

Испытания на надежность технических систем

Учебное пособие



Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н. Э. Баумана

2 0 1 5

УДК 621.396.6(075.8)

ББК 32.844

И88

Издание доступно в электронном виде на портале *ebooks.bmstu.ru*
по адресу: <http://ebooks.bmstu.ru/catalog/192/book1267.html>

Факультет «Радиоэлектроника,
лазерная и медицинская техника»
Кафедра «Технологии приборостроения»

*Рекомендовано Редакционно-издательским советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебного пособия*

Авторы:

*Н.А. Ветрова, А.Г. Гудков, С.А. Козубняк, С.А. Мешков,
В.В. Назаров, Е.А. Скороходов, В.Д. Шашурин*

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент *Б.В. Хлопов*;
канд. техн. наук *К.Г. Потловский*

И88

Испытания на надежность технических систем :
учебное пособие / [Н. А. Ветрова и др.]. — Москва : Изда-
тельство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. — 84, [4] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-4214-0

Посвящено практическим методам статистической оценки надежности. Рассмотрены вопросы планирования контрольных и определительных испытаний на безотказность и долговечность. Приведены примеры планирования с использованием программы математического моделирования MATLAB. Даны подробные инструкции по выполнению практических заданий.

Для студентов старших курсов МГТУ им. Н.Э. Баумана.

УДК 621.396.6(075.8)

ББК 32.844

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015

© Оформление. Издательство

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015

ISBN 978-5-7038-4214-0

Предисловие

Надежность является одним из самых важных показателей современной техники. От нее зависят такие показатели, как качество, эффективность, безопасность, риск, готовность, живучесть. Техника может быть эффективной, только если она имеет высокую надежность.

Надежность техники определяется при ее проектировании и производстве. Чтобы создать техническую систему, удовлетворяющую требованиям надежности, необходимо уметь рассчитать ее надежность в процессе проектирования, знать методы обеспечения высокой надежности и способы их технической реализации, а также доказать экспериментально, что показатели надежности спроектированной системы не ниже заданных. И это еще не все. Нужно также разработать методы, обеспечивающие высокую безотказность техники в процессе ее эксплуатации. Это невозможно реализовать, если не владеть основами теории надежности. Ее должны знать: инженер, проектирующий технику, инженер-технолог, специалист по эксплуатации.

Знание теории надежности необходимо широкому кругу специалистов, и в этом — одна из ее особенностей как науки и научной дисциплины.

Дисциплина «Основы надежности технических систем» включена в профессиональный цикл основной образовательной программы направления подготовки 210601 «Проектирование и технология радиоэлектронных систем и комплексов».

Учебное пособие посвящено одному из самых сложных разделов дисциплины — «Испытания на надежность технических систем».

Целью учебного пособия является не только теоретическое освоение материала по основным принципам расчета и последующего экспериментального определения и контроля показателей надежности технических объектов, но и приобретение умений и навыков планирования контрольных и определительных испытаний на безотказность технических систем.

Освоение курса ведет к формированию как познавательных, творческих, социально-личностных компетенций, так и компетенций профессиональных, в том числе профессионально специализированных; расширяет знания в области практического приложения теории надежности технических систем.

Введение

Роль эксперимента в оценке надежности технических систем огромна. Эксперимент (в частности, статистический эксперимент) является единственным источником объективной информации о надежности. Только эксперимент (в реальной или опытной эксплуатации, а также при специальных испытаниях аппаратуры) позволяет получить показатели надежности элементов, необходимые для теоретического расчета надежности систем. Не имея данных о надежности элементов, невозможно рассчитать надежность системы и провести теоретический анализ моделей надежности.

Однако эксперимента с элементами системы (первичного эксперимента) для оценки надежности недостаточно. Выполняемые на этапе проектирования теоретические расчеты позволяют оценить надежность систем до их изготовления, но содержат даже при абсолютно достоверной информации о надежности элементов большую или меньшую методическую погрешность. Наличие погрешности объясняется двумя причинами: 1) несовершенством математической модели надежности, так как в ней отражаются не все, а лишь наиболее существенные факторы, влияющие на надежность; 2) нарушениями в реальной системе (хотя и небольшими в хорошей модели) тех допущений, которые приняты в процессе формирования математической модели надежности.

Для подтверждения прогнозируемых теоретическим расчетом показателей надежности систем необходим вторичный эксперимент над опытными образцами изделия или их макетами.

Элементы системы обычно обладают высокими показателями надежности (средняя наработка до отказа равна десяткам тысяч, сотням тысяч и даже миллионам часов). Однако их производство, как правило, является массовым, и поэтому имеется принципиальная возможность проводить испытания большого числа элементов. В системах количество испытываемых образцов исчисляется десятками, реже — сотнями. В высоконадежных изделиях, где приме-

нено глубокое структурное резервирование, для получения хороших оценок надежности необходимо длительное наблюдение, иначе оценки будут значительно отличаться от реальных показателей надежности. Часто не удается собрать статистику об отказах малосерийных и уникальных изделий в течение всего их жизненного цикла. Поэтому иногда ставят под сомнение необходимость теоретических расчетов для таких систем, поскольку их результаты сложно подтвердить экспериментально.

Противоположная точка зрения, согласно которой требуется проведение теоретических расчетов и для уникальных систем, основана на том, что последние обычно содержат большое число элементов, что дает возможность получить хорошие экспериментальные оценки надежности входящих в систему блоков и устройств. Кроме того, при наличии достоверной информации о надежности блоков и устройств совершенствование математической модели позволяет снизить методическую погрешность до довольно низкого уровня. При этом по мере усложнения модели необходимо широкое применение методов статистического моделирования.

Список основных обозначений

НТД — нормативно-техническая документация

ТЗ — техническое задание

ТУ — технические условия

ПН — показатель надежности

$ПН_{\alpha}$ ($ПН_{\beta}$) — приемочный (браковочный) уровень позитивного показателя надежности (P или T)

$\underline{ПН}$ — нижняя граница доверительного интервала (LCL) показателя надежности ПН (P или T)

$\overline{ПН}$ — верхняя граница доверительного интервала (UCL) показателя надежности ПН (P или T)

$\widehat{ПН}$ — точечная оценка показателя надежности ПН (P или T)

A — параметр распределения (векторный в общем случае)

A_{γ}, B_{γ} — оценочные нормативы для отношения правдоподобия

a_E — параметр распределения Эрланга

a_{Π} — параметр распределения Пуассона

a_{χ} — параметр распределения χ^2

C_N^m — число сочетаний из N по m

c_1, c_2, c_3 — приемочные нормативы контрольных испытаний

$c_{\text{пр}}$ — предельное число отрицательных исходов испытаний

$D[\dots]$ — дисперсия точечной оценки

D — разрешающий коэффициент

d — число отказавших изделий для планов типа $[N \dots T_n]$

f_L — функция правдоподобия

f_{α} (f_{β}) — функция плотности распределения показателя надежности для изделий, имеющих приемочный (браковочный) уровень надежности

H_0 (H_1) — гипотеза о кондиционности (некондиционности) партии
 K — коэффициент, учитываемый при определении дисперсии оценки $\hat{P}$
 $K_{\text{ус.п}}$ — коэффициент уменьшения рисков для усеченного последовательного плана типа P
 L — логарифмическая функция правдоподобия
 $[\dots M \dots]$ — испытания с восстановлением изделий
 $M[x]$ — математическое ожидание случайной величины x
 m — число отказов при испытаниях
 N — число изделий (объектов), поставленных на испытания
 P — вероятность безотказной работы
 P_3 — заданное в ТЗ значение вероятности безотказной работы
 $\text{Pr}\{\dots\}$ — вероятность события, указанного в фигурных скобках
 Q — вероятность отказа (или уровень процентной точки)
 $[\dots R \dots]$ — испытания с заменой отказавших изделий на новые
 r — количество отказов при испытаниях для планов типа $[N \dots r]$
 S — работоспособное состояние изделия.
 S_0 (S_1) — область принятия гипотезы H_0 (H_1)
 $\bar{S}$ — неработоспособное состояние изделия
 T — средняя наработка до отказа
 $T_{\text{и}}$ — длительность испытаний
 T_{γ} — гамма-процентная наработка до отказа
 t_i — элемент вариационного ряда наработки до отказа
 t_{max} — предельная суммарная наработка изделия
 t_{Σ} — суммарная наработка изделия
 $[\dots U \dots]$ — испытания без восстановления и замены изделий
 V — объем испытаний
 α — ошибка первого рода (риск изготовителя)
 $\tilde{\alpha}$ — вероятность ошибки первого рода для значения показателя надежности из области S_0
 B — функция биномиального распределения
 β — ошибка второго рода (риск заказчика)

Оглавление

Предисловие.....	3
Введение.....	4
Список основных обозначений	6
Глава 1. Основные термины и определения. Классификация методов статистических испытаний на надежность	9
1.1. Понятие испытаний	9
1.2. Виды испытаний	10
1.3. Планы испытаний	14
Глава 2. Определительные испытания на надежность	18
2.1. Оценка вероятности безотказной работы	18
2.2. Оценка параметра экспоненциального распределения	30
Глава 3. Контрольные испытания на надежность.....	57
3.1. Постановка задачи контроля надежности.....	57
3.2. Методика расчета планов одноступенчатого контроля.....	65
3.3. Методика расчета планов последовательного контроля	70
3.4. Планирование контрольных испытаний с помощью программы TExPTest1.0	78
Литература	86