

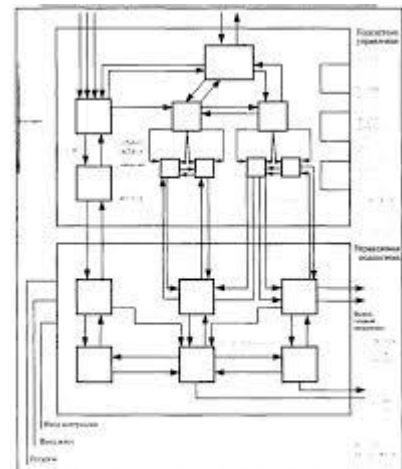
$$P(t)=0,997$$

Основные понятия теории надежности

Теория надежности

02/02/21

Кабалянец Петр Степанович



План



1. История и актуальность теории надежности.
2. Основные понятия теории надежности по ГОСТу.
3. Основные понятия теории надежности без ГОСТа.
4. Математические модели теории надежности. Пуассоновский поток отказов.

Появление термина: 1836 год, статья князя Петра Борисовича Козловского «О надежде» в последнем издании А.С. Пушкиным журнала «Современник» (Пушкин о Козловском: ««Ценитель умственных творений исполинских»») (у англичан термин Reliability впервые в 1816 году у поэта С.Т.Кольриджа)

О НАДЕЖДѢ.

Ex fumo dare lucem.

Бог.

Многіе неглубокомысленные люди смѣшиваютъ то возвышенное чувство, которое священналъ наша Религія поставила въ число добродѣтелей Христіанскихъ, съ суетными надеждами житейскими. Въ смыслѣ Христіанскомъ, надежда есть упованіе на милосердіе Божіе, довѣренность, такъ сказать, къ неограниченной любви Создателя къ человѣку. Въ надеждѣ такого рода нѣтъ ничего невѣрнаго, нѣтъ ничего предположительнаго; и Религія справедливо означаетъ ее яко наибезцвѣннѣйшее сокровище, коего храненіе въ сердцѣ нашемъ подкрѣпляетъ наши силы въ болѣзняхъ, бѣдахъ и печали. Надежда житейская, напротивъ того, есть то, что древніе, живописно изображавшіе жизнь человѣческую, полагали оставшимся на днѣ Пандорины ящика, — т. е. какое-то мечтательное утѣшеніе, черпаемое въ возможности переменъ случая, безъ всякой причины для ожиданія таковой перемены.



Князь П. Б. Козловский. Портрет XIX в.

Разные задачи:

- задача оценки среднего времени горения газовых фонарей (начало 1900-х годов)
- задача описания среднего времени наработки электронной лампы до её выхода из строя (середине 1930-х, Валодди Вейбулл)
- надёжность ракетных комплексов Фау-1 и Фау-2 Вернер фон Браун считал: надёжность ракеты равна надёжности самого ненадёжного элемента, Эрик Пьеружка показал: надёжность ракеты равна произведению надёжности всех компонентов





Агнер Краруп Эрланг:

The Theory of Probabilities and
Telephone Conversations
(1909)



Леонард Клейнрок: Information Flow in Large Communication Nets (1961)





Клейнрок и ARPANET

20 октября 1969 года Клейнрок из Лос-Анджелеса передал сообщение в Сан-Франциско – слово «Log» по-буквенно тремя этапами: передали первую, запросили прошла ли она, вторую...на запросе об успешном получении третьей буквы комп завис...но Интернет родился



Причины актуальности Теории надежности:

- рост сложности аппаратуры и появление сложных высокопроизводительных компьютерных систем;
- медленный рост уровня надежности комплектующих элементов;
- увеличение важности выполняемой аппаратурой функций;
- усложнение условий эксплуатации и др.



Основными задачами теории надежности являются:

- методы анализа надежности элементов и систем;
- установление видов количественных показателей надежности;
- выработка методов аналитической оценки надежности;
- разработка методов оценки надежности по результатам испытаний;
- оптимизация надежности на стадиях разработки и эксплуатации.



ГОСТ 27.002—89: общие понятия

1.1. Надежность Reliability, dependability (комплексное свойство)	Свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.
1.2. Безотказность failure-free operation	Свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки
1.3. Долговечность Durability, longevity	Свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта
1.4. Ремонтпригодность Maintainability	Свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта
1.5. Сохраняемость Storability	Свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования

ГОСТ 27.002—89: состояние

2.1. Исправное состояние Good state	Состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации
2.2. Неисправное состояние Fault, faulty state	Состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований...
2.3. Работоспособное состояние Up state	Состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям...
2.4. Не работоспособное состояние Down state	Состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям...
2.5. Предельное состояние Limiting state	Состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно

ГОСТ 27.002—89: дефекты, повреждения, отказы

3.3. Отказ Failure	Событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта
3.8. Ресурсный отказ Marginal failure	Отказ, в результате которого объект достигает предельного состояния
3.9. Независимый отказ Primary failure	Отказ, не обусловленный другими отказами
3.10. Зависимый отказ Secondary failure	Отказ, обусловленный другими отказами
3.13. Сбой Interruption	Самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора
3.15. Явный отказ Explicit failure	Отказ, обнаруживаемый визуально ила штатными методами и средствами контроля и диагностирования при подготовке объекта к применению или в процессе его применения по назначению

ГОСТ 27.002—89: временные понятия

4.2. Нарботка до отказа Operating time to failure	Нарботка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа
4.3. Нарботка между отказами Operating time between failures	Нарботка объекта от окончания восстановления его работоспособного состояния после отказа до возникновения следующего отказа
4.4. Время восстановления Restoration time	Продолжительность восстановления работоспособного состояния объекта
4.5. Ресурс Useful life, life	Суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние
4.6. Срок службы Useful lifetime, lifetime	Календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние

ГОСТ 27.002—89: техническое обслуживание и ремонт

5.2. Восстановление Restoration, recovery	Процесс перевода объекта в работоспособное состояние из неработоспособного состояния
5.3. Ремонт Repair	Комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности изделий и восстановлению ресурсов изделий или их составных частей
5.6. Восстанавливаемый объект Restorable item	Объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации
5.7. Невосстанавливаемый объект Nonrestorable item	Объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния не предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации

ГОСТ 27.002—89: показатели безотказности

6.8. Вероятность безотказной работы Reliability (survival) function	Вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет
6.10 Средняя наработка до отказа Mean operating time to failure	Математическое ожидание наработки объекта до первого отказа
6.11. Средняя наработка на отказ Mean operating time between failures	Отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки
6.12. Интенсивность отказов Failure rate	Условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник
6.13. Параметр потока отказов Failure intensity	Отношение математического ожидания числа отказов восстанавливаемого объекта за достаточно малую его наработку к значению этой наработки

ГОСТ 27.002—89: показатели ремонтнопригодности

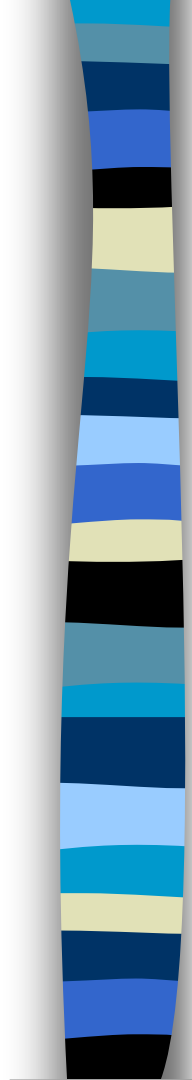
6.19. Вероятность восстановления Probability of restoration	Вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданное значение
6.20. Гамма-процентное время восстановления Gamma-percentile restoration time	Время, в течение которого восстановление работоспособности объекта будет осуществлено с вероятностью, выраженной в процентах
6.21. Среднее время восстановления Mean restoration time	Математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния объекта после отказа
6.22. Интенсивность восстановления (Instantaneous) restoration rate	Условная плотность вероятности восстановления работоспособного состояния объекта, определенная для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента восстановление не было завершено
6.23. Средняя трудоемкость восстановления Mean restoration man-hours, mean maintenance man-hours	Математическое ожидание трудоемкости восстановления объекта после отказа.

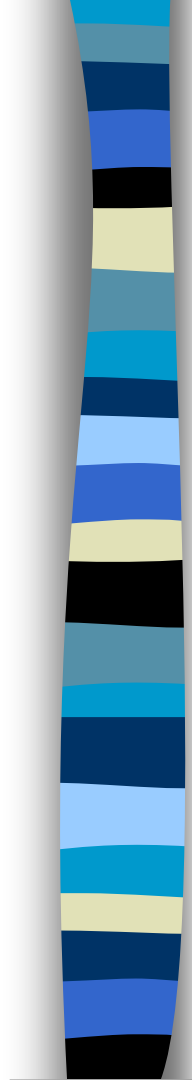
ГОСТ 27.002—89: резервирование

7.1. Резервирование Redundancy	Способ обеспечения надежности объекта за счет использования дополнительных средств и (или) возможностей, избыточных по отношению к минимально необходимым для выполнения требуемых функции
7.2. Резерв Reserve	Совокупность дополнительных средств и (или) возможностей, используемых для резервирования
7.3. Основной элемент Major element	Элемент объекта, необходимый для выполнения требуемых функций без использования резерва
7.4. Резервируемый элемент Element under redundancy	Основной элемент, на случай отказа которого в объекте предусмотрены одни или несколько резервных элементов
7.5. Резервный элемент Redundant element	Элемент, предназначенный для выполнения функции основного элемента в случае отказа последнего

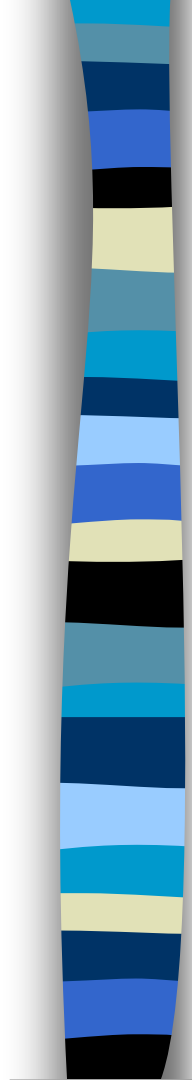
ГОСТ 27.002—89: резервирование (продолжение)

7.6. Кратность резерва Redundancy ratio	Отношение числа резервных элементов к числу резервируемых ими элементов, выраженное несокращенной дробью
7.7. Дублирование Duplication	Резервирование с кратностью резерва один к одному
7.11. Общее резервирование Whole system redundancy	Резервирование, при котором резервируется объект в целом
7.12. Раздельное резервирование Segregated redundancy	Резервирование, при котором резервируются отдельные элементы объекта или их группы
7.14. Резервирование замещением Standby redundancy	Резервирование, при котором функции основного элемента передаются резервному только после отказа основного элемента

- 
- Под *системой* понимают совокупность элементов, взаимодействующих между собой в процессе выполнения заданных функций.
 - *Элементом* системы называют часть системы, которая имеет самостоятельную характеристику надежности, используемую при расчетах и выполняющую определенную функцию в интересах системы.



Надежность – свойство объекта (ИС) сохранять во времени в установленных пределах способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.



Объекты делятся на *восстанавливаемые* и *невосстанавливаемые*, в зависимости от того какое решение должно быть принято в случае отказа объекта.



Основные показатели надежности невосстанавливаемой системы:

1. $P(t)$ — вероятность безотказной работы в течение времени t
Вероятность безотказной работы — вероятность того, что технический объект не откажет в течение времени t или что время ξ , работы до отказа технического объекта больше времени его функционирования t : $P(t) = P(\xi > t)$.

$$P(t) = P(\xi > t).$$

Вероятность безотказной работы является убывающей функцией времени, имеющей следующие свойства:

$$0 \leq P(t) \leq 1, P(0) = 1, P(+\infty) = 0.$$



Основные показатели надежности невосстанавливаемой системы:

По статистическим данным об отказах, полученным из опыта или эксплуатации, $P(t)$ определяется следующей статистической оценкой:

$$P^*(t) = N(t) / N_0 = (N_0 - n(t)) / N_0$$

где N_0 — общее число элементов, находящихся на испытании,
 $N(t)$ — число исправно работающих элементов в момент времени t ,
 $n(t)$ — число отказавших элементов в течение времени t .

Основные показатели надежности невосстанавливаемой системы:

2. $Q(t)$ — вероятность отказа в течение времени t ;

$$Q(t) = 1 - P(t)$$

3. T_1 — среднее время безотказной работы.

Среднее время безотказной работы — математическое ожидание времени безотказной работы объекта.

Статистическая оценка:

$$T_1^* = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_i \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{N_0} n_i t_{i\text{cp}}$$

где t_i — время безотказной работы i -го элемента.

n — число элементов отказавших за время испытания;

n_i — число элементов, отказавших в i -ом интервале времени;

$t_{i\text{cp}}$ — середина i -го временного интервала.

Основные показатели надежности невосстанавливаемой системы:

4. $f(t)$ — плотность распределения времени безотказной работы (частота отказов)

Частота отказов — это плотность распределения случайной величины ξ , характеризует надежность в данный момент (точечная характеристика).

Статистически $f(t)$ определяется отношением числа отказавших элементов в единицу времени к числу испытываемых элементов при условии, что отказавшие не восполняются исправными:

$$f^*(t) = \frac{n(t, t + \Delta t)}{N_0 \Delta t} = \frac{\Delta n(t)}{N_0 \Delta t}$$

Основные показатели надежности невосстанавливаемой системы:

5. $\lambda(t)$ — интенсивность отказа в момент времени t

Интенсивность отказов — отношение плотности распределения к вероятности безотказной работы

$$\lambda(t) = f(t)/P(t)$$

Статистически интенсивность отказов есть отношение числа отказавших элементов в единицу времени к среднему числу элементов, исправно работающих на интервале $[t, t+\Delta t]$:
распределения к вероятности безотказной работы объекта:

$$\lambda^*(t) = \frac{n(t, t + \Delta t)}{N_{cp} \Delta t}, \quad N_{cp} = \frac{N(t) + N(t + \Delta t)}{2}$$

где N_{cp} — среднее число элементов исправно работающих в течение времени от t до $(t+\Delta t)$.

$$\begin{array}{c}
 \text{Diagram of a torus} \quad |Q|=|N| \cdot h_s \quad \varphi: \mathbb{Z}^n \rightarrow \mathbb{R}^n \\
 (P \Rightarrow Q) \sim (\neg P \vee Q) \quad \text{Diagram of a cube} \quad \text{Diagram of a cycle } A \rightarrow B \rightarrow A \\
 \text{Diagram of a dodecahedron} \quad \sum_{i=1}^n i = \frac{n(n+1)}{2} \quad \text{Diagram of a flower-like shape} \quad (A \cup B)^c = A^c \cap B^c \quad \text{Diagram of a cycle } A \rightarrow B \rightarrow A \\
 A \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v \right) = -\nabla p - \nabla T \cdot f \quad \text{Diagram of a tetrahedron} \quad e^x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!} \\
 D_n = \langle r, s \mid r^n = s^2 = rsrs = 1 \rangle \quad \pi(x) = \frac{x}{\log x} \quad \text{Diagram of a cube} \quad \text{Diagram of a shaded area under a curve } f(x) \\
 Q = \left\{ \frac{a}{b} \mid a, b \in \mathbb{Z}, b \neq 0 \right\} \quad I(\tau, z_0) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma} \frac{dz}{z - z_0} \quad \text{Diagram of a cycle } A \rightarrow B \rightarrow A \\
 \int_a^b f(x) dx = F(b) - F(a), f(x) = F'(x) \quad \text{Diagram of a tetrahedron} \quad \text{Diagram of a cycle } A \rightarrow B \rightarrow A \\
 G \xrightarrow{\pi} G/H \quad \text{Diagram of a dodecahedron} \quad \Gamma(z) = \int_0^{\infty} t^{z-1} e^{-t} dt \\
 \searrow \quad \downarrow \theta \quad \text{Diagram of a tetrahedron} \quad e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta \\
 H \quad \text{Diagram of a tetrahedron} \\
 x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{\ddots}}}
 \end{array}$$

Спасибо за терпение!