

**ВОЕННО-КОСМИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ А.Ф. МОЖАЙСКОГО**

**Кафедра информационно-вычислительных систем и сетей**

**УТВЕРЖДАЮ**

Начальник 24 кафедры

ПОЛКОВНИК

А. Басыров

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ года

Автор: преподаватель 24 кафедры,  
кандидат технических наук, доцент В.Тимофеев

**Тема3. Испытания и контроль надёжности АС**

Лекция № 7

**Испытания на надёжность**

по дисциплине

**Надёжность автоматизированных систем**

Обсуждено и одобрено на заседании 24 кафедры  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ года протокол № \_\_\_\_

Санкт - Петербург

**Цель занятия:** ознакомить слушателей с основными понятиями и классификацией испытаний, с методами испытания надежности и обработкой опытных данных о результатах испытаний.

### СОДЕРЖАНИЕ ЗАНЯТИЯ И ВРЕМЯ

Введение	5 мин.
1. Основные понятия и классификация испытаний	27 мин.
2. Методы испытания надежности	27 мин.
3. Обработка опытных данных о результатах испытаний	26 мин.
Заключение	5 мин.

### Введение

Основными целями испытания элементов и систем на надежность являются:

- подтверждение соответствия данных анализа, полученных в процессе проектирования системы, с требуемыми показателями надежности;
- разработка рекомендаций по технической эксплуатации системы;
- получение показателей надежности элементов с целью их использования при расчетах надежности технических систем в процессе проектирования.

## 1. Основные понятия и классификация испытаний

**Испытания** – это экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результат воздействия на него.

Процессы, свойственные испытаниям:

- воздействие на объекта испытаний;
- измерения;
- выработка оценок характеристик свойств объекта.

Испытания проводятся при широком варьировании условий от минимальных до максимальных значений.

**Контроль** – это проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям.

Контроль проводится при нормальных условиях.

Качество испытаний включает:

- точность, которая характеризует близость полученных при испытаниях характеристик к их истинным значениям;

- воспроизводимость, которая характеризует близость результатов повторных испытаний;
- достоверность, которая характеризует степень доверия к полученным результатам испытаний.

Для оценивания точности используются:

- дисперсия  $D$ ;
- среднее квадратичное отклонение  $\sigma$ .

Для оценивания воспроизводимости используют дисперсию воспроизводимости  $D_v$ .

Для оценивания достоверности – доверительную вероятность  $\beta$  или **доверительный интервал**.

**Средства испытаний** – любые технические средства, применяемые при испытаниях.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ

- по уровню проведения;
- по назначению;
- по этапам разработки изделий;
- по месту и условиям проведения;
- по продолжительности;
- по виду воздействия;
- по определяемым характеристикам объекта;
- по результатам воздействия.

## НАЗНАЧЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

В зависимости от назначения различают:

- исследовательские испытания;
- контрольные испытания;
- определительные испытания;
- сравнительные испытания;
- специальные испытания.

**Исследовательские испытания** проводятся для изучения свойств СВТ.

**Контрольные испытания** проводятся для контроля качества СВТ.

**Определительные испытания** проводятся для определения значений показателей качества СВТ с заданной точностью и достоверностью.

**Сравнительные испытания** – это испытания аналогичных по характеристикам и одинаковых образцов техники. Цель этих испытаний – сравнение свойств двух и более образцов техники.

**Специальные испытания** проводятся с целью проверки устойчивости параметров изделия в специальных условиях эксплуатации. К специальным испытаниям относятся также испытания стабильности параметров изделия, **надежности и долговечности**.

Цель испытаний – выявить ненадежные детали и элементы изделия и определить количественные показатели надежности.

Объем испытаний  $V_{\text{исп}}$  определяется по формуле:

$$V_{\text{исп}} = N t_{\text{исп}},$$

где  $N$  – число испытываемых изделий;

$t_{\text{исп}}$  - время испытаний.

## 2. Методы испытания надежности

Испытания в зависимости от их организации на следующие основные группы:

NUT – испытания, при которых в течение времени  $T$  испытываются  $N$  изделий без их восстановления ( $U$  означает, что в процессе испытаний отказавшие изделия не восстанавливаются);

NUr – испытания, при которых испытывается  $N$  изделий без восстановления отказавших до появления  $r$  отказов;

NUN – испытания, при которых испытывается  $N$  изделий без восстановления отказавших в процессе испытаний до отказа всех  $N$  изделий, поставленных на испытание (дают наиболее полную информацию);

NRT, NRr - испытания, которые проводятся с восстановлением отказавших изделий.

Испытания по плану NUN ведутся до отказа всех  $N$  поставленных на испытания изделий, при этом фиксируется время отказа каждого изделия.

Средняя наработка до отказа определяется как среднее арифметическое

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}.$$

Среднеквадратическое отклонение относительно его среднего значения определяется по следующей зависимости

$$\sigma(T_{\text{cp}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - T_{\text{cp}})^2}{N}}.$$

Применение восстановления позволяет увеличить информативность испытаний без увеличения числа испытываемых изделий. Для этого используется план NRT или NRr.

NRT - план испытаний, согласно которому одновременно начинают испытания  $N$  изделий, отказавшие изделия заменяют новыми, испытания прекращают по истечении времени испытаний или наработки  $T$  для каждой с  $N$  позиций (каждое из  $N$  изделий занимает определенную позицию на испытательном стенде, в отношении которой в дальнейшем отсчитывается продолжительность испытаний  $T$  независимо от замены изделий).

NRr - план испытаний, согласно которому одновременно начинают испытания  $N$  изделий, отказавшие изделия заменяют новыми, испытания прекращают, когда суммарное число отказавших изделий по всем позициям достигает  $r$ .

Средняя наработка до отказа при испытаниях по плану NRr

$$T_{\text{cp}} = \frac{t_{p\Sigma}}{r}.$$

где

$t_{p\Sigma}$  – суммарная наработка испытываемых изделий.

Если не учитывать время на восстановление, то

$$T_{\text{cp}} = \frac{N t_r}{r}.$$

где  $t_r$  – время фиксации последнего отказа.

Число испытываемых изделий можно определить, используя выражение для определения среднеквадратического значения средней наработки.

### УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ НАДЕЖНОСТИ

Рассмотренные методы испытаний эффективны, но требуют все-таки большого времени испытаний, особенно для испытания изделий с высокой надежностью.

С целью уменьшения времени испытаний применяют ускоренные испытания, которые проводятся с помощью форсированных режимов.

При ускоренных испытаниях важно, чтобы:

- в условиях форсированных режимов не искажался характер естественного старения и других процессов, протекающих в материалах при нормальной эксплуатации;
- распределение отказов во времени соответствовало распределению отказов при нормальных испытаниях.

Если число зафиксированных отказов при ускоренных испытаниях  $k_{\text{уск}}$  равно числу отказов при нормальных испытаниях  $k_0$ , то

$$\lambda_{\text{уск}} \approx K_y \lambda_0, \quad V_{\text{исп. уск}} = V_{\text{исп. 0}}, \quad t_{\text{уск}} = \frac{t_0}{K_y}.$$

где  $\lambda_{\text{уск}}$ ,  $V_{\text{исп. уск}}$ ,  $t_{\text{уск}}$  - интенсивность отказов, объем и время испытаний при ускоренных испытаниях;

$\lambda_0$ ,  $V_{\text{исп. 0}}$ ,  $t_0$  - интенсивность отказов, объем и время испытаний при нормальных испытаниях;

$K_y$  - коэффициент ускорения.

### 3. Обработка опытных данных о результатах испытаний

На практике часто требуется иметь интервал оценок, который с достаточно высокой вероятностью «накрывает» возможное значение показателя надежности.

Например, для вероятности безотказной работы достоверным интервалом возможных значений является  $[0,1]$ , а для средней наработки до отказа соответственно  $[0,\infty)$ .

В других случаях указания границ интервалов может быть связано с риском допустить ошибку. Вероятность  $\alpha_0$  этой ошибки называется *уровнем значимости*, т.е.  $\alpha_0$  - вероятность того, что истинное значение показателя надежности не попадет в найденный интервал.

$$\alpha_0 = \alpha_1 + \alpha_2,$$

где  $\alpha_1$  - вероятность того, что истинное значение показателя надежности окажется слева от интервала,

$\alpha_2$  - вероятность того, что истинное значение показателя надежности окажется справа от интервала.

В качестве меры достоверной оценки используется *доверительная вероятность*  $\beta$ :  $\beta = 1 - \alpha_0$ .

$$\beta = \text{Вер}(\theta_{\text{н}} \leq \theta_0 \leq \theta_{\text{в}}),$$

где  $\theta_{\text{н}}$  и  $\theta_{\text{в}}$  - нижняя и верхняя границы доверительного интервала,  
 $\theta_0$  - истинное значение показателя надежности.  
 Из определения доверительной вероятности следует:

$$\beta = \int_{\theta_{\text{н}}}^{\theta_{\text{в}}} f(\theta) d\theta = 1 - \alpha_1 - \alpha_2,$$

где  $f(\theta)$  – плотность распределения оценки  $\theta$ .

$$\alpha_1 = \int_{-\infty}^{\theta_{\text{н}}} f(\theta) d\theta = F(\theta_{\text{н}}),$$

$$\alpha_2 = \int_{\theta_{\text{в}}}^{+\infty} f(\theta) d\theta = 1 - \int_{-\infty}^{\theta_{\text{в}}} f(\theta) d\theta = 1 - F(\theta_{\text{в}}),$$

где  $F(\theta)$  – функция распределения оценки  $\theta$  показателя надежности.

Отсюда:  $\theta_{\text{н}}$  - квантиль  $F(\theta)$  по уровню  $\alpha_1$ ,

$\theta_{\text{в}}$  - квантиль  $F(\theta)$  по уровню  $1 - \alpha_2$ .

**Кванти́ль** — значение, которое заданная случайная величина не превышает с фиксированной вероятностью.

Статистики используют слово **квантиль** (или **фрактиль** от англ. 'quantile', 'fractile') как наиболее общий термин для порогового значения не выше которого (то есть равно или ниже) лежат значения случайной величины.

Наиболее часто используемые квантили - *квартили, квинтили, децили и проценти́ли*.

**Кварти́ли** (англ. 'quartiles') делят распределение на четверти, **квинтили** (англ. 'quintiles') - на 5 частей, **децили** (англ. 'deciles') - на 10 частей и **процентилы** (англ. 'percentiles') - на 100.

Если задать  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$  и  $\beta$ , то можно найти  $\theta_{\text{н}}$  и  $\theta_{\text{в}}$ , выход за которые показателя надежности  $\theta$  равновероятен.

**Знание плотности распределения  $f(\theta)$  оценки показателя надежности  $\theta$  является необходимым условием нахождения границ доверительного интервала.**

Вид  $f(\theta)$  определяется видом распределения исследуемой случайной величины и функциональными преобразованиями, которые производятся над исходной статистикой при получении оценок.

Пример:

Пусть оценка для математического ожидания случайной величины  $\hat{T}$  задается выражением

$$T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i,$$

тогда распределение случайной величины  $\hat{T}$  представляет собой распределение суммы  $N$  независимых случайных величин с плотностями  $f(t_i)$ .

Если  $f(t_i) = \lambda e^{-\lambda t}$ , то распределение оценки  $\hat{T}$  соответствует гамма-распределению с  $N$  степенями свободы

$$f(T) = \frac{(N\lambda)^N}{\Gamma(N)} (T)^{N-1} e^{-\lambda TN},$$

где  $\Gamma(N)$  – гамма-функция. Для целых чисел  $\Gamma(N) = (N-1)!$ .

Для  $f(t_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}$  – нормальный закон распределения случайной величины со средним значением  $m$  и дисперсией  $\sigma^2$ , оценка  $\hat{T}$  имеет плотность распределения

$$f(T) = \frac{\sqrt{N}}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{N(T-m)^2}{2\sigma^2}}.$$

**Доверительный интервал** – это интервал со случайными концами, т.к. длина и положение интервала зависят от результатов испытаний.

Точность оценивания параметра оценки  $\theta$  зависит от длины интервала, чем уже интервал, тем выше точность.

При фиксированной точности (фиксированной длине доверительного интервала) доверительная вероятность будет возрастать по мере увеличения числа испытаний.

Если объем испытаний остается постоянным, то доверительную вероятность невозможно повысить, не уменьшая точность оценивания (не расширяя доверительный интервал), и наоборот, нельзя увеличить точность оценки, не уменьшая доверительную вероятность.

## Заключение

Таким образом, сегодня были рассмотрены основные понятия, классификация испытаний, методы испытания надежности и обработка опытных данных о результатах испытаний.

Задание на самостоятельную работу:

- 1) Отработать учебный материал по конспекту лекций.
- 2) Изучить материал рекомендуемой литературы.

В.Тимофеев

(воинское звание, подпись, инициал имени, фамилия автора)



«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_ г.