

СТРУКТУРНА НАДІЙНІСТЬ

Рекомендована література:

1. Васілевський О.М., Поджаренко В.О. Нормування показників надійності технічних засобів. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 129с.
2. ГОСТ 27.001-81 «Система стандартов. Надежность в технике. Основные положения»
3. ГОСТ 27.002-83 «Надежность в технике. Термины и определения»
4. ISO 8402-94 «Управление качеством и обеспечение качества – Словарь»

Структурною надійністю ТЗ називається результуюча надійність при заданій структурі і відомих значеннях надійності всіх блоків і елементів, що входять до складу ТЗ. Розподіл ТЗ на блоки і елементи здійснюється на базі єдності функціонування і фізичних процесів, що відбуваються при його роботі.

При визначенні структурної надійності об'єкта оцінюють вплив працездатності кожного елемента на працездатність об'єкта в цілому. Із цього погляду всі елементи об'єкта ділять на чотири групи:

1. Елементи, відмова яких практично не впливає на працездатність об'єкта (наприклад, деформація кожуха, зміна фарбування поверхні, тощо).
2. Елементи, працездатність яких за розглянутий проміжок часу практично не змінюється й імовірність їхньої безвідмовної роботи близька до одиниці (станини, корпусні деталі, і т.д.).
3. Елементи, ремонт або регулювання яких можливий в процесі роботи або під час планових зупинок (налагодження, заміна ріжучого інструмента і т.д.).
4. Елементи, відмова яких сама по собі або в сполученні з відмовами інших елементів приводить до відмови системи.

При аналізі надійності об'єкта, розглядаються, як правило, елементи останньої групи.

При аналізі надійності об'єкта дотримуються наступного порядку:

1. Проводиться аналіз пристрою й функціональний взаємозв'язок складових частин, виконувані об'єктом і його елементами функції.
2. Формулюється зміст понять "безвідмовна робота" й "відмова".
3. Визначаються всі можливі відмови об'єкта і його складових частин, їх причини й можливих наслідків.
4. Оцінюється вплив відмов складових частин на працездатність об'єкта.
5. Об'єкт розділяється на елементи, у яких показники надійності відомі.
6. Складається структурна схема надійності системи.
7. За структурною схемою надійності складаються розрахункові залежності, по яких визначають величину показників надійності об'єкта.

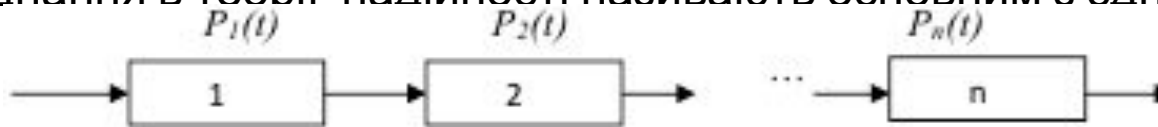
Розрахунок надійності проводиться в припущенні:

- 1 Об'єкт і кожен його елемент можуть перебувати в одному із двох можливих станів - працездатному й непрацездатному.
- 2 Відмови елементів незалежні одна від одної.

Об'єкти з послідовним з'єднанням елементів

Послідовне з'єднання елементів у структурній схемі надійності - це таке з'єднання, при якому відмова хоча б одного елемента приводить до відмови всього об'єкта в цілому.

Такий тип з'єднання в теорії надійності називають основним з'єднанням.



Умовою працездатності послідовної схеми є працездатність всіх елементів її складових.

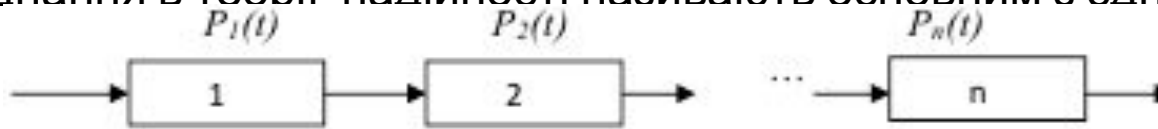
Імовірність безвідмовної роботи об'єкта з послідовним з'єднанням елементів дорівнює добутку ймовірностей безвідмовної роботи окремих її елементів:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad Q_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n P_i(t) = 1 - \prod_{i=1}^n \{1 - Q_i(t)\}$$

Об'єкти з послідовним з'єднанням елементів

Послідовне з'єднання елементів у структурній схемі надійності - це таке з'єднання, при якому відмова хоча б одного елемента приводить до відмови всього об'єкта в цілому.

Такий тип з'єднання в теорії надійності називають основним з'єднанням.



Умовою працездатності послідовної схеми є працездатність всіх елементів її складових.

Імовірність безвідмовної роботи об'єкта з послідовним з'єднанням елементів дорівнює добутку ймовірностей безвідмовної роботи окремих її елементів:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad Q_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n P_i(t) = 1 - \prod_{i=1}^n \{1 - Q_i(t)\}$$

Об'єкти з послідовним з'єднанням елементів

Інтенсивність відмов послідовної схеми з'єднання елементів дорівнює сумі інтенсивностей відмов окремих елементів:

$$\lambda_c(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t).$$

Для періоду нормальної експлуатації напрацювання до відмови послідовної структури:

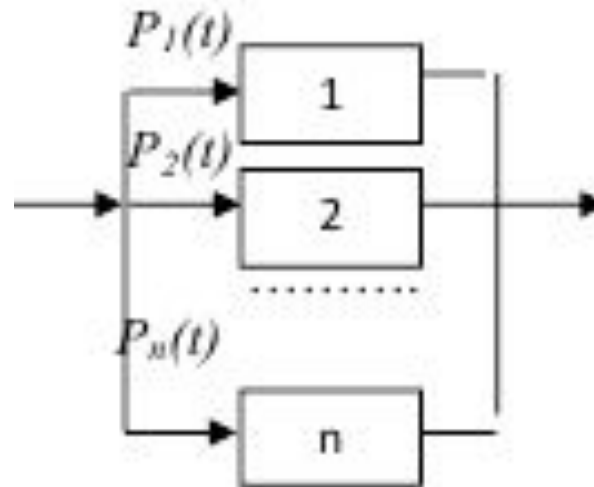
$$T_o = \frac{1}{\lambda_c} = \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i(t) \right)^{-1}.$$

Аналіз отриманих виразів дозволяє зробити наступні висновки:

- імовірність безвідмовної роботи буде тим нижче, чим більше число елементів становлять послідовне з'єднання;
- імовірність безвідмовної роботи послідовного з'єднання завжди нижче, ніж імовірність безвідмовної роботи самого ненадійного елемента з'єднання (гірше гіршого)

Об'єкти з паралельним з'єднанням елементів

Паралельним з'єднанням елементів у структурній схемі надійності називається таке з'єднання, при якому об'єкт відмовляє тільки при відмові всіх елементів його складових.



Умовою працездатності об'єкта з паралельним з'єднанням елементів протягом напрацювання t необхідно й достатньо, щоб хоча б один елемент був у працездатному стані.

Об'єкти з паралельним з'єднанням елементів

Якщо відмови елементів незалежні одна від одної, то ймовірність відмови об'єкта дорівнює добутку ймовірностей відмови його елементів:

$$Q_c(t) = \prod_{i=1}^n Q_i(t) = \prod_{i=1}^n [1 - P_i(t)]$$

а ймовірність безвідмовної роботи

$$P_c(t) = 1 - Q_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i(t)]$$

Для періоду нормальної експлуатації напрацювання до відмови паралельної структури:

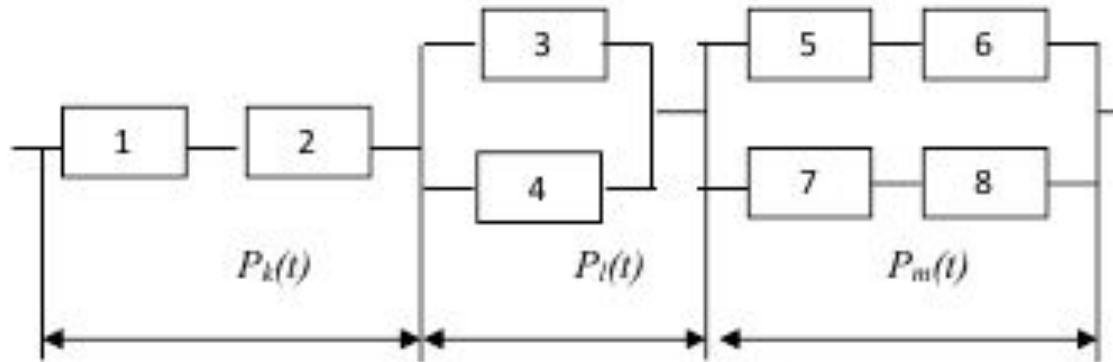
$$T_o = \frac{1}{\lambda_c} \left(1 + \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{n} \right) = \frac{1}{\lambda_c} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i}$$

Аналіз отриманих виразів дозволяє зробити наступні висновки:

- ймовірність безвідмовної роботи об'єкта з паралельним з'єднанням елементів підвищується зі збільшенням числа елементів;
- ймовірність безвідмовної роботи паралельного з'єднання завжди вище, ніж ймовірність безвідмовної роботи самого надійного елемента з'єднання (краще кращого).
- напрацювання об'єкта до відмови з паралельним з'єднанням елементів більше напрацювання на відмову його елементів.

Об'єкти зі змішаним з'єднанням елементів

У структурних схемах надійності об'єкта зі змішаним з'єднанням елементів присутні одночасно послідовні й паралельні схеми надійності



Для розрахунку надійності об'єкта застосовують метод "згортки".

Метод згортки складається з декількох етапів:

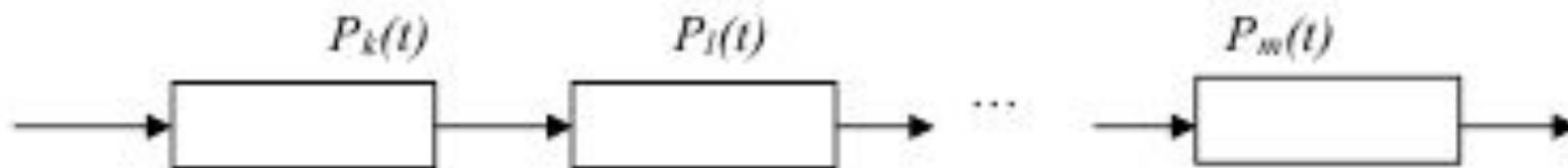
- на першому етапі розглядаються всі паралельні з'єднання, які замінюються еквівалентними елементами з відповідними показниками надійності;
- на другому етапі розглядаються всі послідовні з'єднання, які замінюються еквівалентними елементами;
- на третьому етапі знову розглядаються всі паралельні з'єднання, які замінюються еквівалентними елементами;
- перетворення тривають доти, поки вихідна структурна схема надійності не буде перетворена до схеми послідовного з'єднання елементів.

Об'єкти зі змішаним з'єднанням елементів

$$P_k(t) = P_1(t)P_2(t),$$

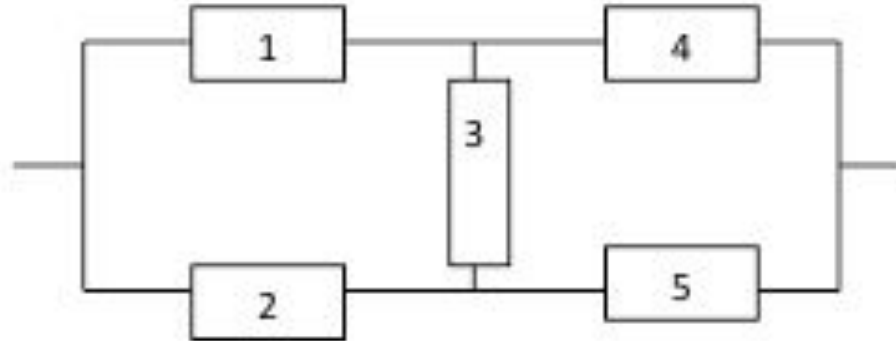
$$P_l(t) = 1 - [1 - P_3(t)][1 - P_4(t)],$$

$$P_m(t) = 1 - [1 - P_5(t)P_6(t)][1 - P_7(t)P_8(t)]$$



$$P_c(t) = P_k(t)P_l(t)P_m(t).$$

Об'єкти з довільним з'єднанням елементів



Показники надійності такої схеми визначають:

- логіко-імовірнісним методом;
- методом мінімальних шляхів і перетинів;
- еквівалентними структурними перетвореннями з'єднань "трикутник" у з'єднання "зірка";
- методом розкладання структури по "ключових елементах".

Логіко-імовірнісний метод

При використанні логіко-імовірнісного методу математична модель об'єкта складається в термінах алгебри логіки. У результаті складається формалізована модель, що визначає умову працездатності або відмови об'єкта - функцію працездатності або непрацездатності. При її складанні для кожного елемента розглядають два неспільних стани - працездатний і непрацездатний.

Для складання функції працездатності (непрацездатності) складають таблицю перебору всіх станів розглянутого об'єкта. Число розглянутих станів об'єкта дорівнює 2^n , де n - число елементів у складі об'єкта. У таблиці застосовують формалізоване позначення працездатного стану елемента числом "1", непрацездатного стану - "0".

№ состояния	Номер елемента					Функція надежности
	1	2	3	...	n	
1	0	0	0	...	0	$Q_1 Q_2 Q_3 \dots Q_n$
2	0	0	0	...	1	$Q_1 Q_2 Q_3 \dots P_n$
3	0	0	0	...	0	$Q_1 Q_2 Q_3 \dots Q_n$
4	0	0	0	...	1	$Q_1 Q_2 Q_3 \dots P_n$
5	0	0	0	...	0	$Q_1 Q_2 Q_3 \dots Q_n$
6	0	0	0	...	1	$Q_1 Q_2 Q_3 \dots P_n$
...	...	...	...	...	...	...

Залежно від розв'язуваного завдання визначення ймовірності безвідмовної роботи або ймовірності відмови із всієї сукупності функцій надійності вибирають тільки ті, які задовольняють умовам поставленого завдання.

Результуюча ймовірність безвідмовної роботи (ймовірність відмови) дорівнює сумі добутків обраних функцій безвідмовної роботи (функцій відмови).

Логіко-ймовірнісний метод є універсальним, може застосовуватися для будь-якого типу з'єднання елементів у структурній схемі надійності. Обмеження для методу - при збільшенні числа елементів різко росте число розглянутих станів об'єкта. Це створює труднощі для аналізу надійності об'єкта.

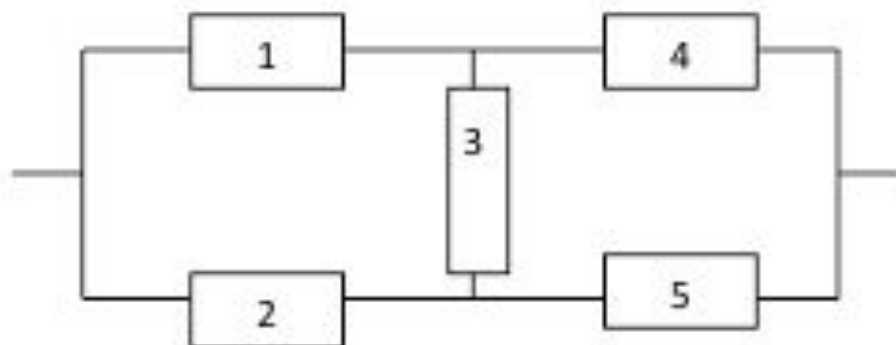
Методи мінімальних шляхів і мінімальних перетинів

Для скорочення обсягу перетворень при складанні логічних функцій на підставі структурної схеми попередньо складається логічна схема об'єкта. Логічні схеми складаються шляхом застосування методів мінімальних шляхів і мінімальних перетинів.

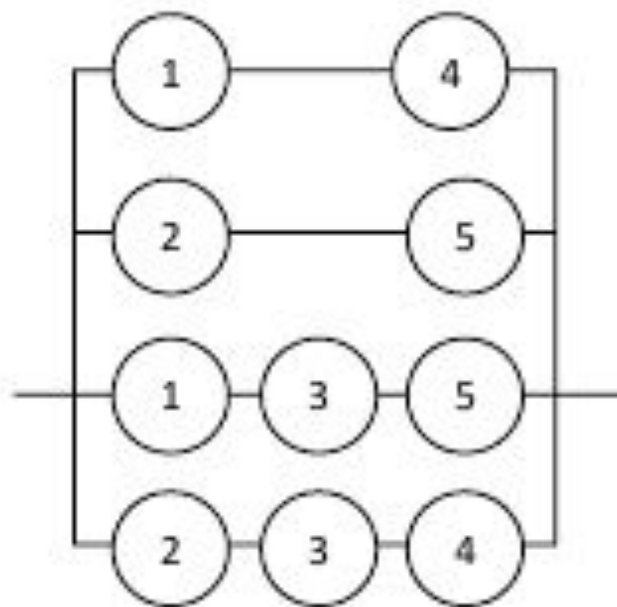
Мінімальним шляхом (найкоротшим шляхом успішного функціонування) називається послідовний набір працездатних елементів, що забезпечує працездатність об'єкта, а відмова кожного з них приводить до його відмови. Мінімальних шляхів в об'єкті може бути один або декілька. Об'єкт із послідовним з'єднанням елементів має тільки один мінімальний шлях, що включає всі його елементи. В об'єкті з паралельним з'єднанням елементів число мінімальних шляхів дорівнює числу елементів і кожен мінімальний шлях містить у собі один з елементів.

Метод мінімальних шляхів дає оцінку нижньої границі надійності об'єкта. Для розрахунку верхньої оцінки ймовірності безвідмовної роботи об'єкта використовують метод мінімальних перетинів (розрізів). Мінімальним перетином називається послідовний набір елементів, відмова яких приводить до відмови об'єкта, а відновлення працездатності кожного з них - до відновлення працездатності об'єкта.

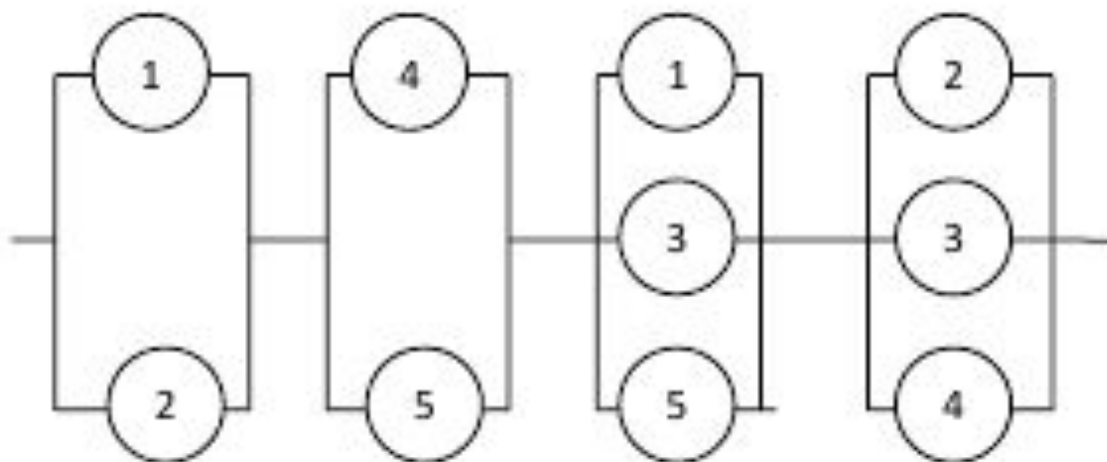
Мінімальних перетинів в об'єкті може бути один або декілька. Об'єкт із паралельним з'єднанням елементів має тільки один мінімальний перетин, що включає всі його елементи. В об'єкті з послідовним з'єднанням елементів число мінімальних перетинів збігається із числом елементів, і кожен мінімальний



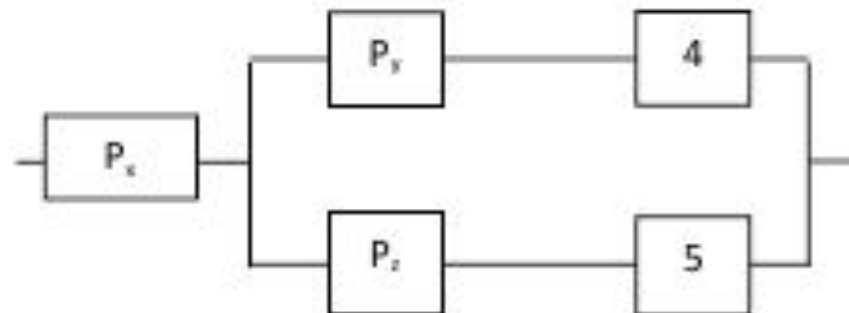
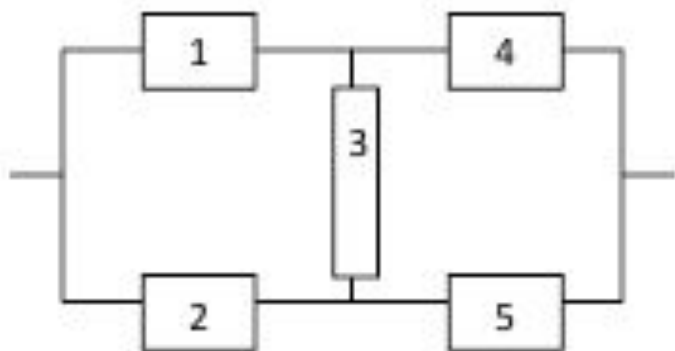
Метод мінімальних шляхів



Метод мінімальних перетинів



Метод перетворення з'єднання "трикутник" у з'єднання "зірка"



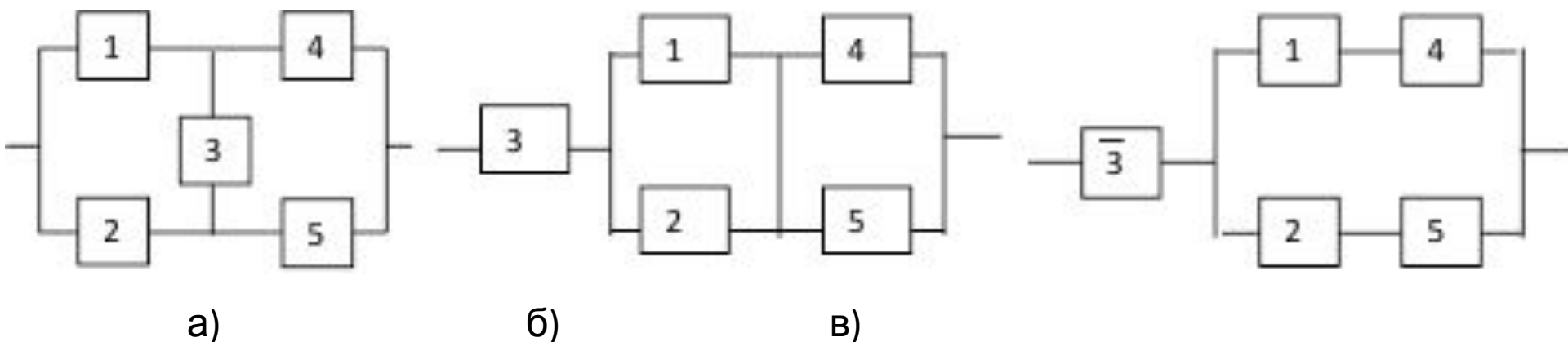
$$\begin{cases} Q_x + Q_y Q_z - Q_x Q_y Q_z = Q_1 Q_2 \\ Q_y + Q_x Q_z - Q_x Q_y Q_z = Q_1 Q_3 \\ Q_z + Q_x Q_y - Q_x Q_y Q_z = Q_2 Q_3 \end{cases}$$

Оскільки ймовірності відмов елементів малі, знехтуємо добутками ймовірностей відмов. У результаті одержимо наближені рівняння переходу від схеми "трикутник" до схеми "зірка":

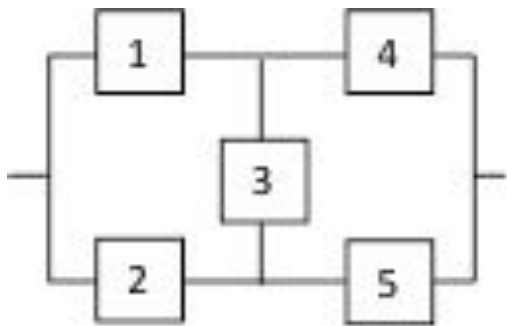
$$\begin{cases} Q_x \approx Q_1 Q_2 \\ Q_y \approx Q_1 Q_3 \\ Q_z \approx Q_2 Q_3 \end{cases} \quad \begin{cases} P_x = 1 - Q_x \\ P_y = 1 - Q_y \\ P_z = 1 - Q_z \end{cases}$$

Метод розкладання структури по "ключових елементах"

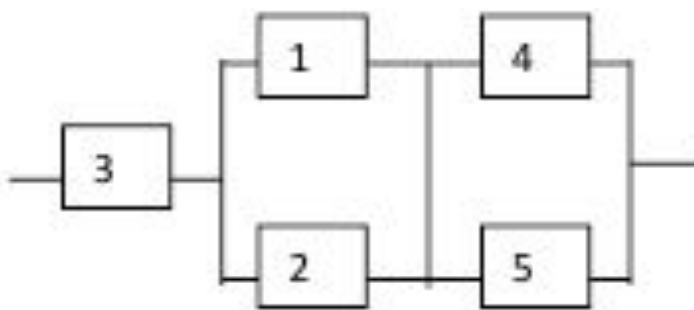
Сутність методу полягає в заміні вихідної структури двома більше простими, такими, що сума ймовірностей працездатних станів цих структур дорівнює ймовірності працездатного стану вихідної структури.



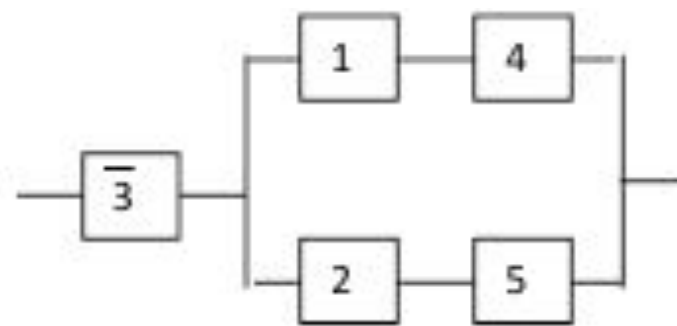
Основи теорії надійності



а)



б)



в)

Структурна надійність

Завдання визначення надійності об'єкта вирішується в три етапи.

1. Як ключовий елемент вибирається елемент, що має найбільше число з'єднань із іншими елементами об'єкта. У нашому випадку це елемент під номером 3.

2. Вважаємо, що елемент 3 є абсолютно надійним. Тоді замість елемента 3 можна поставити жорсткий зв'язок і схема перетвориться до виду б), але до неї необхідно приєднати послідовно елемент 3, тому що необхідно врахувати ймовірність його працездатного стану. Визначаємо ймовірність безвідмовної роботи схеми - $P_б$.

3. Вважаємо, що елемент 3 перебувати в стані відмови. Тоді на схемі його положення варто позначити обривом ланцюга. До отриманої схеми додаємо елемент із ймовірністю відмови ключового елемента. У результаті одержимо схему в). Визначаємо ймовірність безвідмовної роботи схеми - $P_в$.

4. Уизначаємо ймовірність безвідмовної роботи об'єкта

$$P(t) = P_б(t) + P_в(t)$$