



Основы теории надежности
Показатели надежности для невосстанавливаемых объектов

Санкт-Петербург, 2025

Основные понятия теории надежности

ГОСТ 27.002-89 "Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения"

Свойство – это то в чем рассматриваемый объект сходен или отличается от других объектов, имеющих для сравнения.

Параметр – признак или величина, характеризующая какое-либо свойство объекта и принимающий различные значения.

Все параметры объекта можно разделить на два вида: **внешние и внутренние.**

Вектор внешних параметров объекта образует множество $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$, которым оперирует заказчик при разработке объекта или выборе из готовых вариантов.

Вектор внутренних параметров $X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ интересен в основном разработчикам и специалистам, так как с помощью них и достигаются запланированные значения внешних параметров.

Основные понятия теории надежности

БПЛА – объект, предназначенный для решения задач гражданского и военного назначения.

Вектор внешних параметров:

- дальность полета;
- скорость полета на прямолинейных участках;
- маневренность;
- полезная нагрузка;
- габаритные размеры аппарата;
- масса БПЛА;
- надежность аппарата, которая в данный момент времени ниже, чем у пилотируемых летательных аппаратов;
- живучесть, которая также низкая;
- максимальная высота полета;
- стоимость аппарата.

Вектор внутренних параметров:

- емкость и тип аккумулятора;
- конструкция БПЛА;
- материалы, использованные в БПЛА;
- количество лопастей и винтов;
- мощность двигателей;
- подъемная сила;
- элементная база БПЛА;
- точность позиционирования системы навигации;
- протокол обмена данными по радиоканалу;
- частота сигналов управления;
- система команд управления БПЛА и бортовой аппаратуры.

Внутренние и внешние параметры связаны друг с другом определенными соотношениями, называемыми уравнениями связи. Уравнения связи образуют систему, которая и позволяет реализовать в объекте необходимые функции и цель:

[illegible]

Исправное состояние - состояние, при котором объект соответствует всем требованиям нормативно-технической и/или конструкторско-технологической документации (НТД и/или КТД).

Неисправное состояние - состояние объекта, при котором он не способен выполнять какую-либо функцию, что нарушает его работу, но при этом не обязательно выводит его из строя.

Повреждение - состояние, при котором нарушается исправная работа объекта или его составных частей из-за воздействия внешних факторов с уровнями, превышающими пределы, установленные НТД.

Основные понятия теории надежности

Работоспособное состояние – состояние объекта, при котором он способен выполнять требуемые функции с параметрами, установленными в технической документации.

Неработоспособное состояние – состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям НТД и/или КД.

Предельное состояние – состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Критерий предельного состояния – признак или совокупность признаков предельного состояния объекта, установленные НТД и/или КД.

Дефект – каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям.

Отказ – случайное событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта в результате действия внешних факторов.

Деградационный отказ – обусловлен естественными процессами старения, износа и коррозии, а также усталостных явлений.

Авария – событие, заключающееся в переходе объекта с одного уровня работоспособности на существенно более низкий уровень, в результате чего в значительной мере нарушается режим работы объекта.

Основные понятия теории надежности

Таблица 1 – Классификация отказов

Классификация отказов по:	Вид отказа	Проявление и причина отказа
характеру изменения параметра до момента возникновения отказа	Внезапный	Скачкообразное изменение значений одного или нескольких параметров объекта
	Постепенный	Постепенное изменение одного или нескольких параметров за счет медленного, постепенного ухудшения качества объекта
связи с отказами других элементов (узлов, устройств)	Независимый	Отказ не обусловлен повреждениями или отклонениями других элементов
	Зависимый	Отказ обусловлен повреждениями или отказами в других элементах
возможности использования элемента после его отказа	Полный	Полная потеря работоспособности, без возможности использования объекта по назначению
	Частичный	Дальнейшее использование объекта возможно, но с меньшей эффективностью
характеру проявления отказа	Сбой	Кратковременный, самоустраняющийся отказ
	Перебежающий	Множественно возникающий сбой одного и того же характера, связанный с обратимыми изменениями в режимах работы и параметров объекта
	Устойчивый	Устраняемый только в результате восстановительных работ отказ, возникший из-за необратимых процессов в элементах и материалах

Основные понятия теории надежности

Продолжение таблицы 1

Классификация отказов по:	Вид отказа	Проявление и причина отказа
причине возникновения отказа	Конструкционный	Возникает в результате нарушений правил и норм конструирования
	Производственный	Возникает из-за нарушений или несовершенства технологического процесса изготовления или ремонта
	Эксплуатационный	Возникает из-за нарушения правил и условий эксплуатации объекта
	Случайный	Причинами являются: перегрузки, дефекты материалов, погрешности в изготовлении, ошибки человека-оператора, сбои в системе управления процессами
	Систематический	Возникают из-за систематического воздействия факторов, вызывающих постепенное накопление повреждений
по времени возникновения отказа	Период приработки	Обусловлен скрытыми производственными дефектами, не выявленными в процессе контроля
	Период нормальной эксплуатации	Обусловлен несовершенством конструкции, скрытыми производственными дефектами и эксплуатационными нагрузками
	Период старения	Обусловлен процессами старения и износа материалов и элементов объекта
по возможности обнаружения отказа	Очевидный	Обнаруживаются визуально или с помощью средств контроля и диагностирования
	Скрытый	Не обнаруживаются визуально или с помощью средств контроля и диагностирования

Основные понятия теории надежности

Наработка - продолжительность функционирования объекта или объем работы, выполненный за определенный промежуток времени.

Наработка до отказа - наработка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа.

Наработка между отказами - наработка объекта от окончания восстановления его работоспособного состояния после отказа до возникновения следующего отказа.

Ресурс - суммарная наработка объекта либо с начала его эксплуатации, либо с момента возобновления работы после ремонтных работ, до перехода в предельное состояние.

Срок службы - календарная продолжительность эксплуатации либо с начала эксплуатации объекта, либо с момента возобновления работы после ремонта.

Средний срок службы - математическое ожидание величины срока службы.

Остаточный ресурс - суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

Назначенный ресурс - суммарная наработка объекта, достигнув которую необходимо прекратить эксплуатацию независимо от его технического состояния.

Назначенный срок службы - календарная продолжительность эксплуатации объекта, при окончании которой необходимо прекратить эксплуатацию независимо от технического состояния объекта.

Назначенный срок хранения - календарная продолжительность хранения, при окончании которой хранение необходимо прекратить независимо от технического состояния объекта.

Основные понятия теории надежности

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять свою работоспособность в течение заданного промежутка времени при определенных условиях эксплуатации.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособное состояние в течение определенного времени при соблюдении регламента технического обслуживания и ремонтов.

Ремонтопригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять значение показателей безотказности, долговечности, ремонтпригодности после хранения и транспортировки.

Средний срок сохраняемости – математическое ожидание величины срока сохраняемости объекта.

Гамма-процентный срок сохраняемости – срок сохраняемости, достигаемый объектом с определенной вероятностью, указанной в процентах.

Основные понятия теории надежности

Таблица 2- Показатели надежности для восстанавливаемых и невосстанавливаемых объектов

Показатели	
Для невосстанавливаемых объектов	Для восстанавливаемых объектов
Показатели безотказности	
<ul style="list-style-type: none">- вероятность безотказной работы;- частота отказов;- интенсивность отказов;- средняя наработка до отказа.	<ul style="list-style-type: none">- вероятность безотказной работы;- параметр потока отказов (интенсивность);- средняя наработка на отказ.
Показатели долговечности	
<ul style="list-style-type: none">- средний срок службы;- средний срок службы до списания;- гамма-процентный срок службы;- назначенный ресурс;- средний ресурс;- гамма-процентный ресурс.	<ul style="list-style-type: none">- средний срок службы;- средний срок службы до списания;- гамма-процентный срок службы;- средний срок службы до среднего ремонта;- средний срок службы между средними ремонтами;- назначенный ресурс;- средний ресурс;- гамма-процентный ресурс;- средний ресурс между средними ремонтами;- средний ресурс до списания;- средний ресурс до среднего ремонта.

Основные понятия теории надежности

Продолжение таблицы 2

Показатели	
Для невозстанавливаемых объектов	Для восстанавливаемых объектов
Показатели ремонтпригодности	
	<ul style="list-style-type: none">- вероятность восстановления в заданное время;- среднее время восстановления.
Показатели сохраняемости	
<ul style="list-style-type: none">-средний срок сохраняемости;- гамма-процентный срок сохраняемости.	
Комплексные показатели надежности	
	<ul style="list-style-type: none">- коэффициент готовности;- коэффициент оперативной готовности;- коэффициент технического использования;- средняя и удельная суммарная трудоемкость технического обслуживания;- средняя и удельная суммарная трудоемкость ремонтов.

Основные понятия теории надежности

Вероятность безотказной работы - вероятность $p(t)$ того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет:

$$p(t) = 1 - \frac{n(t)}{N}$$

Вероятность отказа - вероятность того факта, что в пределах заданной наработки произойдет хотя бы один отказ объекта.

$$q(t) = 1 - p(t)$$

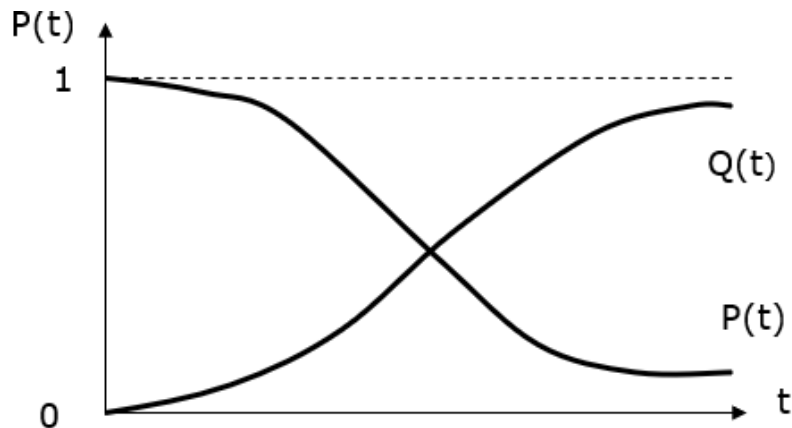


Рисунок 1 - функция отказа

Основные понятия теории надежности

Частота отказов – это плотность распределения наработки до отказа:

$$f(t) = \frac{n(t)}{N * t}$$

Интенсивность отказов – условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - q(t)}$$

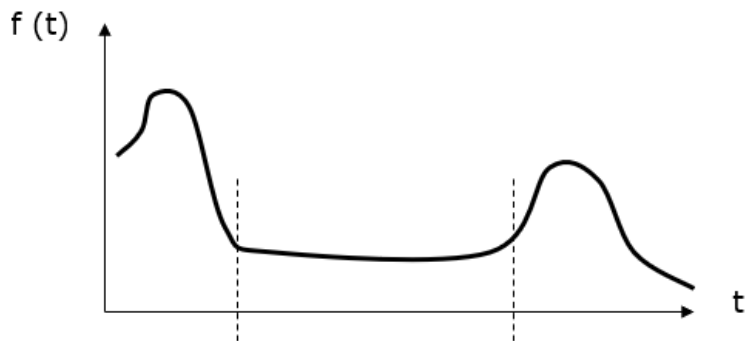


Рисунок 2 – частота отказов

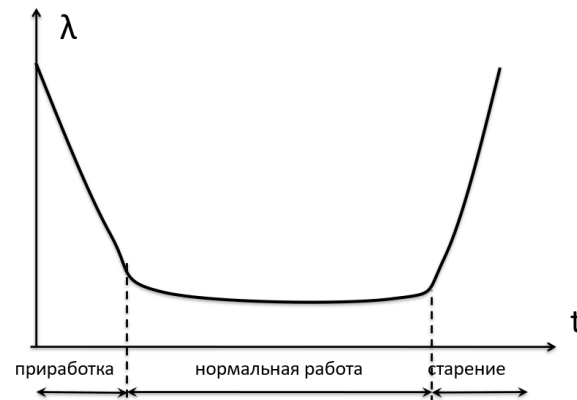
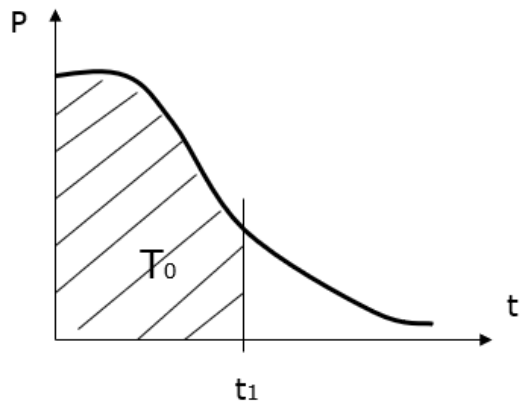


Рисунок 3 – Интенсивность отказов

Основные понятия теории надежности

Гамма-процентная наработка до отказа - наработка, в течение которой отказ объекта не возникнет с определенной вероятностью, указанной в процентах.

Средняя наработка до отказа - математическое ожидание случайной величины наработки объекта до первого отказа:



$$T_0 = \frac{1}{\lambda(t)}$$

Рисунок 3 - Средняя наработка до отказа