

МОДУЛ 1: *НАДЕЖДНОСТ НА ХАРДУЕРА*

ТЕМА: СВОЙСТВА И ПОКАЗАТЕЛИ НА НАДЕЖДНОСТ

МОДЕЛИ НА НАДЕЖДНОСТ

ТЕМА: СВОЙСТВА И ПОКАЗАТЕЛИ НА НАДЕЖДНОСТ

Особености на надеждността на възстановими и невъзстановими
електронни изделия. Резервиране за повишаване на
надеждността

Общи положения

Направления на развитие на надеждността

1. Разработка на модели и методи за анализ надеждността на системи
2. Подготовка на изходни данни за системни модели на надеждността
3. Управление на надеждността на основата на изпитване и експлоатация
4. Автоматизация на анализа на надеждността



Вибростенд за създаване на вибрации



Ударен стенд



Барокамери за изменение на налягането

Моделиране на надеждност

Разработка на модели и методи за анализ надеждността

Методи за прогнозиране на състоянието на хардуера (елементи и системи) въз основа на изучаване на протичащите в тях процеси („физика на отказите“) способни значително да намалят влиянието ефекта на случайните (нерегулирани, неконтролирани и непредсказуеми) фактори, по-точно да опишат поведението на обектите и възможността за поява на отказ или неизправност.

Въпреки това, за да се оцени надеждността на елементите по данни за отказ е необходимо да се състави модел на процесите, протичащи в елементите и водещи до появата на откази (**модели на отказите**), които като правило, имат вероятностен характер.

Изборът на модел за надеждност може да бъде направен въз основа на статистически анализ на данните за функционирането на обектите по време на тестване или в експлоатационни условия. Моделите за физическа надеждност понякога значително помагат за изграждането на успешни хипотези за разпределението на вероятностните характеристики на надеждността, които след това могат да бъдат проверени чрез статистически методи.

Състоянието на обекта и неговите параметри X_i , които определят свойствата на надеждност, са функция на входните параметри Z_j и времето t

$$X_i = f(Z_1, Z_2, \dots, Z_k, t)$$

Моделиране на надеждност

Разработка на модели и методи за анализ надеждността

Тук Z_1, Z_2, \dots, Z_k са параметри, характеризиращи условията експлоатация и характеристики на състоянието на обекта.

Всеки от определящите параметри X_i и неговата промяна под въздействието на различни фактори може да бъде приблизително представен като

$$X_i = X_{i0} + \Delta X_i = X_{i0} + \sum_{j=1}^k \frac{\partial X_i}{\partial Z_j} \Delta Z_j + \frac{\partial X_i}{\partial t} \Delta t$$

Основните показатели за надеждност от своя страна могат да бъдат представени като функции на физически характеристики и параметри на елементите и скоростта им в зависимост от различни фактори.

Например, промяната на вероятността за отказ може да се изрази чрез параметрите на елемента във формата

$$q_i = \int_0^t \frac{\partial q_i}{\partial t} dt = \int_0^t \frac{\partial q_i}{\partial X_i} \frac{\partial X_i}{\partial t} dt$$

където $\partial X_i / \partial t$ – скорост на изменения на параметра X_i вследствие на физически или физико-химически процеси в елемента; $\partial q_i / \partial X_i$ – изменение на вероятността за отказ, вследствие изменението на параметра X_i .

Моделиране на надеждност

Разработка на модели и методи за анализ надеждността

В общия случай, когато се анализира надеждността на елементите, е необходимо да се вземат предвид различните свойства на материалите (механични, електрически, топлинни и др.) и влиянието на различни външни и вътрешни фактори, причиняващи тяхната промяна. Тогава вероятността на отказа е

$$q(t) = \prod_{i=1}^n q_i = \prod_{i=1}^n \int_0^t \frac{\partial q_i}{\partial (\sum_{i=1}^n X_i)} \sum_{i=1}^n \frac{\partial X_i}{\partial t} dt$$

Ако надеждността се оценява с интензивност на отказите $\lambda(t)$, то за достатъчно надеждни обекти ($p(t) \approx 1$)

$$\lambda_i(t) = \frac{\partial q_i}{\partial t} \frac{1}{p_i} \approx \frac{\partial q_i}{\partial t} = \frac{\partial q_i}{\partial X_i} \frac{\partial X_i}{\partial t}$$

Тогава общата интензивност на отказите е

$$\lambda(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t) = \sum_{i=1}^n \frac{\partial q_i}{\partial (\sum_{i=1}^n X_i)} \sum_{i=1}^n \frac{\partial X_i}{\partial t}$$

Аргументите Z_1, Z_2, \dots, Z_k и определящите параметри X_i често са случайни променливи, повечето физически процеси и явления в материалите на елементите са от физико-статистически характер, следователно моделът на надеждност трябва да отчита както физическата структура на обектите, така и статистическите закони на процесите.

Моделиране на надеждност

Необходимост от разработване и използване на методи за моделиране на надеждността

Основният източник на достоверна информация за надеждността на техническите обекти са експерименталните изследвания и резултатите от експлоатацията. Обаче сложността, често уникалността и високата цена на съвременните технически обекти в някои случаи практически изключват възможността за използване на традиционни емпирични и полуемпирични методи за проектиране и физически експериментални изследвания.

В някои случаи сложните технически системи не могат да бъдат напълно проучени дори през целия период на експлоатация, докато експерименталното тестване в извънредни ситуации често е просто невъзможно. В същото време случайният характер на явленията и процесите, възникващи в системи и елементи, сложността, нелинейността и нестационарността на характеристиките усложняват техническите изчисления.

Много съвременни технически системи са с висока надеждност, могат да работят надеждно дълго време, а техните пълномащабни лабораторни тестове трябва да отнемат хиляди часове. Използването на методите за ускорени физически тестове не винаги води до желания резултат.

Експерименталните изследвания остават практически единственият източник на достоверна информация и изходни данни за изчисляване на надеждността на техническите обекти и минаването без тях е просто невъзможно.

Моделиране на надеждност

Същност на моделирането на надеждността

Не се изследва самият технически обект, а неговият физически или математически модел под формата на алгоритъм на работа, който отразява всички основни съществени свойства и характеристики на обекта. Основната цел на имитационното моделиране (симулация) е получаване на нова информация за свойствата, характеристиките и поведението на изследвания реален технически обект.

С моделирането, в редица случаи е възможно да се избяга от груби допускания, използвани при изчисляването на надеждността на техническите обекти.

Моделирането дава възможност при минимални разходи да се прогнозира функционирането на техническите обекти или технологични системи много преди тяхното производство (моделирането на технологичните системи се различава в това, че се симулира състоянието на продукта в процеса функциониране на системата).

В зависимост от степента на физическо сходство между оригинала и модела могат да се разграничат:

- Моделиране базирано на **подобие**
- Моделиране по **аналогия**

Моделиране на надеждност

Моделиране на надеждност базирано на подобие

Създава се материална система (физически модел), подобна на оригинала, с помощта на която се изучават процесите, протичащи в оригинала. Системите или явленията се наричат подобни, ако всички количествени характеристики на едната от тях могат да бъдат получени чрез пропорционална трансформация на характеристиките на другата. Това моделиране е подходящо за оценка на надеждността на уникални обекти. За обекти, произведени по известна технология, може да се използва опитът с експлоатацията на подобни обекти, които в този случай играят ролята на модели. Показателите за надеждност на тези модели се преизчисляват за оригинала (обекта, който се изследва), по определена методика. За да се оцени надеждността на обекти, произведени по нова технология, могат да се използват изпитвания на малки модели. За целта по същата технология се произвежда известно количество малки модели и се провежда изпитване. После резултатите от теста се преизчисляват за оригинала. Целесъобразно е изпитването на моделите да се извърши във форсиран режим (ускорени изпитвания) и да се извърши двойно преизчисляване: за нормален режим и след това за оригинала.

Предимства на моделирането, базирано на подобие:

- висока достоверност на резултатите
- възможност да се идентифицират физическите причини за явленията.

Недостатъци:

- ограничени възможности, поради трудности при изготвянето на модели и провеждането на експерименти
- високата цена
- недостатъчната точност на методите и средствата за измерване.

Моделиране на надеждност

Математическо моделиране на надеждност по аналогия

Под аналогия се разбира частично сходство (сходство в някои отношения) между предмети и явления, които иначе са различни. Моделирането по аналогия с използването на математически модели (**математическо моделиране**) се използва широко за изследване на процесите на функциониране на системите чрез компютърно симулиране изменението на състоянието на елементите и системите.

Математическото моделиране е процес на създаване на имитиращ математически модел и неговото използване с цел получаване на информация за реален обект. Математическото моделиране е алтернатива на физическото моделиране, но има редица значителни предимства: по-кратки срокове за подготовка, значително по-нисък разход на материали (особено при изследване на обекти с големи размери), възможност за извършване на експерименти в критични и свръхкритични режими, които биха довели до унищожаване на образци и др. Моделирането на повечето технически обекти може да се извърши на **микро-, макро- и мета-нива**, различаващи се в степента на детайлност на разглеждането на процесите в обекта.

Структурното сходство на модела и обекта прави възможно в редица случаи **съвместното** им използване: например при моделирането на сложна система се прилагат закономерности и се използват параметри, характеризиращи функционирането на нейните елементи или структурни групи, получени при експериментални изследвания.

Моделиране на надеждност

Математическо моделиране на надеждност

В общия случай всеки модел съдържа случайни променливи (външни влияния, характеристики на елементи и други параметри) и следователно всъщност е **вероятностен модел**.

Детерминиран модел, при който всички параметри могат да приемат само определени стойности, може да се счита за особен случай на вероятностен модел.

Въпреки че математическите модели на надеждност са идеализация на законите на функциониране на техническите обекти, те позволяват във вероятностна форма да се предскаже поведението на обектите в реални условия на работа и да се оценя много количествени характеристики на надеждността.

Сложните модели на надеждност може да изискват много голям обем на извадката, за да се оценят нейните параметри при експериментални изследвания, в резултат на което използването на такъв модел става технически и икономически безсмислено.

Вероятностните методи на теорията на надеждността се използват за идентифициране и описване на физико-химични процеси и явления, които влияят на надеждността и водят до откази, за установяване на кинетичните им закономерности, в зависимост от състоянието на елементите и външните въздействия, за описване на взаимодействията на елементите на системата и др.

Моделиране на надеждност

Вероятностни модели на надеждност

Математическите модели на надеждността на елементите, използвани на практика, обикновено са прости закони на разпределение. Показателите за надеждност в този случай са някои функции на параметрите на математическия модел.

Моделите за надеждност на техническите системи са по-сложни функционални зависимости, които отчитат моделите на отказ на елементите и структурата на системата.

Определянето на показателите за надеждност въз основа на вероятностни модели обикновено включва три етапа.

- През **първия етап** се установява вида на модела (вида на разпределението). Това може да се направи въз основа на известните закони за разпределение, получени за аналогични обекти, като се използва априорна информация за физико-статистическите механизми на процесите или чрез обработка на резултатите от експериментални изследвания на обекта.
- През **втория етап** се изчисляват параметрите на разпределението и по този начин се установява конкретния вид на вероятностния модел за даден технически обект.
- През **третия етап**, въз основа на получения вероятностен модел (закон за разпределение) се определят необходимите показатели на надеждност.

Като вероятностни модели на елементите на надеждност се използват **дискретни и непрекъснати разпределения**.

Модели на надеждност

Разработка на модели и методи за анализ надеждността на системи

Модели за анализ на надеждност са:

1. **Динамични** – протичащите събития, откази се разглеждат като процеси , развиващи се във времето
 - моделиране с марковски, полу-марковски процеси
 - методи от теорията за възстановяване, полу-марковси и регенериращи процеси
 - статистическо-имитационно моделиране (Монте-Карло)
1. **Статични** – състоянията на системата се определят от набор от работоспособни и неработоспособни елементи в момент от време t
 - метод, използващ основни формули от теорията на вероятността и комбинаториката (основно за пар-посл и посл-пар структурни надеждностни схеми)
 - методи, основани на запис на логически условия за интересующите ни функции чрез състоянията на елементите на системата с използване на лоико-вероятностни методи, дърво на откази, блок-схеми на надеждност и др.

Модели на надеждност

Подготовка на изходни данни за системни модели на надеждността

- прогнозиране на безотказност, включващо пресмятане надеждността на елементната база на основа физиката на отказите в елементите и статистически изпитвания
- прогнозиране на ремонтпригодност, т.е. определяне на средните времена за възстановяване за стандартни операции по обслужване и ремонт
- анализ на видовете, последствията и критичността на отказите, при което се разкриват възможните видове откази на системата в цяло

Управление на надеждността на основата на изпитване и експлоатация

- разработка методи и организация за определителни и контролни изпитвания на надеждност
- провеждане на изпитване с цел отработване
- организация на ускорени изпитвания на надеждност
- статистически анализ на функцията на разпределение на TTF (времето на работа до поява на отказ) и на времето на възстановяване
- статистическа оценка на показателите на надеждност по резултатите от изпитването и експлоатацията и последваща корекция на проектните решения
- обосноваване и корекция на сроковете и обемите на техническите обслужвания, ремонтния персонал и

Модели на надеждност

Автоматизация на анализа на надеждността

Софтуерите за анализ на надеждността трябва да включват цялата съвкупност от методи както статични, така и динамични модели за поддържане на прогнозирането на :

- безотказност
- ремонтпригодност
- анализ на видовете и последствията от отказите

Лидери в създаването на такива софтуери са:

- Isograph (САЩ)
- ITEM iQRAS (САЩ)
- RAM Commander (Израел)
- Windchill Quality Solutions (Relex) (САЩ)

Интегрираните програмни средства включват различни методи за анализ, реализиращи разнообразни форми на задаване на моделите (граф, дърво на откази, дърво на събития, блок-схеми на надеждност), съдържащи обширни бази изходни данни, имат развит графичен интерфейс за потребителя, документиране, имат както локална, така и мрежова конфигурация, съгласувано по вход и изход с базата данни, текстовите редактори, електронни таблици, логистично програмно осигуряване, система за автоматизация на проектирането.

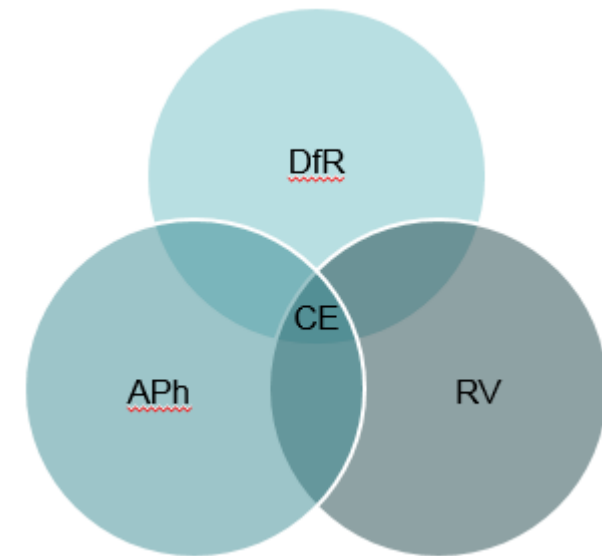
ДЕЙНОСТИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА НАДЕЖДНОСТТА

Програма за Конкурентно инженерство

Дейности:

- проектиране за надеждност (**Design for Reliability - DfR**)
- верификация на надеждността (**Reliability Verification - RV**)
- физичен анализ (**Analytical Physics – APh**)

СЕ - Съвместната разработка на изделието от няколко експерти (дизайнери, мениджъри и др.) от различни специалности

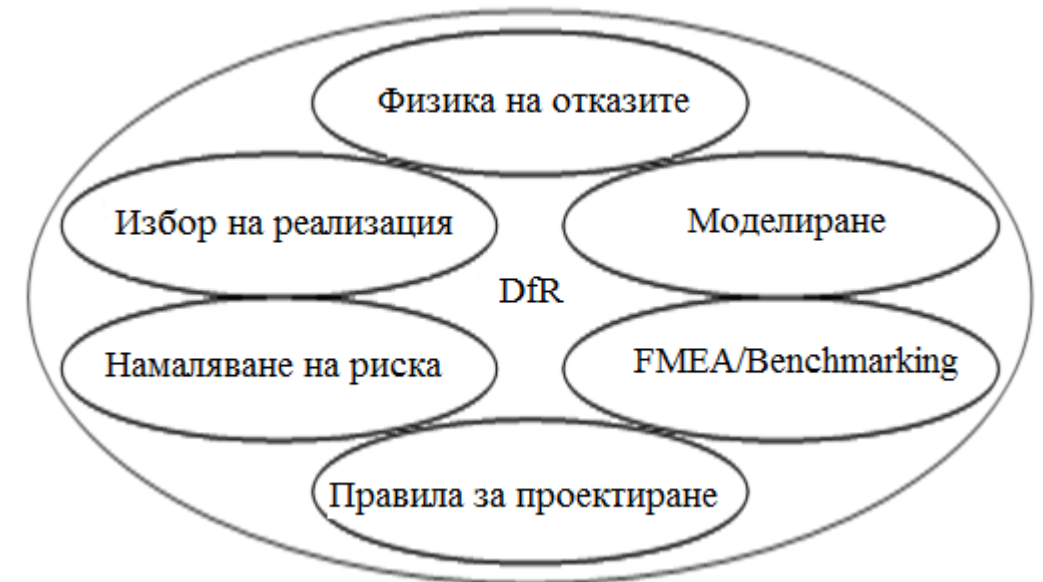


ДЕЙНОСТИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА НАДЕЖДНОСТТА

Проектиране за надеждност (DfR)

Дейности:

- Поддържаща
- Изпълнява се през целия жизнен цикъл
- Най-ефективни техники
- ✓ FMEA
- ✓ Benchmarking
- ✓ Прогнозиране
- ✓ Познаване на физичните свойства на:
 - материалите
 - процесите
 - използваните технологии
 - резултатите при случайни въздействия от околната среда през времето на живот



ДЕЙНОСТИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА НАДЕЖДНОСТТА

Верификация

Дейности:

- провеждане на контролни тестове
- Включва
 - ✓ надеждност на процеса
 - ✓ тестване за „зрялост” на разработката (Design Maturity Test - DMT)
- За да е ефективна - симулиране възможните случайни въздействия, влияещи върху продукта и процесите за кратък период от време
 - ✓ камери за термоцикли
 - ✓ за ускорени изпитвания
 - ✓ камери с регулиране на влагата
 - ✓ вибрационни системи и др.
- Методи за събиране на данни

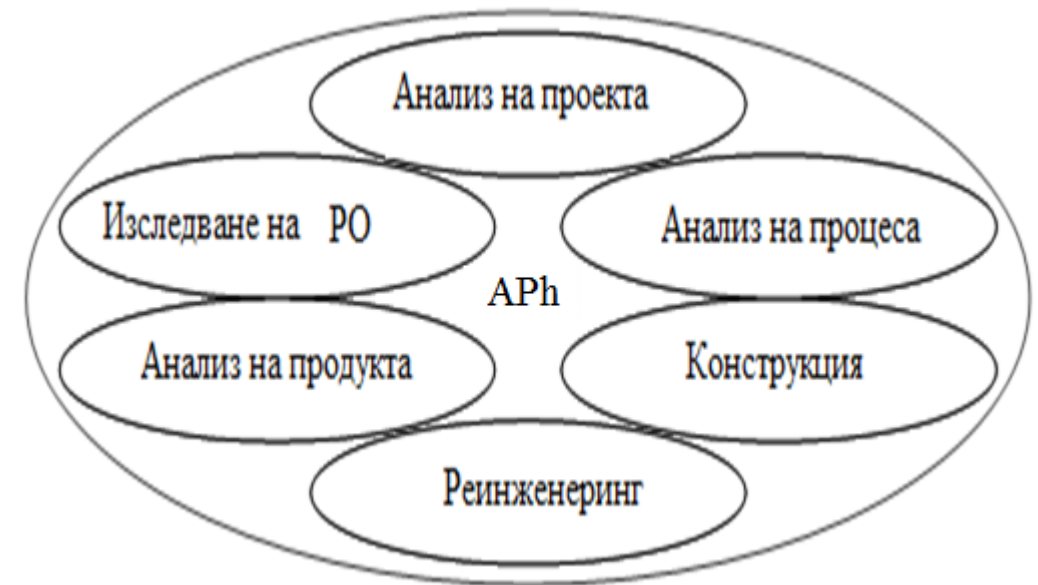


ДЕЙНОСТИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА НАДЕЖДНОСТТА

Събиране на знания за физиката на отказите

Дейности

- подходящо оборудване за извършване на
- ✓ анализ на изделията
- ✓ анализ на процесите
- ✓ анализ на конструкцията
- ✓ за изследване причините за дефекти
- ✓ реинженерингова дейност
- Съвременни информационни технологии да се натрупва и ползва „online” историческа информация
- ✓ база данни
- ✓ интранет и браузери позволяват



ДЕЙНОСТИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА НАДЕЖДНОСТТА

Събиране на знания за физиката на отказите

Дейности

- подходящо оборудване за извършване на
- ✓ анализ на изделията
- ✓ анализ на процесите
- ✓ анализ на конструкцията
- ✓ за изследване причините за дефекти
- ✓ реинженерингова дейност
- Съвременни информационни технологии да се натрупва и ползва „online” историческа информация
- ✓ база данни
- ✓ интранет и браузери позволяват



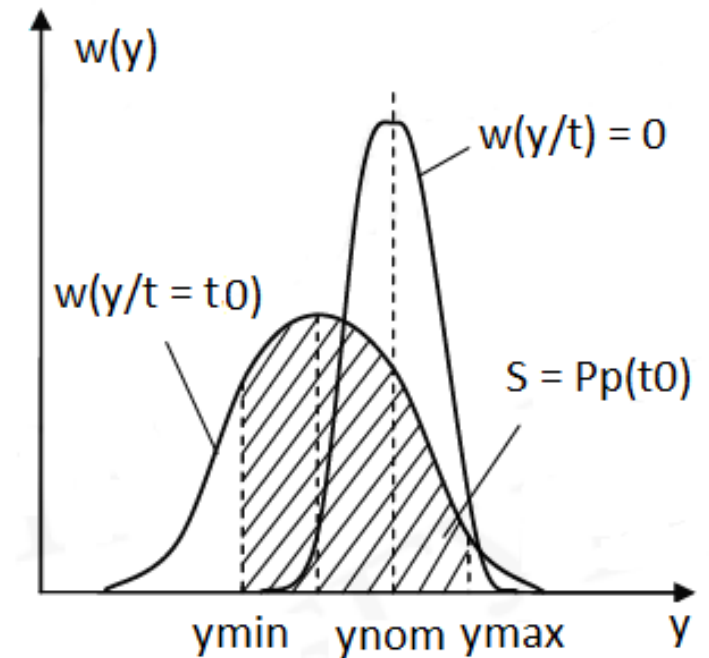
ДЕЙНОСТИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА НАДЕЖНОСТТА

Параметрична надеждност

Под параметрична надеждност на хардуера се разбира свойството на изделието да няма постепенни откази при работа в зададени условия на експлоатация за време t . Понятието за параметрична надеждност е пряко свързано с понятието за постепенни откази.

Причини за поява на постепенни откази:

- Вариациите на производствените процеси водят до разсейване стойностите на параметрите на хардуера
- Изменения на параметрите от номиналната стойност под въздействие на дестабилиращите фактори (температура, влага и т.н.)
- Изменение на параметрите извън номиналните стойности, поради процеси на стареене на елементите



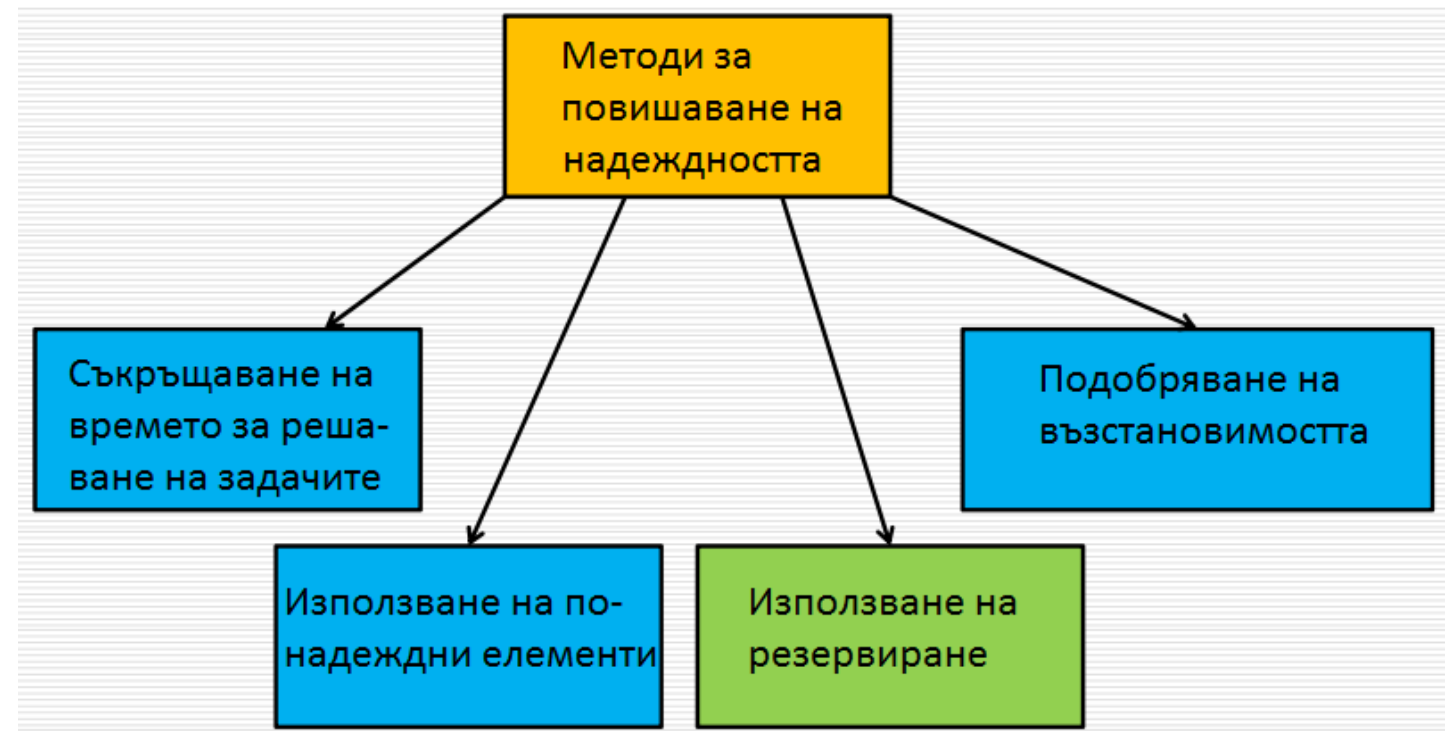
Влияние на процеса на експлоатация на разпределението на изходен параметър на хардуера

Методи за повишаване на надеждността

Подходи и методи за повишаване на надеждността

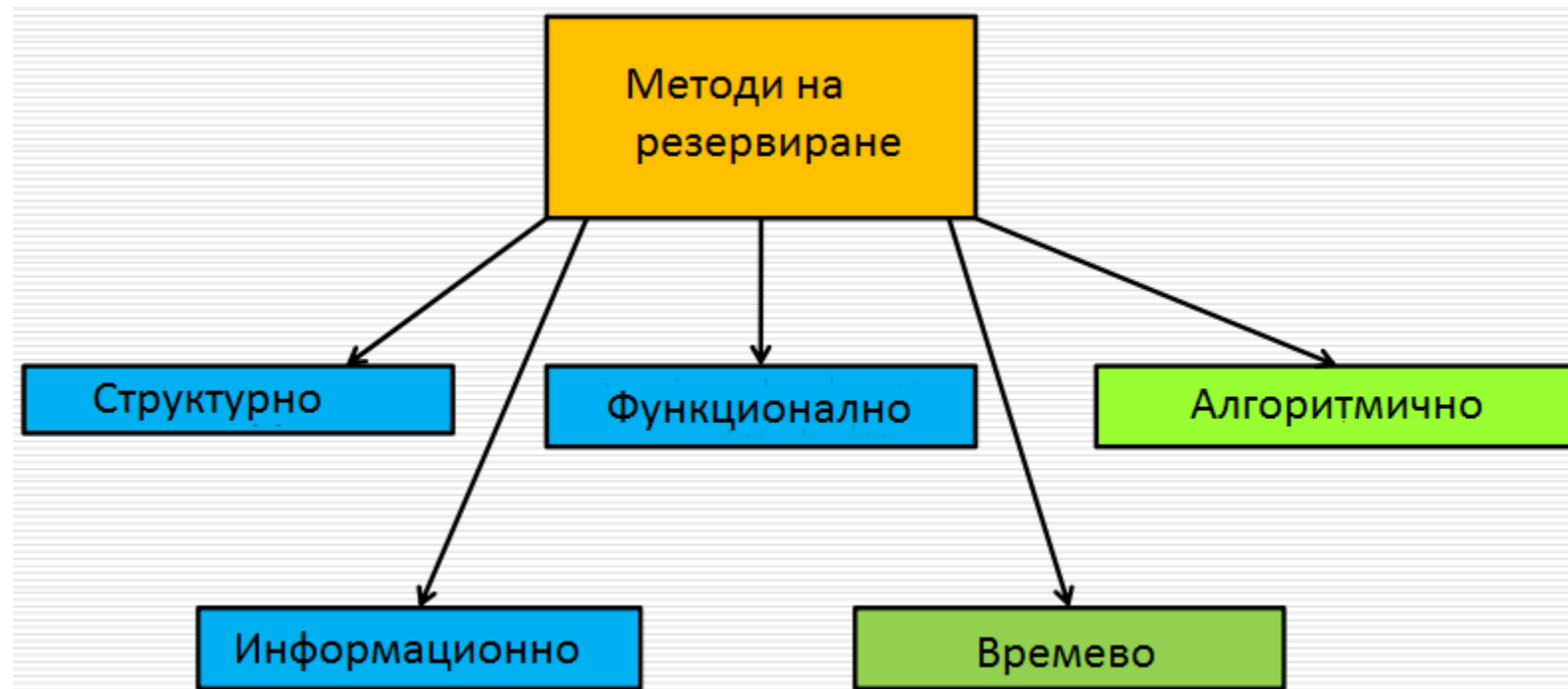
Подходи за осигуряване на надеждността

1. Повишаване надеждността на елементната база
2. Въвеждане на резервиране - структурно, временно, информационно, функционално, товарно
3. Оптимизация режимите на работа (натоварване) на основните елементи.
4. Защита от претоварване, от въздействие на външни фактори



Резервиране за повишаване на надеждността

Класификация на методи за резервиране на хардуер, софтуер и комуникации



Методи на резервиране, класификация

Резервиране на хардуера

- ❑ Функционално резервирае - придаване на елемента или обекта способност да изпълнява допълнителни, излишни функции и се достига функционална универсализация.
- ❑ Натоварващо резервиране – осъществява се създаване на запас по товр или въвеждане на защитни или разтоварващи елементи, напр. Предпазни устройства.
- ❑ Структурно резервиране – въвеждане на допълнителни елементи, функционално дублиращи основни елементи в случай на техния отказ. Съществуват няколко начина на такова резервиране, които се класифицират по различни признаци.

Методи на резервиране, класификация

Структурно резервиране			
№ п/п	Признак	Способ резервирования	Съдържание на метода
1	Схема на включване на резерва	Общо резервиране	Резервиране на целия обект в цяло
2		Разделно резервиране	Резервират се отделни елементи или групи
3	Еднородност на резервирането	Еднородно резервиране	Използва се един начин на резервиране
4		Смесено резервиране	Съчетават се различни видове резервиране
5	Начин на включване на резерва	Постоянно резервиране	При отказе не се изисква пренастройване структурата на системата
6		Динамическое резервирование	При отказ протича пренастройване на структурата на системата
7		Резервиране със заместване	Функцията на основния елемент се предава на резервния елемент, само след отказа на основния елемент
8		Пълзящо резервиране	Няколко основни елементи се резервират с един или няколко резервни, всеки от които може да замени основния
9		Фиксирано резервиране	Всеки от резервните елементи е закрепен към един от основните
10	Възстановяване на отказалите елементи	Резервиране с възстановяване	Отказващия елемент се възстановява без прекратяване на функционирането на цялата система
11		Резервиране без възстановяване	Отказващия елемент не се възстановява
12	Състояние на резерва	Натоварено («горещо») резервиране	Резервния елемент се намира в режима на основния елемент
13		Олекотено («топъл») резервиране	Натоварването на резервния елемент и по-малко от натоварването на основния елемент
14		Ненатоварено («студено») резервиране	Резервния елемент се намира в ненатоварено състояние

Методи на резервиране, класификация

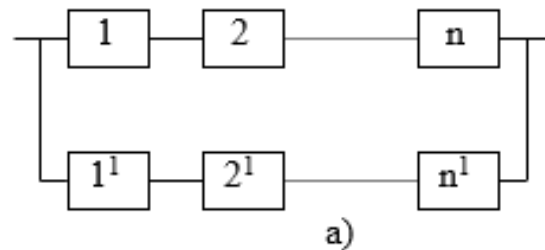
Структурно резервиране

- ❑ Характеризира се с кратност - отношение на резервните елементи към броя на основните елементи. Резервиране с кратност 1:1 се нарича дублиране.
- ❑ При всеки метод на структурното резервиране последователните схеми на свързване на елементите на надеждност се заменят с паралелни.
- ❑ Усилията за повишаване на надеждността се оценяват чрез коефициента на повишаване на надеждността, равен на съотношението на стойностите на показателите на надеждност преди и след предприетите мерки: $G_p = P_1 / P$.
- ❑ Ефектът от резервирането на който и да е елемент от системата може да се предскаже чрез стойността на производната по този елемент на вероятността за безработна работа.

Методи на резервиране, класификация

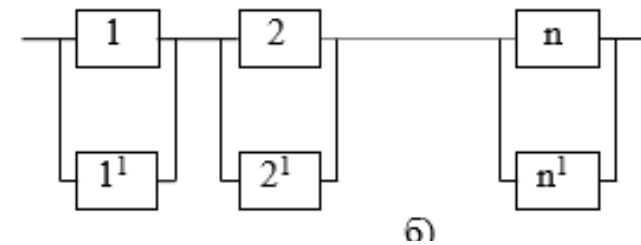
Методи на резервиране на последователно свързани елементи

Общо
резервиране



$$G_p = P_p / P = (\text{при } P = p^n \text{ и } P_p = 1 - (1 - \prod_{i=1}^n p_i)^2) \\ = p(2-p)) = p(2-p)/p = 2-p$$

Разделно
резервиране



$$G_p = P_p / P = (\text{при } P = p^n \text{ и } P_p = \prod_{i=1}^n [1 - (1 - p_i)^2]) \\ = P \prod_{i=1}^n (2 - p_i) = \prod_{i=1}^n (2 - p_i) = (2-p)^n.$$

Разделното резервиране е по-ефективно!