

ЛЕКЦІЯ №12

Методи забезпечення надійності технічних систем Оцінка надійності резервованих систем з відновленням.

Резерв навантажений

У випадку резервованих систем з відновленням елементів, які відмовили, надійність систем може бути істотно підвищена в порівнянні з надійністю резервованих систем без відновлення таких елементів.

Надійність резервованих систем з відновленням розглянемо на прикладі аналізу функціонування дубльованої системи (рис.12.1,а). Передбачається, що елемент, який відмовив, може відновлятися.

У залежності від призначення системи, що резервується, можуть пред'являтися різні вимоги, наприклад:

1) система повинна безвідмовно працювати протягом заданого часу (перерви в роботі недопустимі). В цьому випадку для характеристики надійності системи використовують імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ протягом заданого часу $(0, t)$;

2) система повинна бути працездатною в заданий момент часу t (перерви в роботі допустимі). В цьому випадку для характеристики надійності системи використовують функцію готовності $K_r(t)$.

Визначимо показники надійності дубльованої системи з відновленням, з урахуванням зазначених вимог.

Для визначення показників надійності розглянемо резервовану систему (рис. 10,а), в якій обидва елементи однакової надійності, інтенсивності відмов та відновлень однакові відповідно дорівнюють λ та μ , і перемикач абсолютно надійний.

Спочатку розглянемо систему, в якій відмови недопустимі (відновлення обмежене).

Нехай час роботи і відновлень елементів дубльованої системи розподілено по експоненціальному закону. У цьому випадку процес роботи і відновлення системи можна вважати без наслідку і для характеристики надійності системи можна використовувати метод графів (станів).

Розглянемо усі можливі стани, в яких може знаходитися дубльована система в довільний момент часу. Система в будь-який момент часу може знаходитися в одному з таких можливих станів:

0 - обидва елементи справні;

1 - один елемент відмовив і відновляється, інший елемент справний;

2 - обидва елементи відмовили і система стала непрацездатною. Стан 2 є поглинаючим (система в ньому непрацездатна).

Імовірність зазначених станів дубльованої системи в момент часу t позначимо $P_0(t)$, $P_1(t)$ і $P_2(t)$. Ці імовірності пов'язані між собою таким співвідношенням:

$$P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) = 1. \quad (12.1)$$

Оскільки в стані 2 система непрацездатна, то імовірність безвідмовної роботи і імовірність відмови системи визначаються через відповідні імовірності.

Так, імовірність безвідмовної роботи резервованої системи протягом часу t визначається таким співвідношенням:

$$P_d(t) = P_0(t) + P_1(t).$$

Імовірність відмови системи протягом часу t :

$$Q_d(t) = P_2(t).$$

На рис. 12.1,б зображено граф станів дубльованої системи з відновленням (резерв навантажений).

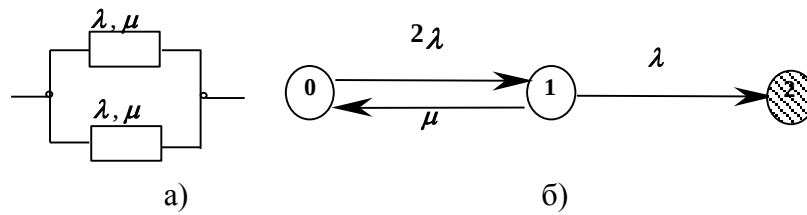


Рис.12.1 Дубльована система з відновленням (резерв навантажений):
а) логічна схема надійності системи ;б) граф станів системи

Поводження дубльованої системи описується системою лінійних диференціальних рівнянь. Система диференціальних рівнянь, складена за схемою графа (рис.12.1,б), має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} P_0'(t) &= -2\lambda P_0(t) + \mu P_1(t); \\ P_1'(t) &= 2\lambda P_0(t) - (\lambda + \mu)P_1(t); \\ P_2'(t) &= \lambda P_1(t). \end{aligned} \right\}. \quad (12.2)$$

Початкові умови:

$$P_0(0) = 1; P_1(0) = P_2(0) = 0. \quad (12.3)$$

Рівняння доповнюються нормувальною умовою:

$$\sum_{j=0}^n P_j(t) = 1. \quad (12.4)$$

Розв'язок системи диференціальних рівнянь (12.2) здійснюється за допомогою перетворень Лапласа з урахуванням початкових умов (12.3). В результаті перетворень одержимо систему алгебраїчних рівнянь, яка має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} (s + 2\lambda)P_0(s) - \mu P_1(s) &= 1; \\ -2\lambda P_0(s) + (s + \lambda + \mu)P_1(s) &= 0; \\ -\lambda P_1(s) + sP_2(s) &= 0, \end{aligned} \right\}, \quad (12.5)$$

де $P_j(s)$ - перетворення по Лапласу функції $P_j(t)$; s - оператор перетворення.

Для визначення $P_j(s)$ розв'язуємо систему алгебраїчних рівнянь за правилом Крамера:

$$P_j(s) = \frac{D_j(s)}{D(s)}, \quad (12.6)$$

де $D(s)$ - визначник, елементами якого є коефіцієнти при $P_0(s)$, $P_1(s)$ і $P_2(s)$; $D_i(s)$ – визначник, утворений з визначника $D(s)$ шляхом заміни i -го стовпчика коефіцієнтами правої частини алгебраїчних рівнянь.

Розв'язок системи (51) відносно функції $P_2(s)$ дає:

$$P_2(s) = \frac{2\lambda^2}{s(s-s_1)(s-s_2)}. \quad (12.7)$$

Для знаходження оригіналу функції $P_2(t)$ по її зображенню $P_2(s)$ скористаємося методом розкладення функції $P_2(s)$ на елементарні дробі. Після розкладення функції та виконання оберненого перетворення Лапласа, визначаємо імовірність попадання системи в поглинаючий (непрацездатний стан) за час $(0, t)$:

$$P_2(t) = Q_d(t) = 1 - \frac{s_1 e^{s_2 t} - s_2 e^{s_1 t}}{s_1 - s_2}, \quad (12.8, a)$$

де

$$s_{1,2} = -\frac{\mu + 3\lambda}{2} \pm \frac{\sqrt{\mu^2 + 6\lambda\mu + \lambda^2}}{2}. \quad (12.8, б)$$

Імовірність безвідмовної роботи дубльованої системи протягом часу t визначається виразом:

$$P_d(t) = 1 - Q_d(t) = -\frac{s_1 e^{s_2 t} - s_2 e^{s_1 t}}{s_1 - s_2}. \quad (12.9)$$

Знаючи імовірність безвідмовної роботи дубльованої системи, можна визначити всі інші показники надійності за формулами, наведеними в лекції 2.

Для визначення середнього наробітку до відмови дубльованої системи необхідно в формулі для імовірності $P_2(s)$:

$$P_2(s) = \int_0^\infty P_d(t) e^{-st} dt \quad (12.10)$$

замість оператора s підставити значення $s = 0$:

$$T_d = P_2(0) = \int_0^\infty P_d(t) dt.$$

Звідки

$$T_d = \frac{\mu + 3\lambda}{2\lambda^2}. \quad (12.11)$$

Розглянемо дубльовану систему, в якій відновлення необмежене.

У такої системи не повинно бути поглинаючого стану. Це означає, що система після повної відмови і закінчення відновлення повинна знову включитись в роботу.

На рис.12.2 зображено граф станів дубльованої системи з відновленням при навантаженому резерві.

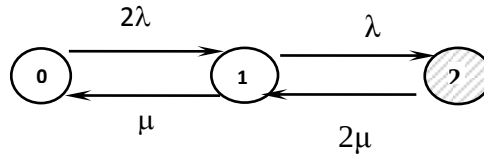


Рис.12.2. Граф станів дубльованої системи з відновленням (резерв навантажений)

Система диференціальних рівнянь, що описує випадковий процес функціонування такої системи і яка зв'язує імовірність $P_j(t)$ знаходження системи в j -ому стані ($j=0,1,2$) в момент часу t та їх похідні, складається аналогічно системі (12.2).

Система диференціальних рівнянь, яка складена відповідно до графа (рис.12.2), має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} P_0'(t) &= -2\lambda P_0(t) + \mu P_1(t); \\ P_1'(t) &= 2\lambda P_0(t) - (\lambda + \mu)P_1(t) + 2\mu P_2(t); \\ P_2'(t) &= \lambda P_1(t) - 2\mu P_2(t). \end{aligned} \right\}. \quad (12.13)$$

Початкові умови:

$$P_0(0) = 1, P_1(0) = P_2(0) = 0. \quad (12.14)$$

Дані рівняння доповнюються нормувальною умовою:

$$\sum_{j=0}^n P_j(0) = 1. \quad (12.15)$$

Для визначення функції готовності $K_T(t)$ і коефіцієнта готовності K_T дублюючої системи з відновленням розв'язують систему диференціальних рівнянь (12.13) за допомогою перетворень Лапласа і з урахуванням початкових умов (12.14).

В результаті перетворень Лапласа одержують систему алгебраїчних рівнянь, що має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} (s + 2\lambda)P_0(s) - \mu P_1(s) &= 1; \\ -2\lambda P_0(s) + (s + \lambda + \mu)P_1(s) - 2\mu P_2(s) &= 0; \\ -\lambda P_1(s) + (s + 2\mu)P_2(s) &= 0. \end{aligned} \right\}. \quad (12.16)$$

Оскільки справному стану дубльованої системи відповідають стани 0 і 1, то відповідно до теореми додавання імовірностей для несумісних подій, функція готовності

$$K_T(t) = P_d(t) = P_0(t) + P_1(t) = 1 - P_2(t). \quad (12.17)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (61) відносно функції $P_2(s)$, отримаємо:

$$P_2(s) = \frac{2\lambda^2}{s[s^2 + 3(\lambda + \mu)s + 2(\lambda + \mu)^2]}.$$

Переходячи від зображення функції до оригіналу, отримаємо:

$$K_{\Pi}(t) = P_2(t) = \frac{\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2} [1 - 2e^{-(\lambda + \mu)t} + e^{-2(\lambda + \mu)t}]. \quad (12.18)$$

Використовуючи вираз (12.17), визначаємо функцію $K_{\Gamma}(t)$ для дублюючої системи з відновленням:

$$K_{\Gamma}(t) = 1 - K_{\Gamma}(t) = 1 - \frac{\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2} [1 - 2e^{-(\lambda + \mu)t} + e^{-2(\lambda + \mu)t}]. \quad (12.19)$$

Для визначення коефіцієнта готовності K_{Γ} дубльованої системи поступаємо таким чином. Оскільки досліджується робота системи при $t \rightarrow \infty$, то в цьому випадку коефіцієнт готовності може бути визначений шляхом розв'язку системи диференціальних рівнянь (12.16) при $P_i'(t) = 0$. У цьому випадку система рівнянь перетвориться в систему алгебраїчних рівнянь у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} -2\lambda P_0 + \mu P_1 &= 0; \\ 2\lambda P_0 - (\lambda + \mu)P_1 + 2\mu P_2 &= 0; \\ \lambda P_1 - 2\mu P_2 &= 0. \end{aligned} \right\}. \quad (12.20)$$

Оскільки система рівнянь (12.20) має нескінченну кількість розв'язків, то замінімо одне з рівнянь системи нормувальною умовою:

$$\left. \begin{aligned} -2\lambda P_0 + \mu P_1 &= 0; \\ \lambda P_1 - 2\mu P_2 &= 0; \\ P_0 + P_1 + P_2 &= 1. \end{aligned} \right\}. \quad (12.21)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (12.21), визначаємо значення P_0 , P_1 і P_2 :

$$P_0 = \frac{\mu^2}{(\lambda + \mu)^2}; P_1 = \frac{2\lambda\mu}{(\lambda + \mu)^2}; P_2 = \frac{\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2}. \quad ($$

Для дубльованої системи з відновленням коефіцієнт готовності визначається за таким виразом:

$$K_{\Gamma.д} = P_0 + P_1 = 1 - P_2. \quad (12.22)$$

Підставляючи в (12.22) значення P_2 , отримаємо:

$$K_{\Gamma.д} = \frac{\mu(2\lambda + \mu)}{(\lambda + \mu)^2}. \quad (12.23)$$

Резерв ненавантажений

Для визначення показників надійності дубльованої системи з відновленням розглянемо систему, в якій обидва елементи однакової надійності, що мають інтенсивність відмов λ і відновлень μ , і абсолютно надійний пристрій, але при ненавантаженому резерві.

Розглянемо систему з обмеженим відновленням. На рис.12.3 наведено граф станів дубльованої системи з відновленням (резерв ненавантажений).

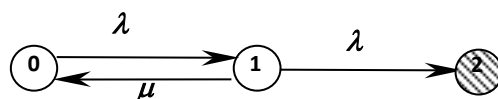


Рис.12.3. Граф станів дубльованої системи з відновленням (резерв ненавантажений)

Система диференціальних рівнянь, яка описує поведінку дубльованої системи при ненавантаженому резерві, складається аналогічно попереднім системам, але з урахуванням схеми графа на рис.12.3.

Для даного випадку, система диференціальних рівнянь має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} P_0'(t) &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t); \\ P_1'(t) &= P_0(t) - (\lambda + \mu) P_1(t); \\ P_2'(t) &= \lambda P_1(t). \end{aligned} \right\}. \quad (12.24)$$

Початкові умови:

$$P_0(0) = 1, P_1(0) = P_2(0) = 0. \quad (12.25)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (12.24) з урахуванням початкових умов (12.25) за допомогою перетворень Лапласа, визначаємо імовірність відмови дубльованої системи $Q_d(t)$ протягом часу t , тобто імовірність попадання системи в стан $P_2(t)$:

$$Q_d(t) = P_2(t) = 1 - \frac{s_1 e^{s_2 t} - s_2 e^{s_1 t}}{s_1 - s_2}. \quad (12.26)$$

Імовірність безвідмовної роботи дубльованої системи при ненавантаженому резерві протягом часу t визначається виразом:

$$P_d(t) = 1 - Q_d(t). \quad (12.27)$$

Звідки маємо:

$$P_d(t) = \frac{s_1 e^{s_2 t} - s_2 e^{s_1 t}}{s_1 - s_2}. \quad (12.28)$$

Де

$$s_{1,2} = -\frac{\mu + 2\lambda}{2} \pm \frac{\sqrt{(\mu + \lambda)^2 - 4\lambda^2}}{2}.$$

Середній наробіток до відмови дубльованої системи при ненавантаженому резерві визначається виразом:

$$T_d = P_2(s)|_{s=0} = \frac{\mu + 2\lambda}{\lambda^2}. \quad (12.29)$$

Розглянемо дубльовану систему з необмеженим відновленням.

Якщо обидва елементи системи цілком ідентичні (мають однакові інтенсивності відмов і відновлень), то в цьому випадку варто розглядати такі стани дубльованої системи, в яких вона може знаходитись протягом часу t :

0 - обидва елементи справні;

1 - один елемент відмовив і відновляється, інший елемент справний;

2 - обидва елементи відмовили.

Граф станів системи, коли резервний елемент знаходиться в ненавантаженому резерві, показано на рис.12.4.

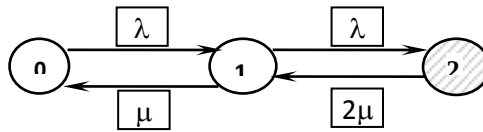


Рис.12.4. Граф станів резервованої системи з відновленням (резерв ненавантажений)

Відмінність цього графа від графа на рис.12.2 у відсутності стану, що поглинає. Поводження системи з ненавантаженим резервом описується такою системою диференціальних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} P_0'(t) &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t); \\ P_1'(t) &= \lambda P_0(t) - (\lambda + \mu) P_1(t) + 2\mu P_2(t); \\ P_2'(t) &= \lambda P_1(t) - 2\mu P_2(t). \end{aligned} \right\}. \quad (12.30)$$

Початкові умови:

$$P_0(0) = 1, P_1(0) = P_2(0) = 0. \quad (12.31)$$

Дані рівняння доповнюються нормувальною умовою:

$$\sum_{j=0}^n P_j(0) = 1. \quad (12.32)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (12.30) з урахуванням початкових умов, визначаємо залежності $P_j(t)$ для $j = 0, 1, 2$.

Функція готовності дубльованої системи (резерв ненавантажений) для заданого часу t визначається таким виразом:

$$K_r(t) = P_0(t) + P_1(t) = 1 - P_2(t). \quad (12.33)$$

Для нашого випадку маємо:

$$K_r(t) = 1 - \frac{\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2 + \mu^2} \left[1 + \frac{1}{\sqrt{\mu^2 + 4\lambda\mu}} (s_2 e^{s_1 t} - s_1 e^{s_2 t}) \right], \quad (12.34)$$

де

$$s_{1,2} = -\frac{3\mu + 2\lambda}{2} \pm \frac{\sqrt{\mu^2 - 4\lambda\mu}}{2}.$$

Визначення стаціонарного коефіцієнта готовності K_{Γ} для дубльованої системи при ненавантаженому резерві проводиться шляхом розв'язку системи диференціальних рівнянь (12.30) при $t \rightarrow \infty$, тобто $P_i'(t) = 0$. При цьому замість одного з отриманих алгебраїчних рівнянь використовують нормувальну умову:

$$P_0 + P_1 + P_2 = 1. \quad (12.35)$$

Розв'язуючи отриману систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} -2\lambda P_0 + \mu P_1 &= 0; \\ \lambda P_1 - 2\mu P_2 &= 0; \\ P_0 + P_1 + P_2 &= 1, \end{aligned} \right\} \quad (12.36)$$

одержують такі значення P_i :

$$P_0 = \frac{\mu^2}{(\lambda + \mu)^2}; P_1 = \frac{2\lambda\mu}{(\lambda + \mu)^2}; P_2 = \frac{\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2}.$$

Оскільки $K_{\Gamma} = P_0 + P_1$, то, підставляючи отримані значення для P_0 і P_1 , отримаємо:

$$K_{\Gamma} = \frac{2\mu(\lambda + \mu)}{(\lambda + \mu)^2 + \mu^2}. \quad (12.37)$$

Вплив системи контролю на надійність резервованих систем з відновленням

При аналізі надійності резервованих пристроїв з відновленням встановлено, що найбільшу ефективність від застосування резервування можна отримати при ідеальній системі контролю стану системи, тобто такій системі, яка здатна практично миттєво виявляти елемент, що відмовив і вмикати в роботу резервний.

В реальних умовах все відбувається трохи інакше. Так, наприклад:

- ♦ пристрої, в яких системою контролю охоплено лише частину функціональних елементів, явно знижує оцінку стану пристроїв;
- ♦ наявність недостовірної інформації (хибних сигналів) про працездатний чи непрацездатний стан пристрою в наслідок ненадійності системи контролю чи її недосконалості;
- ♦ застосування періодичного контролю замість постійного при експлуатації пристрою;
- ♦ вплив системи технічного обслуговування на відновлення елементів пристрою,

Усе це знижує ефективність застосування резервування як засобу підвищення надійності технічних пристроїв та систем при експлуатації.

Якщо для нерезервованих систем (пристроїв) з відновлюванням система контролю працездатності системи впливає в основному на коефіцієнт готовності, то для резервованих

пристроїв з відновлюванням система контролю впливає на всі показники надійності, в тому числі на коефіцієнт готовності, імовірність безвідмовної роботи за заданий час та ін.

Перспективи вирішення проблем забезпечення надійності технічних систем

Розглянуті в попередніх розділах питання дозволяють виділити основні напрямки робіт з підвищення надійності технічних систем (ТС). При цьому можна виділити чотири групи заходів щодо підвищення надійності ТС при їхньому проектуванні:

- системні;
- структурні (схемні);
- конструктивні;
- експлуатаційні.

До системних методів відносяться організаційно-економічні заходи щодо стимулювання підвищення надійності і ряд технічних заходів.

Одним із шляхів стимулювання підвищення надійності є включення у вартість ТС витрат на гарантійні ремонт і обслуговування. При цьому розроблювач враховує, що при підвищенні надійності зменшуються витрати на гарантійний ремонт і обслуговування, тобто прибуток стає найбільшим при певному значенні показника надійності, який перевищує максимально допустимий рівень. У цьому випадку розробники та виготовлювачі ТС прагнуть дізнатись цей рівень і досягти його. Отже, стимулюються точні оцінки надійності та її підвищення. Іншим шляхом стимулювання підвищення надійності є планування витрат на весь термін служби проектованої ТС.

Технічні заходи щодо оформлення показників надійності проектовних ТС необхідні при будь-якій системі взаємин замовника і розробника. До технічних заходів відносяться облік зовнішніх впливів на проектовні технічні системи:

- а) робочі (важкий ударно-вібраційний режим, температурний режим, агресивне хімічне середовище, ядерна реакція);
- б) кліматичні (температура, вологість, домішки в повітрі);
- в) біологічні (грибок або цвіль, комахи, гризуни).

Структурні (схемні) методи поєднують заходи щодо підвищення надійності ТС шляхом вдосконалювання принципів їхньої будови.

Ці методи відрізняються великою розмаїтістю й інтенсивно розвиваються. До них відносяться, наприклад, варіанти будови ТС, нечутливих до появи відмов, за рахунок введення надлишкових апаратних і програмних засобів. При цьому можуть використовуватися і апаратні (наприклад, резервування) і програмні (наприклад, порівняння результатів надлишкових обчислень) засоби. У ряді випадків також можуть застосовуватися й апаратно-програмні засоби виявлення відмов елементів і відновлення ТС. Більш детально структурні (схемні) методи підвищення надійності будуть розглянуті далі.

До конструктивних методів відносяться заходи щодо створення та вибору елементів, вузлів або блоків ТС, створення сприятливих режимів роботи, вживання заходів щодо полегшення ремонтів і т. ін. При цьому звичайно виявляються більш надійними ті елементи, вузли або блоки ТС, що не мають деталей, тонких обмоток, ниток розжарення тощо.

Час усунення відмови можна істотно зменшити шляхом побудови ТС за блоко-вузловим способом. При цьому всі ТС розбиваються на окремі функціонально закінчені блоки, що в електронних системах з'єднуються між собою кабелями, а в механічних – зв'язуються кінематично. Блоки у свою чергу розбиваються на функціонально закінчені вузли, виконувані у вигляді легкознімних конструкцій. При такій будові ТС відновлення полягає в заміні несправних блоків або вузлів, що значно прискорює процес введення ТС у роботу. Здійснення блочно-вузлових конструкцій тісно пов'язано з уніфікацією елементів і систем, що виконується на основі відбору найбільш надійних варіантів. При цьому не тільки підвищується надійність ТС, але і знижується їх вартість, і спрощується виготовлення. У ряді випадків вдається створити дуже складні ТС з елементів двох-трьох типів.

Планування *експлуатаційних заходів* на стадії проектування ТС полягає в розробці системи експлуатаційного забезпечення. Проектування ТС при цьому повинно здійснюватися відповідно до номенклатури робіт з технічного обслуговування. Наприклад, для планування періодичного регулювання визначних параметрів ТС необхідно передбачити можливість контролю і прогнозування значень цих параметрів.

Як уже згадувалось, *структурні (схемні) і конструктивні методи підвищення надійності безумовно є основними для забезпечення відповідного рівня надійності розроблюваних ТС.*

Розглядаючи ці методи необхідно підкреслити таке.

У першу чергу надійність ТС досягається за рахунок використання високонадійних елементів. Впровадження напівпровідникових приладів замість електровакуумних дозволило, як відомо, підвищити надійність технічних засобів більш ніж на порядок за рахунок того, що фізичні процеси в напівпровідникових приладах забезпечують їх функціонування при менших живильних напругах, розсіювальних потужностях і, відповідно, температурах.

Подальший розвиток елементної бази полягав в створенні інтегральних мікросхем (ІМС). За останні 20–30 років ІМС розвивалися бурхливими темпами і послідовно були створені інтегральні схеми малого, середнього і великого (ВІС) ступеня інтеграції. В даний час створюються дуже великі ІМС, що містять тисячі, десятки тисяч навіть сотні тисяч елементів. Технологія ІМС безупинно вдосконалювалася, і це привело до того, що, незважаючи на різке збільшення числа елементів на одному кристалі, надійність окремого кристала залишалася такою ж, причому інтенсивність відмов схеми, розміщеної на кристалі, складала приблизно $10^{-6} - 10^{-9} \text{ год}^{-1}$.

Подальший розвиток елементів автоматики і обчислювальної техніки буде спрямований шляхом підвищення ступеня інтеграції в ІМС, використання оптичних елементів, а також впровадження нових типів друкованих плат, у тому числі багатошарових плат, контактних з'єднань тощо.

При проектуванні ТС необхідно особливу увагу приділяти підбору стандартизованих і уніфікованих елементів, використання яких значно підвищує надійність, тому що ці елементи відпрацьовані найкращим чином в схемному, конструктивному і технологічному відношенні.

Другим шляхом підвищення надійності є забезпечення оптимальних режимів роботи елементів, насамперед, електричних режимів. Досвід експлуатації елементів показує, що оптимальне значення коефіцієнта навантаження, при яких інтенсивність раптових відмов найменша, знаходиться в межах 0,2 – 0,4. Крім того, встановлено, що при цих же значеннях коефіцієнта навантаження параметри елементів повільніше відхиляються від номінальних значень. При цьому велике значення має вибір коефіцієнта навантаження за тепловим, механічним і радіаційним режимом. Зазначені режими значною мірою залежать від конструкції пристроїв, а також від прийнятих технічних рішень. Природно, що це повинно враховуватися в процесі проектування.

Одним з найбільш ефективних засобів підвищення надійності є **резервування**, тобто введення надлишку. Досвід використання різних методів резервування в ТС показує, що постійне резервування може використовуватися до окремих елементів або схем. Для складних ТС звичайно застосовується резервування заміщенням, що також використовується і для окремих пристроїв. Часто, наприклад, у системах автоматичного управління використовуються *мажоритарне резервування і самокоригувальні коди.*

Тимчасове резервування широко використовується в засобах обчислювальної техніки. Його конкретна реалізація, наприклад, здійснюється способом подвійного – потрійного підрахунку. Наприклад, певна задача розв'язується двічі, і порівнюються отримані результати. Збіг результатів означає, що відмова і збої відсутні і можна переходити до розв'язання наступних задач. У випадку розбіжності результатів, що означає відмову або збій у роботі пристрою, потрібно розв'язання повторити.

Тимчасове резервування використовується також при тестовому контролі, тобто періодичному розв'язанні спеціальних задач з відомими відповідями. Очевидно, що в цьому випадку на підставі порівняння отриманого результату з відомим можна судити про роботоздатність пристрою. Причому, чим більше часу виділяється на тестовий контроль і чим частіше він проводиться, тим з більшою вірогідністю можна судити про роботоздатність контрольованого пристрою.

Одним із спеціальних методів підвищення надійності є використання *самонастроюваних і самоорганізуючих систем*.

Особливо важливим є принцип самоорганізації. Для його реалізації створюються, наприклад, такі системи автоматичного керування, що здатні змінювати свою структуру в процесі функціонування.

Як уже згадувалось, ефективним методом підвищення надійності є *відновлення несправних ТС*. Тут основним питанням є виявлення факту відмови і пошук елементів, що відмовили. Така задача може бути вирішена за допомогою діагностування ТС, наприклад, при використанні автоматизованих систем контролю, де як основна центральна ланка застосовується ЕОМ, що забезпечує перевірку великого числа контрольних точок протягом невеликого проміжку часу.

Свої особливості при цьому має діагностування засобів обчислювальної техніки. Тут широке застосування знаходять методи *діагностування*, засновані на використанні різних логічних співвідношень, інформаційного та алгоритмічного резерву.

В даний час у засобах обчислювальної техніки все ширше використовується *сигнатурний аналіз*, що заснований на стиску інформації і поданні її масивів у вигляді їхніх спеціальних образів – **сигнатур**.

Аналіз сигнатур при обробці різних масивів інформації дозволяє зробити висновки про працездатність засобів.

Крім того, час відновлення значно скорочується за рахунок забезпечення доступності всіх вузлів ТС для огляду, тобто визначається ремонтпридатність розроблювальних конструкцій.

Зокрема, наприклад, у *засобах обчислювальної техніки* прийнято *чотири конструктивних рівні*:

- ІМС і радіоелементи;
- типові елементи заміни (ТЕЗ), що являють собою друковані плати з розміщеними на них ІМС;
- рами, у яких розміщуються ТЕЗ;
- шафи, у яких кріпляться рами.

При такій конструкції засобів заміна елементів, що відмовили, здійснюється шляхом заміни ТЕЗ, а несправні ТЕЗ надходять у ремонт.

Велике значення для забезпечення надійності, як уже неодноразово згадувалося, має *якість виготовлення ТС*, що визначається технологічною дисципліною, організацією контролю на всіх стадіях проектування, виробництва, проведення випробувань та якістю комплектуючих і матеріалів. Тут також має велике значення якість експлуатації, прийнята система технічного обслуговування, підготовленість обслуговуючого персоналу і ряд інших факторів.

Аналіз надійності ТС показує, що приблизно 40–45% усіх відмов виникає в апаратурі через помилки на етапі проектування, 20% – від помилок, допущених при виробництві, 30% – від неправильної експлуатації, 5–10% – від природного зносу і старіння.

Таким чином, як видно з викладеного матеріалу, існує досить велика кількість напрямків підвищення надійності ТС і їхніх складових частин.

Однак із усіх перерахованих вище напрямків і шляхів необхідно підкреслити важливість, а також певну специфіку методів резервування, які розглянемо більш детально.