испытаний – $P(t)$;
- вероятность отказа – $Q(t)$;
- интенсивность отказов – $\lambda(t)$;
- наработка на отказ – T_o .

При испытаниях изделие подвергается циклическому воздействию внешних воздействующих факторов (ВВФ), один испытательный цикл которых имитирует один полет.

Формулирование проблемы. Определительные испытания проводятся с целью определения оценки:

- фактической наработки на отказ;
- средней наработки до отказа бортового оборудования (БО) одноступенчатым методом с усечением процедуры испытаний по продолжительности, соответствующей в ускоренном режиме ресурсу до первого отказа для ремонтируемых изделий БО;
- назначенного ресурса для неремонтируемых изделий.

Исходными данными при планировании определительных испытаний на безотказность служат допускаемая относительная доверительная ошибка среднего δ , доверительная вероятность γ .

Общие рекомендации [1] по выбору δ и γ приведены в табл. 1

Таблица 1

Рекомендации по выбору значений δ и γ

Объект испытаний	Относительная ошибка δ	Доверительная вероятность γ
Изделие в целом, деталь, обуславливающие внешний вид изделия, его комфортабельность	0,15 – 0,20	0,80 – 0,90
Агрегат, базовая или основная деталь	0,10 – 0,15	0,90 – 0,95
Детали, узлы, агрегаты, влияющие на безопасность	0,05	0,95 – 0,99

Решение проблемы

Исходя из табл. 1, имеем следующие исходные данные:

- требуемое значение ВБР в соответствии с техническим заданием (ТЗ) $P_{ТЗ} = 0,99$;
- ожидаемое значение показателя безотказности $T_{ож} = 500$ ч;
- доверительная вероятность количества отказов $\gamma = 0,95$;
- нижняя граница относительной доверительной ошибки $\delta_n \leq 0,05$.

Планы определительных испытаний на основе этих данных строятся следующим образом:

- по известным $T_{ож}$ и δ_n находится нижняя доверительная граница наработки на отказ T_n :

$$T_n = T_{ож}(1 - \delta_n) = 500(1 - 0,05) = 475 \text{ ч}; \quad (1)$$

- значение нижней доверительной границы ВБР P_n определяется по формуле

$$P_n = \frac{T_n}{T_n + t_n} = \frac{475}{475 + 12} = 0,97536; \quad (2)$$

- ожидаемое значение ВБР определится по формуле

$$P_{ож} = \frac{T_{ож}}{T_{ож} + t_n} = \frac{500}{500 + 12} = 0,97656; \quad (3)$$

- требуемый объем испытаний определится по формуле

$$t_{исн(1)} = \frac{\lg(1 - P_{ТЗ})}{\lg P_{ТЗ}} \approx \frac{2}{0,0043648} \approx 458, \quad (4)$$

если $t_n = 5,5$ ч, то $t_q = 12$ ч и общее время контрольных испытаний $t_{ки} = t_q \cdot t_{исн(1)} = 458 \cdot 12 = 5496$ ч, что соответствует 0,68 года.

Если испытания не выявили отказов (число отказов $r = 0$), то результаты их считаются удовлетворительными; если по объему испытаний произойдет хотя бы один отказ (число отказов $r \geq 1$), то результаты их считаются отрицательными.

С другой стороны, требуемый объем первых контрольных испытаний на надежность (безотказность) определяется из соотношения

$$t_{исн(1)} = \frac{\lg(1 - \gamma)}{\lg P_0} - (\text{циклов}).$$

Для $\gamma = 0,9$ объемы испытаний по заданному ВБР P_0 составляют в циклах значения, приведенные в табл. 2. Количество образцов, рекомендуемых для испытаний, рассчитывается как

$$N = \frac{t_{исн(1)}}{t_{зап}} \text{ (штук)},$$

где $t_{исп}$ – гарантийный ресурс в соответствии с техническими условиями (ТУ).

Если по объему испытаний произойдет хотя бы один отказ ($n > 1$), результаты их считаются отрицательными.

Для доверительной вероятности $\gamma = 0,9$, значения коэффициента n при различном числе отказов приведены в табл. 3.

Отказ устраняется (доработка конструкции), уточняется нижняя граница P_n по результатам испытаний или материалам эксплуатации с использованием соотношения

$$P_n = \exp\left(-\frac{1}{T_n}\right) \approx 1 - \frac{1}{T_n}, \quad (5)$$

где T_n – нижняя граница, определенная по формуле (1), и равная 475 ч, следовательно, $P_n = 0,9901$.

Таблица 2

Объем испытаний по заданным значениям P_0

P_0	0,99	0,995	0,999	0,9995	0,9998	0,9999	0,99999	0,999995
$t_{исп}$	232	460	2304	4508	11520	23041	45421	65205

Таблица 3

Значения коэффициента « n » при различном числе отказов

R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n	0,26	0,38	0,45	0,50	0,54	0,57	0,59	0,62	0,63	0,65

Оценка достаточности располагаемого объема определительных испытаний с ограниченной продолжительностью проводится, исходя из заданных в тактико-техническом задании (ТТЗ) или ТУ значений показателей безотказности.

При проведении определительных испытаний на безотказность количество испытываемых N изделий определяется из требований достаточности объема испытаний.

При этом следует учитывать сложность БО, его стоимость, объем заказов, требования директивных документов и т.д. Ожидаемое число отказов r для предварительно установленного объема определительных испытаний рассчитывается по формулам [2]:

$$r = \frac{NT_{p1}}{T_{mp}};$$

$$r = \frac{NT_{pn}}{T_{mp}}.$$

Для полученного значения r и заданной доверительной вероятности γ определяются коэффициенты h_1 и h_2 [3].

Отношение верхней и нижней доверительных границ показателя безотказности определяется по формуле [2]:

$$\frac{T_g}{T_n} = \frac{h_1}{h_2}.$$

На основании рассчитанного значения T_g/T_n делается заключение о достаточности объема определительных испытаний. Объем испытаний считается достаточным, если значение отношения верхней и нижней доверительных границ оцениваемого показателя безотказности удовлетворяет условию [2]:

$$\frac{T_g}{T_n} \leq 3.$$

При невыполнении вышеуказанного условия объем испытаний следует согласовать с представителем заказчика на предприятии.

Рассчитанное значение r округляется до бли-

При одностороннем ограничении определяемого показателя оцениваются среднее значение \hat{T} и нижняя доверительная граница показателя безотказности T_n .

Точность, характеризуемая относительной доверительной ошибкой, определяется следующим соотношением [2]:

$$\delta_n = \frac{\hat{T} - T_n}{\hat{T}} = 1 - h_2.$$

Суммарная наработка определительных испытаний с ограниченной продолжительностью t_Σ определяется по формулам [2]:

$$t_\Sigma = \frac{NT_{p1}}{K_y};$$

$$t_\Sigma = \frac{NT_{pn}}{K_y}.$$

Точечная оценка и доверительные границы значений наработки на отказ или средней наработки до отказа по результатам определительных испытаний определяются, соответственно, по формулам [2]:

$$\hat{T} = \frac{t_\Sigma K_y}{m};$$

$$T_6 = h_1 \hat{T};$$

$$T_n = h_2 \hat{T},$$

где t_Σ – суммарная наработка БО.

Если по окончании определительных испытаний $r = 0$, как в нашем случае, то нижняя доверительная граница наработки на отказ или средней наработки до отказа определяется по формуле

$$T_n = \frac{t_\Sigma K_y}{h_0}, \quad (6)$$

где $h_0 = 2,3$ – коэффициент [3].

Заключение

Для высоконадежных изделий БО – БВП, оценка показателей безотказности в требуемых объемах ускоренных испытаний невозможна или нецелесообразна. Необходимо:

- испытания каждого образца проводить в ускоренном режиме с усечением объема по продолжительности и с обеспечением нулевого количества отказов. Для ремонтируемых изделий БО продолжительность испытаний ограничивается ресурсом до первого ремонта T_{p1} , а для неремонтируемых изделий БО – назначенным ресурсом T_{pn} ;

- оценку нижней доверительной границы показателя безотказности по результатам испытаний проводить по вышеприведенной формуле (6);

- точечную оценку прогнозируемого значения показателя безотказности проводить расчетным методом;

- оценку фактического значения показателя безотказности и его соответствие требованиям ТТЗ (ТЗ) или ТУ проводить по результатам эксплуатации.

Литература

1. Аронов И.З., Бурдасов Е.И. Оценка надежности по результатам сокращенных испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 182 с.
2. Методические указания 150-86: Эквивалентно-циклические контрольные и определительные испытания на безотказность авиационного бортового оборудования. – 1986. – 57 с.
3. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. – М.: Мир, 1980. – 604 с.

Поступила в редакцию 5.10.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. П.Д. Доценко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.