# Практична роботи №5
# ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ БЕЗВІДМОВНОЇ РОБОТИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

**МЕТА РОБОТИ** - визначити ймовірність безвідмовної роботи технологічної системи.

## 1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

### 1.5 Завдання для самостійної підготовки (Додаток А)

*Вивчити:*

– загальну схему розрахунку машини на надійність;

– принципи підвищення надійності, види резервування.

*Ознайомитись:*

– з граничними станами деталей, з'єднань складальних одиниць та механізмів обладнання.

*Скласти звіт по роботі:*

– номер, найменування та мета роботи;

– загальна схема розрахунку машини на надійність;

– граничні стани деталей, з'єднань складальних одиниць та механізмів обладнання;

– принципи підвищення надійності, види резервування.

### 1.10Питання для самопідготовки

1.10.1 Загальна схема розрахунку машини на надійність.

1.10.2 Критерії граничного стану деталей з'єднань складальних одиниць та механізмів обладнання.

1.10.3 Загальні принципи підвищення надійності, види резервування.

### 1.2 Рекомендована література

1. Надійність техніки. Системи технологічні. Терміни та визначення: ДСТУ 2470-94. - К.: Держстандарт України, 1995. – 28 с.

2. Канарчук В.С. Надійність машин: Підручник. / В.С. Канарчук, С.К. Полянський, М.М. Дмітрієв – Либідь, 2003 – 424 с.

3.Зенкін М.А. Методи підвищення надійності та довговічності деталей та вузлів машин легкої промисловості: Підручник. / М.А. Зенкін, Б.Ф. Піпа – К.: КНУДТД, 2004 -264с.

## 2 ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

**Схема розрахунку машини на надійність**

Ймовірність безвідмовної роботи об'єкта (машини) $P_0(t)$ при сумісній дії поступових (зносових) і раптових відмов розраховується за формулою множення ймовірностей:

$$P_0(t) = P_з(t) \cdot P_р(t) \qquad (1)$$

де $P_з(t)$ – безвідмовність при зносових відмовах;

$P_р(t)$ – безвідмовність при раптових відмовах.

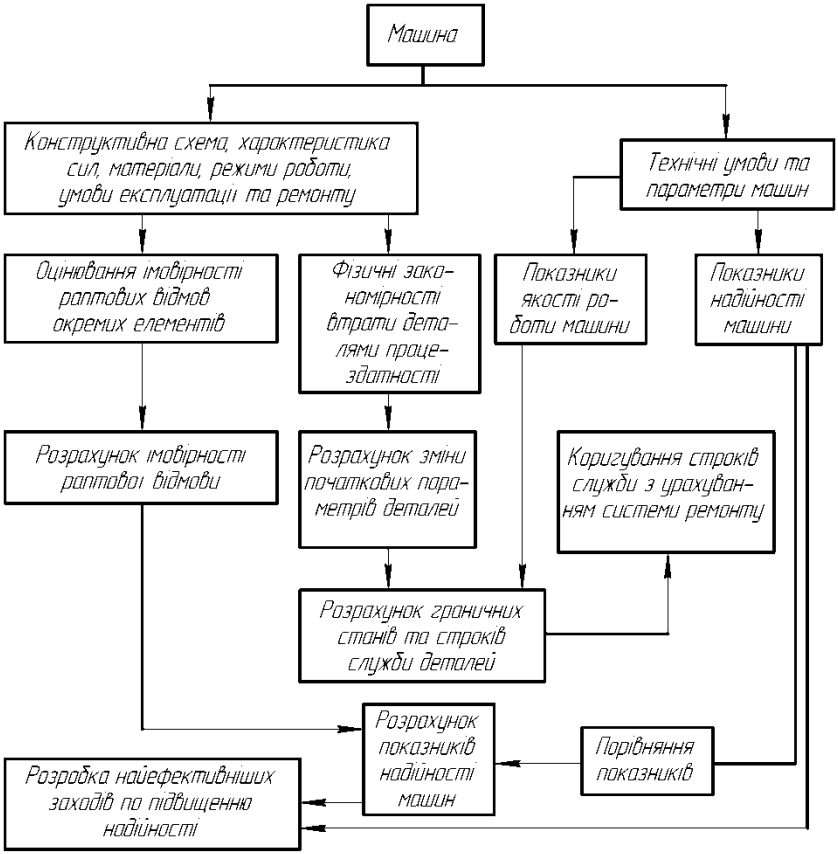


Рис. 1. Загальна схема розрахунку машини на надійність

Наприклад, якщо розглянути пастеризатори з позиції кількості ущільнень, які найчастіше призводять до раптових відмов, і з врахуванням поступових (зносових) відмов рухомих з'єднань, то за формулою (1) у найгіршому становищі серед інших вузлів пастеризатора перебувають насоси, які мають велику кількість гумових ущільнень. Якщо відомі параметри законів розподілу ($\overline{T}$, $\sigma$, $\lambda$) можна розрахувати ймовірність безвідмовної роботи об'єкта або його елементів.

У випадку, коли зносові відмови підпорядковуються нормальному закону розподілу, а раптові – експоненціальному, формула (1) матиме такий вигляд:

$$P_0(t) = \frac{e^{-\lambda t}}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} exx\left(-\frac{(-T)^2}{2\sigma^2} dt\right) dt \qquad (2)$$

У початковий період роботи об'єкта основний вплив на $P_0(t)$ чинять раптові відмови, а потім зростає вплив зносових відмов (рис. 2).

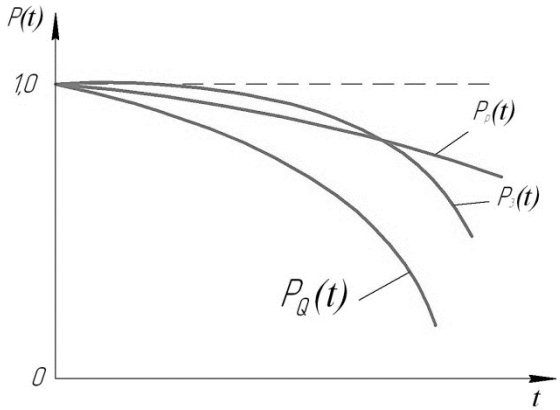


Рис. 2. Ймовірність безвідмовної роботи при сумісній дії зносових та раптових відмов

Технологічні системи – це складні об'єкти, які складаються з окремих, взаємопов'язаних елементів. Відмова будь-якого елемента впливає на працездатність об'єкта, оскільки це залежить від працездатності елементів та від способу їх з'єднання у систему.

**Граничні стани (зноси) деталей, з'єднань складальних одиниць та механізмів обладнання**

Обґрунтування і розрахунок граничного стану дозволяють повніше використати кожну деталь, з'єднання, складальну одиницю і механізми при мінімальних витратах коштів.

При знижених граничних станах ресурс технологічного обладнання не використовується повністю, а при завищених можуть виникнути аварійні відмови, зрости витрати на його експлуатацію та ремонт.

Зміна стану з'єднань характеризується переважно зносом деталей, а тому граничний стан з'єднань встановлюється за критеріями (ознаками) граничного зносу.

Виділяють три критерії граничного стану деталей і з'єднань: **технічний** (безвідмовність, робота без поломок), **технологічний** (якість роботи) та **економічний**.

Критерії граничного зносу встановлюються залежно від впливу зносу деталі на роботу машини. При цьому розглядаються три випадки (рис.3).

У першому випадку (рис. 3 а) в результаті зносу машина не може більше функціонувати, тобто стає **непрацездатною**. Наприклад, відбувається злам шнеку, поломка ножового валу.

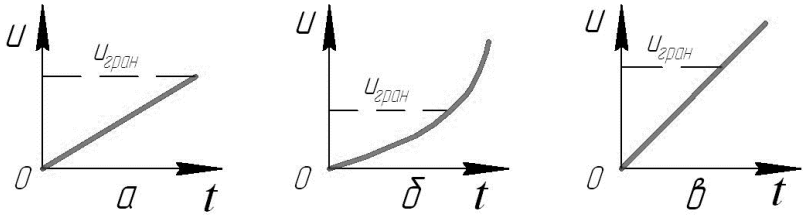


Рис. 3. Критерії граничного зносу

У другому випадку (рис. 3 б) знос приводить до потрапляння в зону інтенсивного виходу з ладу машини та її деталей. При цьому виникають удари, відбувається форсоване зношування поверхонь, зростають вібрації машини, підвищується температура вузлів.

На кривій зносу (залежно від напрацювання) – це період аварійного зношування.

У третьому випадку (рис. 3 в) через знос характеристики машини виходять за допустимі або запропоновані межі (знижуються точність роботи, продуктивність та коефіцієнт корисної дії, коефіцієнт подачі тощо).

Наприклад, кутер не забезпечує необхідної продуктивності й отримання продукції відповідної якості (ступінь подрібнення фаршу).

При зносі деталей двигуна змінюється потужність, підсилюються стуки. Двигун може продовжувати роботу, але як тільки стан його з'єднань буде відповідати максимально допустимим змінам його характеристики, цей стан стане граничним.

Граничні зноси основних деталей часто встановлюють на підставі практичних даних експлуатації та ремонту машин окремих марок.

Для визначення напрацювання (ресурсу) $t$ деталі необхідно мати її знос залежно від напрацювання (рис. 4) і значення граничного зносу $u_{гран}$, оскільки:

$$T = \frac{u_{гран}}{\zeta}, \qquad (3)$$

де $\zeta$ – випадкова функція, яка характеризує швидкість зношування з'єднання.

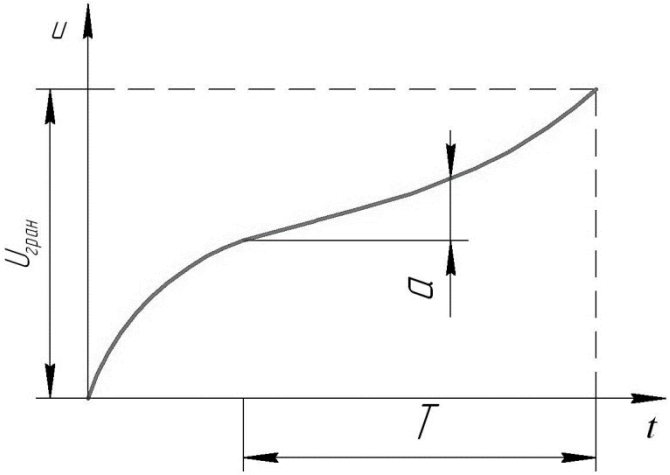


Рис. 4. Залежність зносу від напрацювання

З іншого боку, $\zeta = du/dt = f(P, V, K_m, K_e)$, тобто функція, яка залежить від навантаження, швидкості ковзання і технологічних та експлуатаційних факторів.

Допустимі зноси $u_{доп}$ (рис. 5) менші за граничні $u_{гран}$, оскільки деталь не повинна вийти з ладу протягом наступного міжремонтного напрацювання $T_1$. За період міжремонтного напрацювання знос деталі збільшується на $\zeta T_1$.

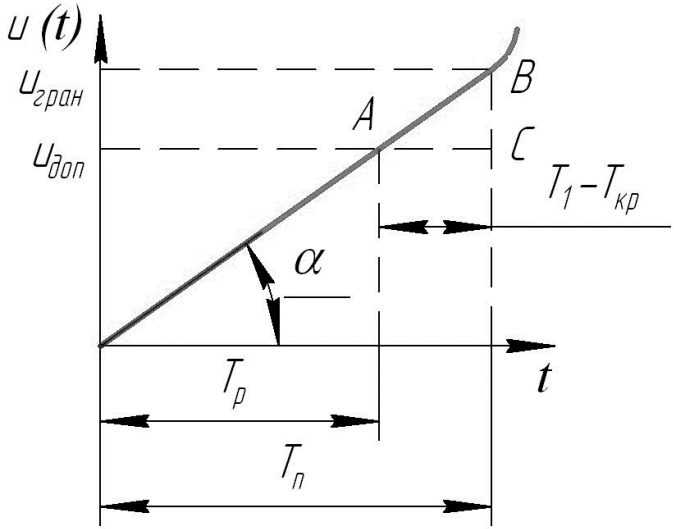


Рис. 5. Розрахунок допустимого і граничного зносів деталі

Звідки:

$$u_{доп} + \zeta t_1 = u_{гран} \text{ або } u_{доп} = u_{гран} - \zeta T_1. \quad (4)$$

Враховуючи, що $\mathrm{tg}\alpha = \zeta = u_{доп}/t_p$, де $t_p$ – напрацювання до ремонту, який виконується, отримують:

$$u_{доп}\left(1 + \frac{t_1}{t_p}\right) = u_{гран}; \quad (5)$$

$$u_{доп} = \frac{u_{гран}}{1 + \frac{t_1}{t_p}}. \quad (6)$$

Якщо від останнього ремонту даний періодичний ремонт, при якому проводиться дефектування деталей, становить $K$, то $t_p = Kt_1$.

Тоді формула для оцінки допустимого зносу матиме вигляд:

$$U_{доп} = \frac{U_{гран}}{1 + \frac{t_1}{Kt_1}}; \qquad U_{доп} = \frac{K}{K+1} U_{гран}. \qquad (7)$$

**Загальні принципи підвищення надійності. Види резервування**

Технічні системи складаються з ряду елементів, поєднаних між собою. Елементами вважаються незалежні складові частини, на які можна розбити систему.

Поняття "елементи" і "системи" є відносними. Наприклад, відцентровий насос може розглядатися як система, що складається з механічної і електричної частини, кожна з яких може у свою чергу розбиватися на елементи (деталі). У той же час у насосній станції насос є елементом, а в системі водопостачання елементом може вважатися насосна станція. Система може складатися з однакових або різних елементів.

Експериментально, шляхом випробувань визначаються показники надійності елементів, а показники надійності систем обчислюються залежно від виду з'єднання елементів (структури, конфігурації) у системі. Бувають два види з'єднань: послідовне і паралельне.

Послідовне з'єднання n елементів у систему характеризується тим, що вихід з ладу одного будь-якого елемента приводить до виходу з ладу всієї системи (рис. 6).

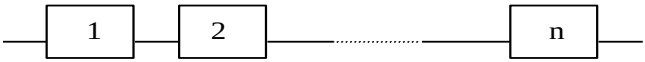


Рис. 6. Послідовне з'єднання елементів у системі

При паралельному з'єднанні n елементів до відмови системи приведе відмова всіх елементів (рис. 7).

Систему з паралельним з'єднанням називають також системою зі структурним резервуванням елементів (резервованою). Можливі також системи з комбінуванням обох видів з'єднань.

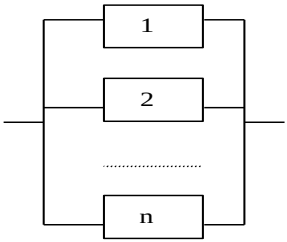


Рис. 7. Паралельне з'єднання елементів у систему

У багатьох випадках до технічних систем і пристроїв пред'являються дуже суворі вимоги по безвідмовності.

Одні пристрої не можна зупиняти через небезпеку, що загрожує людям, що працюють на цих пристроях або за допомогою цих пристроїв. Наприклад, системи повітропостачання і водовідливу в шахтах. Зупинка систем повітропостачання або водовідливу загрожує великими жертвами і тому неприпустима.

Інші пристрої недоцільно, зупиняти або допускати мимовільної зупинки через велику ймовірність економічного збитку. До них можна віднести деякі системи електропостачання, авіатехніку (літаки, вертольоти).

Треті пристрої повинні бути безвідмовними протягом заданого періоду часу з міркувань (військових) оборонних. До них відноситься більшість видів військової техніки.

Все вищевикладене змушує шукати шляхи підвищення надійності і довговічності пристроїв до заданого рівня.

Одним з таких шляхів є резервування елементів, частин систем та систем в цілому. Сутність резервування полягає в тому, що до елементу (блоку, системі) приєднуються один або кілька запасних (резервних) елементів (блоків, систем), які в міру виникнення відмов підключаються на місце основного та виконують його функцію.

Резервування є одним з основних методів підвищення надійності технічних пристроїв, який дозволяє, принаймні теоретично, підвищувати надійність виробу до як завгодно великого рівня.

Сукупність основного і резервних елементів називається ***резервною групою***.

***Підвищення надійності систем може бути досягнуто двома шляхами***:

1. Підвищення надійності і якості елементів, з яких складається система. Тут мається на увазі використання більше якісних труб, матеріалів, устаткування, підвищення якості будівельно–монтажних робіт, кваліфікації обслуговуючого персоналу. Цей шлях вважається найкращим.

2. Резервування (дублювання) елементів систем. Це дозволяє одержати систему більше надійну, ніж надійність складових її елементів.

***Види резервування***

Сутність резервування полягає у введенні в систему додаткових елементів для забезпечення безвідмовності об'єкта в цілому, при недостатньо надійних елементах. Однак можливе резервування і без введення додаткових елементів. Наприклад, тимчасове резервування з використанням резервів часу, функціональне – з використанням здатності елементів виконувати додаткові функції або перерозподіляти функції. Інформаційне резервування пов'язане з використанням резервів інформації.

***При загальному резервуванні*** підвищення надійності досягається шляхом резервування системи в цілому (рис. 8, а), а ***при роздільному*** – окремих елементів системи (рис. 8, б).

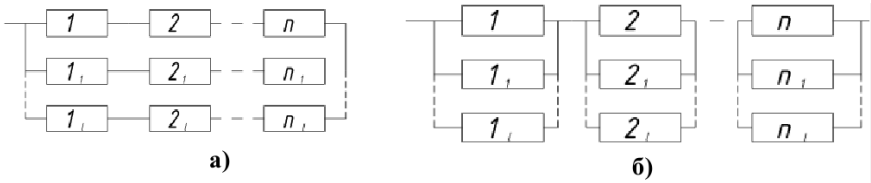


Рис. 8. Загальне (а) і розділене (б) резервування

***Кратністю резервування*** називають відношення числа резервних елементів до числа основних, і позначають m.

Резервування із цілою кратністю означає, що m є цілим числом, а із дробової – величина m є дробовим нескороченим числом. Наприклад m = 4/2 означає резервування із дробовою кратністю, при якому число резервних елементів дорівнює 4, число основних – 2, а загальне число елементів – 6. Якщо скоротити 4/2=2, то це вже

означає резервування із цілою кратністю, при якому число резервних елементів дорівнює 2, а число основних - 1, загальне число елементів –3.

***За способом включення резерву розрізняють***:

- ***постійне резервування***, виконується без перебудови структури у разі виникнення відмови його елемента;

- ***динамічне резервування***, передбачає перебудову структури у разі відмови елемента;

В свою чергу ***динамічне резервування поділяється*** на:

а) ***резервування заміщенням*** – функції передаються резервному елементу тільки після основного елементу;

б) ***ковзаюче резервування*** – кілька основних елементів резервуються одним або кількома резервними, кожен з яких може замінити будь-який основний (тобто групи основних і резервних елементів ідентичні – рис. 9).

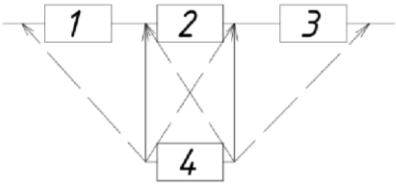


Рис. 9. Ковзаюче резервування

При ковзаючому резервування будь-який резервний елемент може заміщати будь-який основний елемент. Для здійснення цього резервування необхідно мати пристрій, який автоматично знаходить несправний елемент і підключає замість нього резервний. Перевага такого резервування в тому, що при ідеальному автоматичному пристрої найбільший виграш буде в надійності в порівнянні з іншими методами резервування. Проте здійснення ковзного резервування можливе лише при однотипності елементів.

При заміщенні резервні елементи можуть перебувати в трьох станах:

- *навантажений* – резервний елемент перебуває в тім же режимі, що і основний. Навантажене резервування, у якому резервні елементи перебувають у режимі основного елемента. Надійність елементів не залежить від того, в який момент вони включилися на місце основного;

• *полегшений* – резервний елемент перебуває в менш навантаженому стані. *Полегшене резервування* — спосіб резервування елементів, при якій резервні елементи знаходяться в частково навантаженому стані і мають меншу інтенсивність відмов, ніж основні елементи. Полегшене резервування використовується в радіоелектронній апаратурі. Граничними випадками полегшеного резервування є навантажене резервування і ненавантажене резервування.

• *ненавантажений* не несе навантаження до включення.

***Ненавантажене резервування*** — спосіб резервування елементів, при якому резервні елементи знаходяться у вимкненому стані і мають знехтовно малу інтенсивність відмови. У теорії систем з ненавантаженим резервуванням ця інтенсивність вважається рівною 0. Розрізняють невідновлювані і відновлювані системи з ненавантаженим резервуванням (рис. 10).

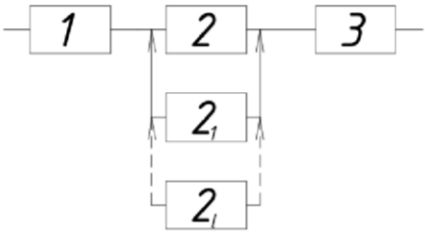


Рис. 10. Ненавантажене резервування

Тимчасове резервування - це спосіб підвищення надійності, при якому системою в процесі функціонування надається можливість витратити якийсь час, званий резервним, для відновлення технічних характеристик. Резерв часу можна витратити на перемикання структурного резерву, виявлення і усунення відмов, повторення робіт, знецінених відмовами, очікування завантаження в працездатному стані. Наприклад тимчасове резервування здійснюється шляхом влаштування, наприклад регулюючих ємностей наприкінці водовода для створення запасу води під час ліквідації аварії.