

Міністерство освіти та науки України

Тернопільський національний економічний університет

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій

ОПОРНИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«Основи теорії надійності програмних систем»

Тернопіль - 2014

ЗМІСТ

1. Загальна характеристика надійності як науки
 - 1.1. Основні поняття надійності
 - 1.2. Життєвий цикл об'єкту
 - 1.3. Підтримка надійності об'єкту при експлуатації

2. Якісні і кількісні характеристики надійності
 - 2.1. Основні терміни і визначення
 - 2.2. Базові відомості з теорії ймовірності та математичної статистики
 - 2.3. Кількісні показники надійності
 - 2.4. Визначення показників надійності

3. Призначення показників надійності складних систем
 - 3.1. Підвищення надійності
 - 3.2. Розрахунок показників надійності за допомогою методів теорії ймовірності
 - 3.3. Статистична теорія надійності. Визначення невідомих параметрів розподілу

4. Стратегії та системи забезпечення надійності
 - 4.1. Загальні стани
 - 4.2. Метод структурних схем
 - 4.3. Метод логічних схем
 - 4.4. Схемно-функціональний метод

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА НАДІЙНОСТІ ЯК НАУКИ

Поява техніки і її широке застосування у виробничих процесах зробила актуальним питання про її ефективність. Ефективність використання машин пов'язана з їх здатністю безперервно і якісно виконувати покладені на них функції. Проте із-за поломок або несправностей знижується якість роботи машин, виникають вимушені простої в їх роботі, виникає потреба в ремонті для відновлення працездатності і необхідних технічних характеристик машин.

Перераховані обставини привели до появи поняття надійності машин і інших технічних засобів. Поняття надійності пов'язане із здатністю технічного засобу виконувати покладені на нього функції впродовж необхідного часу і з необхідною якістю. З перших кроків розвитку техніки стояло завдання зробити технічний пристрій таким, щоб він працював надійно. З розвитком і ускладненням техніки, ускладнювалася і розвивалася проблема її надійності. Для вирішення її знадобилася розробка наукових основ нового наукового напрямку - науки про надійність.

Надійність характеризує якість технічного засобу. Якість - сукупність властивостей, що визначають придатність виробу до використання за призначенням і його споживчі властивості. *Надійність - комплексна властивість технічного об'єкту, яка полягає в його здатності виконувати задані функції, зберігаючи свої основні характеристики у встановлених межах. Поняття надійності включає безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збереження.*

Вивчення надійності як якісного показника, що характеризує технічний пристрій, привело до появи науки "Надійність". Предмет дослідження науки - вивчення причин, що викликають відмови об'єктів, визначення закономірностей, яким вони підкоряються, розробка способів кількісного виміру надійності, методів розрахунку і випробувань, розробка шляхів і засобів підвищення надійності.

Розрізняють загальну теорію надійності і прикладні теорії надійності. Загальна теорія надійності має три складові:

1. Математична теорія надійності. Визначає математичні закономірності, яким підкоряються відмови і методи кількісного виміру надійності, а також інженерні розрахунки показників надійності.

2. Статистична теорія надійності. Обробка статистичної інформації про надійність. Статистичні характеристики надійності і закономірності відмов.

3. Фізична теорія надійності. Дослідження фізико-хімічних процесів, фізичних причин відмов, впливу старіння і міцності матеріалів на надійність.

Прикладні теорії надійності розробляються в конкретній області техніки стосовно об'єктів цієї області. Наприклад, існує теорія надійності систем управління, теорія надійності електронних пристроїв, теорія надійності машин та ін.

Надійність пов'язана з ефективністю (наприклад, з економічною ефективністю) техніки. Недостатня надійність технічного засобу має слідством:

- зниження продуктивності із-за простоїв внаслідок поломок;
- зниження якості результатів використання технічного засобу із-за погіршення його технічних характеристик внаслідок несправностей;
- витрати на ремонти технічного засобу;
- втрата регулярності отримання результату (наприклад, зниження регулярності перевезень для транспортних засобів);
- зниження рівня безпеки використання технічного засобу.

1.1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ НАДІЙНОСТІ

Надійність використовує поняття об'єкту. Об'єктом дослідження надійності (як науки) є той або інший технічний (програмний) засіб: окрема деталь, вузол машини, агрегат, машина в цілому, виріб, модуль, блок та ін.

Об'єкт характеризується якістю. Надійність є складовим показником якості об'єкту. Чим вище надійність об'єкту, тим вище його якість.

Працездатний об'єкт - об'єкт, який може виконувати покладені на нього функції в умовах експлуатації, визначених для цього об'єкту. Працездатний об'єкт знаходиться в працездатному стані.

Працездатний стан - стан об'єкту, при якому значення усіх параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції, відповідають нормативно-технічній і (чи) конструкторській (проектною) документації.

Непрацездатний стан - стан об'єкту, при якому значення хоч би одного параметра, що характеризує його здатність виконувати задані функції, не відповідає нормативно-технічній і (чи) конструкторській (проектною) документації.

Відмова - перехід об'єкту з працездатного стану в непрацездатний.

Відновлення - повернення об'єкту працездатного стану. Відновлення здійснюється шляхом ремонту об'єкту.

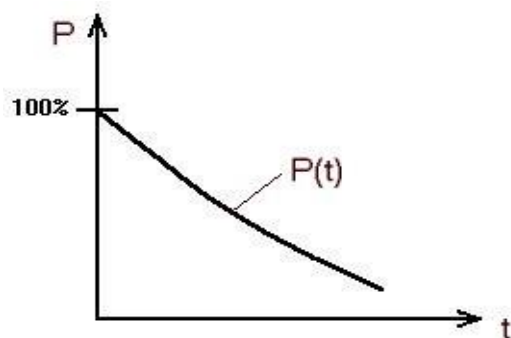


Рис. 1

Надійність об'єкту - сукупність властивостей, що визначають можливість об'єкта зберігати працездатність в певних режимах і умовах експлуатації і його пристосованість до відновлення у разі відмови.

Чисельна оцінка надійності - ймовірність P знаходження об'єкту в працездатному стані в даний момент часу t . Ця ймовірність з часом змінюється за деяким законом P (рис. 1). Ймовірність працездатного стану P об'єкту пов'язана з ймовірністю відмови Q :

$$P = 1 - Q.$$

1.2. ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ОБ'ЄКТУ

Об'єкт характеризується життєвим циклом. Життєвий цикл об'єкту складається з ряду стадій: проектування об'єкту, виготовлення об'єкту, експлуатація об'єкту. Кожна з цих стадій життєвого циклу впливає на надійність виробу.

На стадії проектування об'єкту закладаються основи його надійності. На надійність об'єкту впливають: вибір матеріалів (міцність матеріалів, зносостійкість матеріалів), запаси міцності деталей і конструкції в цілому, зручність зборки і розбирання (визначає трудомісткість наступних ремонтів), механічна і теплова напруженість конструктивних елементів, резервування найважливіших або найменш надійніших елементів і інші заходи.

На стадії виготовлення надійність визначається вибором технології виробництва, дотриманням технологічних допусків, якістю обробки поверхонь, що сполучаються, якістю використовуваних матеріалів, ретельністю зборки і регулювання.

На стадії проектування і виготовлення визначаються конструктивно-технологічні чинники, що впливають на надійність об'єкту. Дія цих чинників виявляється на стадії експлуатації об'єкту. Крім того, на цій стадії життєвого циклу об'єкту на його надійність впливають і експлуатаційні чинники.

Експлуатація чинить вирішальний вплив на надійність об'єктів, особливо складних. Надійність об'єкту при експлуатації забезпечується шляхом:

- дотримання умов і режимів експлуатації (мастило, режими навантажень, температурні режими та ін.);
- проведення періодичних технічних обслуговувань з метою виявлення і усунення виникаючих неполадок і підтримки об'єкту в працездатному стані;
- систематична діагностика стану об'єкту, виявлення і попередження відмов, зниження шкідливих наслідків відмов;
- проведення профілактичних відновних ремонтів.

Головною причиною зниження надійності в процесі експлуатації є зношення і старіння компонентів об'єкту. Зношення призводить до зміни розмірів, порушення працездатності (із-за погіршення умов мастила, наприклад), поломок, зниження міцності і так далі. Старіння призводить до зміни фізико-механичних властивостей матеріалів, що тягне поломки або відмови.

Умови експлуатації призначаються такими, щоб максимально понизити знос і старіння : наприклад, знос зростає в умовах дефіциту або низької якості мастила. Старіння зростає при виході температурних режимів за допустимі (наприклад, прокладення ущільнювачів, клапани і так далі).

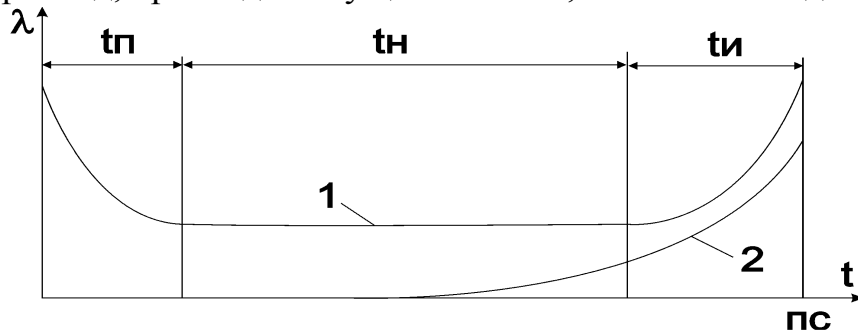


Рис. 2

Надійність об'єкту на стадії експлуатації можна ілюструвати графіком типової залежності інтенсивності відмов об'єкту від часу експлуатації, представленою на рисунку 2.

На рисунку 2 показано: 1 - інтенсивність відмов $\lambda(t)$; 2 - крива старіння; t_p - період прироблення; t_n - нормальна робота; t_z - період зносу. В період прироблення надійність, в першу чергу, визначається конструктивно-технологічними чинниками, що веде до підвищеної інтенсивності відмов. У міру виявлення і усунення цих чинників надійність об'єкту приводиться до номінального рівня, який зберігається в тривалому періоді t_n нормальної експлуатації.

Впродовж експлуатації в об'єкті накопичуються прояви зношення і втомі, інтенсивність яких зростає зі збільшенням терміну експлуатації об'єкту (зростаюча крива 2 на рисунку 2). Настає період t_z інтенсивного зношення об'єкту, який закінчується його приходом в граничний стан і зняттям з експлуатації.

Щорічні витрати на експлуатацію характеризуються графіками на рисунку 3, де 1 - сумарні витрати; 2 - витрати на ремонт; 3 - витрати на амортизацію. З графіків видно, що існує оптимальний термін експлуатації об'єкта, при якому сумарні витрати на експлуатацію мінімальні. Тривала експлуатація, яка істотно перевищує оптимальний термін, економічно не вигідна.

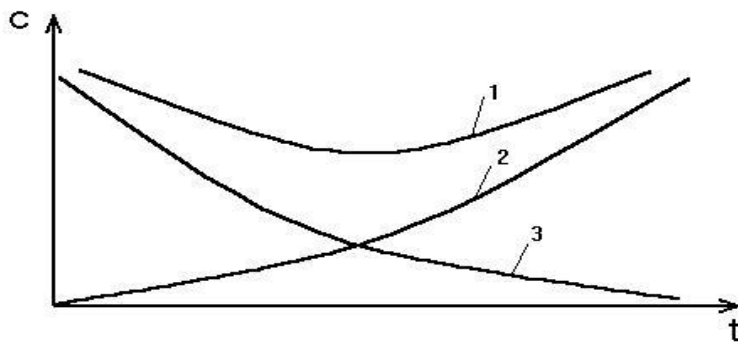


Рис. 3

1.3. ПІДТРИМКА НАДІЙНОСТІ ОБ'ЄКТУ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Підтримка необхідного рівня надійності технічних об'єктів в процесі експлуатації здійснюється шляхом проведення комплексу організаційно-технічних заходів. Сюди входять періодичні технічні обслуговування, профілактичні і відновні ремонти. Періодичні технічні обслуговування спрямовані на своєчасні регулювання, усунення причин відмов, раннє виявлення відмов.

У періодичні технічні обслуговування проводяться у встановлені терміни і у встановленому об'ємі технічні огляди (щоденні), щотижневе, щомісячне, сезонне та ін. технічне обслуговування (регламент). Завданням будь-кого ТЕ являється перевірка контрольованих параметрів, регулювання у разі потреби, виявлення і усунення несправностей, заміна елементів, передбачена експлуатаційною документацією.

Порядок виконання нескладних робіт визначається інструкціями по технічному обслуговуванню, а порядок виконання складних робіт - технологічними картами.

В процесі технічних обслуговувань зазвичай здійснюється і діагностика стану експлуатованого об'єкту (у тому або іншому об'ємі). Діагностика полягає в контролі стану об'єкту з метою виявлення і попередження відмов. Здійснюється діагностика за допомогою діагностичних засобів контролю, які можуть бути вбудованими і зовнішніми. Вбудовані засоби дозволяють здійснювати безперервний контроль. За допомогою зовнішніх засобів здійснюється періодичний контроль.

В результаті діагностики виявляються відхилення параметрів об'єкту і причини цих відхилень. Визначається конкретне місце несправності. Вирішується завдання прогнозування стану об'єкту і приймається рішення про його подальшу експлуатацію.

Об'єкт вважається працездатним, якщо його стан дозволяє йому виконувати покладені на нього функції. Якщо в процесі експлуатації характеристики об'єкту або його структура неприпустимо змінилися, то говорять, що в об'єкті виникла несправність. Виникнення несправності не

можна ототожнювати з втратою об'єктом працездатності. Проте в непрацездатному об'єкті завжди матиме місце несправність.

Для відновлення показників надійності об'єкту при їх зниженні проводяться профілактичні і відновні ремонти. Відновні ремонти служать для відновлення працездатності об'єкту після відмови і підтримки заданого рівня його надійності шляхом заміни деталей і вузлів, що втратили свій рівень надійності або відмовили.

Кількість ремонтів визначається економічною доцільністю. Типова залежність вірогідності безвідмовної роботи ремонтovanого об'єкту від часу експлуатації показана на рисунку 4. На рисунку прийняті наступні позначення: P - ймовірність безвідмовної роботи об'єкту, P_{\min} - мінімально допустимий рівень надійності, N - число замінюваних при ремонті елементів об'єкту.

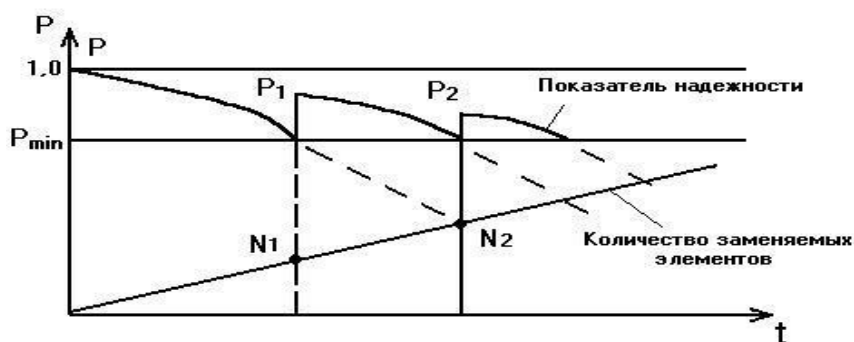


Рис. 4

Черговий ремонт не дозволяє досягти початкового рівня надійності об'єкту і термін експлуатації об'єкту після цього ремонту буде менше, ніж після попереднього ремонту. Таким чином, ефективність кожного наступного ремонту знижується, що тягне необхідність обмеження загальної кількості ремонтів об'єкту.

2. ЯКІСНІ І КІЛЬКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАДІЙНОСТІ

2.1. ОСНОВНІ ТЕРМІНИ І ВИЗНАЧЕННЯ

1. Надійність і її сторони

Надійність є комплексною властивістю, яка залежно від призначення об'єкту і умов його експлуатації може включати *безвідмовність*, *довговічність*, *ремонтпридатність* і *збережність* окремо або певне поєднання цих властивостей як для об'єкту, так і його частин.

Теорія надійності досліджує різні чинники, що впливають на рівень надійності, методи забезпечення і оцінки надійності, а також закономірності зміни її кількісних характеристик. Надійність є частиною загальнішої властивості виробу - якості. Технічні характеристики об'єкту даються для деякого моменту часу - це "точкові" характеристики. Надійність характеризує залежність точкових характеристик від часу використання об'єкту.

Надійність - властивість об'єкту зберігати в часі у встановлених межах значення усіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонту, зберігання і транспортування.

Властивість надійності може бути приписана різним компонентам об'єкту. При дослідженні надійності часто ставиться завдання визначити причини, що призводять до формування тієї або іншої сторони надійності для визначення шляхів підвищення надійності. Це призводить до ділення надійності на різні види:

Фізична надійність - обумовлюється фізичними і хімічними властивостями, умовами роботи, вантаженням і так далі

Схемна надійність - обумовлюється рівнем фізичної надійності окремих елементів і схемою їх взаємозв'язку. Схемна надійність може бути підвищена за рахунок *резервування*.

Апаратна надійність - обумовлюється станом апаратури.

Програмна надійність - обумовлюється станом і якістю програмного забезпечення.

Функціональна надійність - надійність виконання окремих функцій, що покладаються на об'єкт.

Надійність є комплексною властивістю і включає такі властивості, як:

Безвідмовність - властивість об'єкту безперервно зберігати працездатний стан впродовж деякого часу або деякого напрацювання.

Напрацювання - тимчасове поняття, що характеризує тривалість або об'єм роботи об'єкту (у годиннику, циклах, кілометрах пробігу та ін.).

Довговічність - властивість об'єкту зберігати працездатний стан до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування і ремонту.

Ремонтпридатність - властивість об'єкту, що полягає в його пристосованості до підтримки і відновлення працездатного стану шляхом проведення технічного обслуговування і ремонту.

Невідновний виріб - виріб, який не може бути відновлений споживачем і підлягає заміні.

Відновлюваний виріб - виріб, який може бути відновлений споживачем.

Ремонтований об'єкт - об'єкт, ремонт якого можливий і передбачений нормативно-технічною, ремонтною і (чи) конструкторською (проектною) документацією.

Об'єкт, що не ремонтується, - об'єкт, ремонт якого неможливий або непередбачений нормативно-технічною, ремонтною і (чи) конструкторською (проектною) документацією.

Збережність - властивість об'єкту зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують здібності об'єкту виконувати необхідні функції впродовж зберігання і (чи) транспортування.

У кожному конкретному випадку оцінки або завдання надійності виробу слід користуватися тими сторонами і видами надійності, які потрібні для характеристик надійності об'єкту з урахуванням його цільового призначення.

У прикладній теорії надійності в поняття надійності можуть включатися додаткові властивості. Так, для характеристики надійності об'єктів, що є потенційним джерелом небезпеки, використовуються властивості безпеки і живучості.

Безпека - властивість у разі порушення працездатного стану не створювати загрозу для життя і здоров'я людей, а також для довкілля.

Живучість - властивість об'єкту зберігати працездатність (повністю або частково) в умовах несприятливих дій, не передбачених нормальними умовами експлуатації.

2. Стани об'єкту

Справний стан - стан об'єкту, при якому він відповідає усім вимогам нормативно-технічної і (чи) конструкторської (проектною) документації.

Несправний стан - стан об'єкту, при якому він не задовольняє хоч би одній з вимог нормативно-технічної і (чи) конструкторської (проектною) документації.

Працездатний стан - стан об'єкту, при якому значення усіх параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції, відповідають нормативно-технічній і (чи) конструкторській (проектною) документації.

Непрацездатний стан - стан об'єкту, при якому значення хоч би одного параметра що характеризує його здатність виконувати задані функції, не відповідає нормативно-технічній і (чи) конструкторській (проектною) документації.

Граничний стан - стан об'єкту, при якому його подальше застосування за призначенням неприпустимо або недоцільно, або відновлення його працездатного стану неможливе або недоцільно.

Несправний виріб може бути працездатним, проте непрацездатний виріб завжди несправний.

3. Відмови

У основі поняття надійності об'єкту лежить поняття його відмови.

Відмова - ця подія, що полягає в порушенні працездатного стану об'єкту. По характеру виникнення відмови пов'язані або з поломкою окремих елементів при функціонуванні, або зі зміною параметрів до недоступних меж.

Для розрізнення відмов їх класифікують. Розрізняють класифікацію відмов математичну (імовірнісну) і класифікацію інженерну (фізичну).

З причин відмов можна розділити відмови на випадкові і систематичні. Випадкові відмови можуть бути викликані перевантаженнями, дефектами

матеріалів і виготовлення, помилками персоналу, збоями. Найчастіше проявляються в несприятливих умовах експлуатації.

Систематичні відмови виникають з причин, що викликають поступове накопичення ушкоджень (час, температура, опромінення). Виражаються у вигляді зносу, старіння, корозії, залипання, витоку і так далі

Відмови раптові - поломки. Відмови поступові - знос, старіння. З причин виникнення відмови бувають конструкційні, технологічні, експлуатаційні. Відмови не можна змішувати з дефектами.

Дефектом називається кожна окрема невідповідність об'єкту вимогам, встановленим нормативною документацією. Цей термін застосовуваний до усіх видів промислової і непромислової продукції.

Повна відмова веде до повної втрати працездатності.

Часткова відмова веде до часткової втрати працездатності.

Математична класифікація відмов :

Поступові відмови розвиваються в часі і пов'язані із старінням, зносом, втомною міцністю і іншими чинниками зміни властивостей матеріалу.

Раптові відмови - на вірогідність їх появи не впливає час попередньої роботи.

Спільні відмови - відмови елементів об'єкту, що можуть одночасно з'явитися у кількості двох і більше.

Неспільні відмови - відмови, з яких ніякі два не можуть з'явитися разом.

Незалежні відмови - вірогідність їх появи не залежить один від одного.

Залежні відмови - вірогідність появи однієї відмови пов'язана з вірогідністю появи іншого.

Інженерна класифікація відмов :

1. По виявленню:

- до виконання функцій;
- під час виконання функцій.

2. По наслідках:

- без наслідків;
- призводить до невиконання функцій;
- призводить до подій.

3. З причин:

- конструктивно-виробничі помилки;
- помилки оперативного персоналу;
- зовнішні або випадкові причини.

4. За способом усунення:

- відновлення працездатності на місці експлуатації;
- частковий ремонт в ремонтних службах;
- капітальний ремонт;
- списання об'єкту.

Окрім поняття відмова в прикладній теорії надійності і на практиці можуть використовуватися інші поняття, пов'язані з порушенням працездатності об'єкту:

Поломка - ушкодження об'єкту, яке може бути усунене силами команди або ремонтних служб, що не тягне загибелі людей.

Подія - подія, пов'язана з порушенням функціонування об'єкту внаслідок його руйнування або ушкодження.

Аварія - повне руйнування об'єкту або таке його ушкодження, що відновлення або неможливо, або недоцільно (але не тягне загибелі людей).

Катастрофа - повне або часткове руйнування об'єкту, що тягне загибель хоч би однієї людини (якщо смерть людей в результаті події настає впродовж 10 діб після нього).

4. Ефективність

Ефективність об'єкту - властивість об'єкту видавати деякий корисний результат (ефект) при використанні його за призначенням.

2.2. БАЗОВІ ВІДОМОСТІ З ТЕОРІЇ ЙМОВІРНОСТІ І МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ

Надійність об'єктів порушується виникаючими відмовами. Відмови розглядають як випадкові події. Для кількісної оцінки надійності використовуються методи теорії ймовірності і математичної статистики. Показники надійності можуть визначатися чисто аналітичним шляхом на основі математичної моделі - математичного визначення надійності. Показники надійності можуть визначатися в результаті обробки досвідчених даних - це статистичне визначення показника надійності.

Момент виникнення відмови, частота виникнення відмов - величини випадкові. Тому базовими методами для теорії надійності є методи теорії ймовірності і математичної статистики.

Випадкова подія - подія, яке при здійсненні сукупності умов S може або статися, або не статися. Випадкова подія характеризується ймовірністю реалізації P.

Випадкова величина - величина, яка в результаті досвіду приймає одно, наперед невідоме значення, залежне від випадкових причин. Випадкові величини можуть бути дискретними і безперервними.

Усі можливі на практиці значення деякої випадкової величини утворюють генеральну сукупність випадкової величини :

$X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – генеральна сукупність випадкової величини x.

Ряд конкретних реалізацій випадкової величини називає вибірковою сукупністю або вибіркою.

Генеральна сукупність характеризується статистичними параметрами: *математичне очікування* - середнє значення випадкової величини μ (*дисперсія* - міра розсіювання випадкової величини відносно середнього значення):

$$\sigma = \sqrt{D},$$

де σ - середнє квадратичне (стандартне) відхилення випадкової величини.

На практиці математичне очікування і дисперсію випадкової величини можна оцінити тільки на основі вибірки з кінцевого числа спостережень (вимірів) випадкової величини:

– вибіркє середнє арифметичне значення випадкової величини

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i,$$

де n - число спостережень, x_i - реалізація випадкової величини в кожному спостереженні.

– виправлене вибіркє середнє квадратичне значення випадкової величини (вибіркє стандартне відхилення)

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2},$$

де s - вибіркє середнє квадратичне (стандартне) відхилення випадкової величини, що є оцінкою стандартного відхилення генеральної сукупності.

Окрім середнього арифметичного для оцінки математичного очікування можуть використовуватися медіана і мода, а для оцінки дисперсії - розмах.

Випадкова величина характеризується законом розподілу, який зв'язує значення випадкової величини з вірогідністю її появи. Для характеристики закону розподілу випадкової величини використовуються наступні функції.

Функція розподілу випадкової величини - функція $F(x)$, визначає ймовірність того, що випадкова величина X в результаті випробувань прийме значення менше або рівне x :

$$F(x) = P(X \leq x).$$

Функція розподілу випадкової величини може бути представлена графіком (рис. 5).

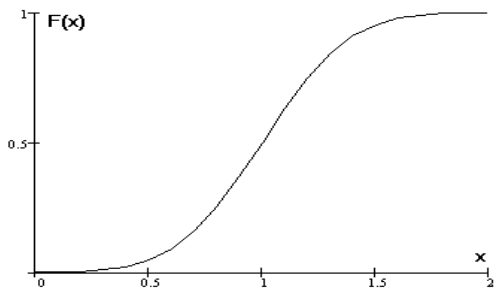


Рис. 5

Щільність розподілу ймовірності випадкової величини

$$f(x) = F'(x), \quad f(x) \geq 0.$$

Щільність ймовірності характеризує ймовірність того, що випадкова величина набуде конкретного значення x (рис. 6). Щільність ймовірності і функція розподілу пов'язані залежністю

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx$$

Показники надійності можуть вираховуватись на основі функції розподілу і щільності розподілу (математичне визначення), а також на основі статистичних даних експлуатації і випробувань (статистичне визначення).

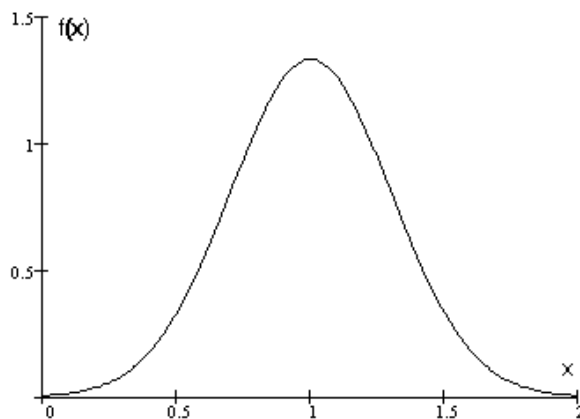


Рис. 6.

Експериментальною оцінкою щільності ймовірності випадкової величини є гістограма розподілу випадкової величини (рис. 7).

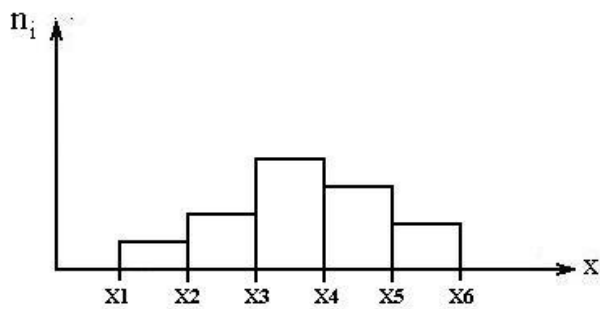


Рис. 7.

Гістограма показує залежність кількості спостережуваних значень випадкової величини в певному інтервалі значень від меж цих інтервалів. По гістограмі можна приблизно говорити про щільність розподілу випадкової величини.

При побудові гістограми у вибірці випадкової величини x з n значень визначають найбільше x_{\max} і найменше x_{\min} значення. Діапазон зміни величини

$$\Delta x = x_{\min} - x_{\max}$$

розбивають на m однакових інтервалів. Потім підраховують число спостережуваних значень випадкової величини n_i , що потрапляють в кожний i -ий інтервал.

2.3. КІЛЬКІСНІ ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ

Показники надійності діляться на нормовані і оцінні. Значення нормованих показників регламентується нормативно-технічною і (чи) конструкторською (проектною) документацією. Оцінні значення показників є фактичними і їх отримують в результаті випробувань або експлуатації об'єкту.

Для деякого об'єкту показники надійності можуть бути отримані:

- розрахунковим шляхом;
- експериментальним шляхом;
- шляхом екстраполювання відомих показників на іншу тривалість експлуатації, або інші умови експлуатації.

Перелік стандартних показників надійності приведений в таблиці 1.

Номенклатура показників надійності

Властивість надійності	Найменування показників	Познач.
Одиничні показники		
Безвідмовність	Ймовірність безвідмовної роботи	$P(t)$
	Інтенсивність відмов	$\lambda(t)$
	Середнє напрацювання на відмову	T_B
	Середнє напрацювання повністю	T_{cp}
	Середнє напрацювання між відмовами	T
Довговічність	Середній ресурс	T_p
	Гамма-процентний ресурс	$T_{p\gamma}$
	Призначений ресурс	$T_{p.п}$
	Встановлений ресурс	$T_{p.в}$
	Середній термін служби	$T_{сл}$
	Гамма-процентний термін служби	$T_{сл\gamma}$
	Призначений термін служби	$T_{сл.п}$
	Встановлений термін служби	$T_{сл.в}$
Збережність	Середній термін збережності	T_z
	Гамма-процентний термін збережності	$T_{z\gamma}$
	Призначений термін зберігання	$T_{z.п}$
	Встановлений термін збережності	$T_{z.в}$
Ремонтпридатність	Середній час відновлення	T_B
	Ймовірність відновлення	$P_B(t)$
Комплексні показники		
Комбінація властивостей	Коефіцієнт готовності	K_G
	Коефіцієнт технічного використання	$K_{T.в}$

	Коефіцієнт оперативної готовності	$K_{o.g}$
--	-----------------------------------	-----------

При визначенні показників надійності використовуються наступні поняття:

Напрацювання - тривалість або об'єм роботи об'єкту.

Ресурс - сумарне напрацювання об'єкту від початку його експлуатації або її відновлення після ремонту до приходу в граничний стан.

Термін служби - календарна тривалість експлуатації об'єкту або її відновлення після ремонту від початку його застосування до настання граничного стану.

Термін збережності - календарна тривалість зберігання і (чи) транспортування об'єкту в заданих умовах, в течію і після яких зберігаються справність, а також значення показників безвідмовності, довговічності і ремонтпридатності в межах, встановлених нормативно-технічною документацією на цей об'єкт.

Час відновлення - характеризує календарну тривалість операцій по відновленню працездатного стану об'єкту або тривалість операцій по технічному обслуговуванню.

2.4. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ

1. Показники безвідмовності

1.1. *Ймовірність безвідмовної роботи* - вірогідність того, що в межах заданого напрацювання t відмова не виникне.

$$P(t) = \frac{N_p}{N} = 1 - \frac{n(t)}{N},$$

де N_p - число працездатних об'єктів на момент t ; N - загальне число спостережуваних об'єктів; $n(t)$ - число об'єктів, що відмовили на момент t від початку випробувань або експлуатації.

Ймовірність безвідмовної роботи зменшується зі збільшенням часу роботи або напрацювання об'єкту. Залежність ймовірності безвідмовної роботи від часу характеризується кривою спаду ресурсу об'єкта, приклад якої наведений на рисунку 9.

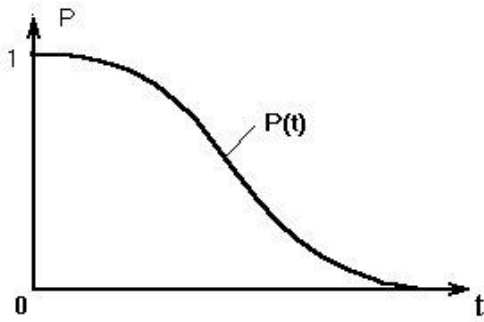


Рис. 9

У початковий момент часу для працездатного об'єкту ймовірність його безвідмовної роботи дорівнює одиниці (100%). У міру роботи об'єкту ця ймовірність знижується і прагне до нуля.

Вірогідність відмови характеризується вірогідністю виникнення відмови на момент часу t :

$$Q(t) = 1 - P(t) = \frac{n(t)}{N},$$

де $n(t)$ - число об'єктів, що відмовили на момент t від початку випробувань або експлуатації; N - загальне число спостережуваних об'єктів.

Ймовірність виникнення відмови об'єкту зростає зі збільшенням терміну експлуатації або напрацювання.

Приклад залежності вірогідності виникнення відмови від часу показаний на рисунку 10. Для працездатного об'єкту в початковий момент часу ймовірність відмови близька до нуля. Для того, щоб відмова проявилася, об'єкту необхідно почати працювати, при цьому ймовірність відмови збільшується зі збільшенням часу і прагне до одиниці.

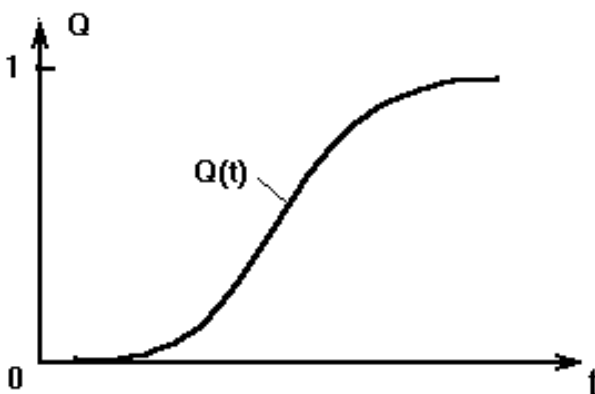


Рис. 10

Ймовірність відмови може бути також охарактеризована щільністю ймовірності відмови

$$f(t) = \frac{dQ}{dt} \quad \text{чи} \quad f(t) = \frac{\Delta n(t)}{N \cdot \Delta t}$$

де $\Delta n(t)$ - число відмов за проміжок часу Δt ; N - загальне число спостережуваних об'єктів.

Приклад 1. Після 500 годин напрацювання з 56 агрегатів, поставлених на експлуатацію, в працездатному стані опинилися 43 агрегати. Визначити вірогідність безвідмовної роботи агрегату впродовж 500 години

Рішення:

Використовуємо формулу для визначення вірогідності безвідмовної роботи об'єкту

$$P(500) = \frac{43}{56} = 0,768.$$

Вірогідність безвідмовної роботи агрегату впродовж 500 годин складає 76,8 %.

Приклад 2. Для попереднього прикладу визначити вірогідність відмови агрегат за 500 годин роботи.

Рішення:

Використовуємо формулу для вірогідності відмови

$$Q(500) = 1 - P(500) = 1 - 0,786 = 0,232$$

чи

$$Q(500) = \frac{56 - 43}{56} = 0,232.$$

Таким чином, вірогідність відмови агрегату за 500 годин складає 23,2 %.

При визначенні вірогідності безвідмовної роботи і вірогідності відмов широко використовуються дві основні теореми для визначення вірогідності випадкової події.

1. Вірогідність появи однієї з двох неспільних подій дорівнює сумі вірогідності цих подій :

$$P(A + B) = P(A) + P(B),$$

де A, B - неспільні події.

2. Вірогідність спільної появи декількох незалежних подій дорівнює твору вірогідності цих подій :

$$P(A_1 A_2 \dots A_n) = P(A_1) \cdot P(A_2) \cdot \dots \cdot P(A_n).$$

Перша теорема використовується для знаходження вірогідності відмови при нагоді у об'єкту декількох видів неспільних відмов. З використанням другої теореми визначають вірогідність безвідмовної роботи об'єкту, що складається з багатьох елементів, вірогідність безвідмовної роботи яких відома.

Приклад 3. Система полягає їх 4-х агрегатів. Надійність кожного агрегату впродовж часу t характеризується вірогідністю безвідмовної роботи 90 %. Знайти вірогідність безвідмовної роботи системи впродовж часу t за умови незалежності відмов агрегатів.

Рішення:

Використовуємо теорему вірогідності спільної появи працездатного стану усіх агрегатів :

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) = \prod_{i=1}^4 0,9 = 0,656.$$

Отже, вірогідність безвідмовної роботи системи впродовж часу t дорівнює 65,6 %.

Приклад 4. У складі агрегату є 5 вузлів. Вірогідність відмови кожного вузла впродовж часу t складає 5 %. Відмов вузлів неспільні. Визначити вірогідність відмови агрегату.

Рішення:

Використовуємо теорему для вірогідності хоч би однієї з декількох неспільних подій :

$$Q(t) = \sum_{i=1}^n Q_i(t) = \sum_{i=1}^5 0,05 = 0,25.$$

Таким чином, вірогідність відмови агрегату впродовж часу t складає 25 %.

2. *Інтенсивність відмов* - характеризує швидкість виникнення відмов об'єкту в різні моменти часу його роботи :

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n(t)}{N_p \cdot \Delta t},$$

де $\Delta n(t)$ - число відмов за проміжок часу Δt ; N_p - число працездатних об'єктів на момент t .

Інтенсивність відмов може бути знайдена теоретично

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)},$$

де $f(t)$ - функція щільності ймовірності напрацювання повністю; $P(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи

$$f(t) = \frac{\Delta n(t)}{N \cdot \Delta t}.$$

Щільність розподілу $f(t)$ напрацювання повністю може бути також визначена по ймовірності відмови

$$f(t) = Q'(t) = \frac{dQ(t)}{dt} \quad \text{чи} \quad Q(t) = \int_0^t f(t)dt .$$

Ймовірність безвідмовної роботи пов'язана з інтенсивністю відмов одним з основних рівнянь теорії надійності :

$$P(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t)dt\right).$$

У описаних способах оцінки безвідмовності до першої відмови не розрізняються по тяжкості їх наслідків. У більшості випадків при розробці об'єкту необхідно встановити критерій відмови виробу економічним міркуванням, вичерпанню ресурсу або іншим характеристикам.

Критерієм відмови називають ознака або сукупність ознак непрацездатного стану об'єкту, встановлених в нормативно-технічній або конструкторській документації.

3. *Середнє напрацювання на відмову* - це відношення напрацювання відновлюваного об'єкту до математичного очікування числа його відмов впродовж цього напрацювання:

$$T_o = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{\sum_{i=1}^N m_i} ,$$

де N - загальне число об'єктів, поставлених на випробування або в експлуатацію; t_i - напрацювання i -го об'єкту; m_i - число відмов i -го об'єкту за увесь спостережуваний період.

Середнє напрацювання на відмову використовується для характеристики відновлюваних об'єктів.

4. *Середнє напрацювання повністю* - математичне очікування напрацювання об'єкту до першої відмови

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t)dt \quad \text{чи} \quad T_{cp} = \sum_{i=1}^k \frac{N_{pi}}{N} \Delta t_i$$

де N_{pi} - число працездатних об'єктів на інтервалі напрацювання $t_i - t_{i+1}$; N - загальне число спостережуваних об'єктів; $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ - інтервал часу; k - число даних інтервалів напрацювання.

Середнє напрацювання повністю можна також визначити інакше

$$T_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i,$$

де t_i - напрацювання повністю i -го об'єкту; n - число об'єктів.

Показник T_{cp} використовується для характеристики надійності невідновних об'єктів.

5. *Середнє напрацювання між відмовами* - математичне очікування напрацювання об'єкту від закінчення відновлення його працездатного стану після відмови до виникнення наступної відмови.

Обчислюється як відношення сумарного напрацювання об'єкту між відмовами за даний період до відмов за той же період:

$$T = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i.$$

Показники безвідмовності визначають на різних стадіях роботи об'єкту з метою його вдосконалення і з метою контролю нормованих значень при експлуатації.

2. Показники довговічності

1. *Середній ресурс* - математичне очікування ресурсу

$$T_p = \frac{\sum_{i=1}^N T_{pi}}{N},$$

де T_{pi} - ресурс i -го об'єкту; N - число об'єктів.

2. *Гамма-процентний ресурс* є напрацюванням, під час якого об'єкт не досягає граничного стану із заданою ймовірністю (виражений у відсотках (рис. 11)).

Для розрахунку показника використовується формула ймовірності

$$P(T_{p\gamma}) = \int_{T_{p\gamma}}^{\infty} p(T_p) dT_p = \frac{\gamma}{100},$$

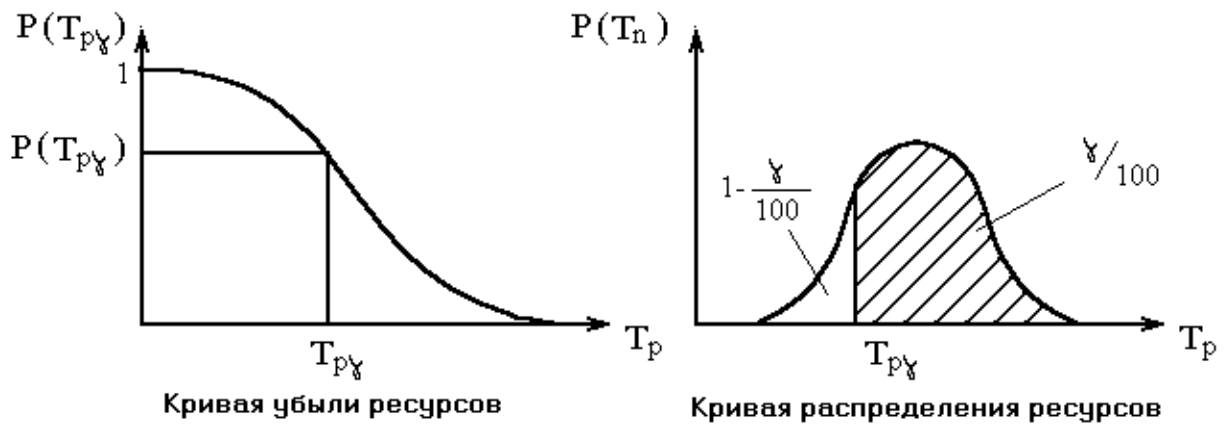


Рис. 11

де $T_{p\gamma}$ - напрацювання до граничного стану (ресурс).

Істотна перевага цього показника - можливість його визначення до завершення випробування усіх зразків. У більшості випадків використовують 90 %-ий ресурс.

3. *Призначений ресурс* - сумарне напрацювання $T_{pн}$, досягнувши якого застосування об'єкту за призначенням має бути припинене незалежно від його технічного стану.

4. *Встановлений ресурс* - технічно обгрунтована або задана величина ресурсу $T_{pв}$, що забезпечується конструкцією, технологією і експлуатацією, в межах якої об'єкт не повинен досягати граничного стану.

5. *Середній термін служби* - математичне очікування терміну служби.

$$T_{сл} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{сли}}{N},$$

де $T_{сли}$ - термін служби i -го об'єкту.

6. *Гамма-процентний термін служби* - календарна тривалість експлуатації, впродовж якої об'єкт не досягає граничного стану з ймовірністю γ , вираженою у відсотках :

$$P(T_{сл\gamma}) = \int_{T_{сл\gamma}}^{\infty} p(T_{сл}) dT_{сл} = \frac{\gamma}{100}.$$

7. *Призначений термін служби* - сумарна календарна тривалість експлуатації $T_{сл\cdotп}$, досягнувши якої застосування об'єкту за призначенням має бути припинене, незалежно від його технічного стану.

8. *Встановлений термін служби* - техніко-економічно обгрунтований або заданий термін служби $T_{сл\cdotв}$, забезпечуваний конструкцією, технологією і експлуатацією, в межах якого об'єкт не повинен досягати граничного стану.

3. Показники збережності

1. *Середній термін збережності* - математичне очікування терміну збережності об'єкту :

$$T_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{ci},$$

де T_{ci} - термін збережності i -го об'єкту.

2. *Гамма-процентний термін збережності* - календарна тривалість зберігання і (чи) транспортування об'єкту, в течії і після якої показники безвідмовності, довговічності і ремонтпридатності об'єкту не вийдуть за встановлені межі з вірогідністю γ , вираженою у відсотках.

$$P(T_{cy}) = \int_{T_{cy}}^{\infty} p(T_c) dT_c = \frac{\gamma}{100},$$
 – вираження для розрахунку показника $T_{z\gamma}$.

3. *Призначений термін зберігання* - календарна тривалість $T_{zп.}$ зберігання в заданих умовах, після закінчення якої застосування об'єкту за призначенням не допускається, незалежно від його стану.

4. *Встановлений термін збережності* - техніко-економічно обгрунтований (чи заданий) термін зберігання $T_{з.в.}$, що забезпечується конструкцією і експлуатацією в межах якого показники безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності об'єкту зберігаються тими ж, якими вони були у об'єкту до початку його зберігання і (чи) транспортування.

4. Показники ремонтпридатності

1. *Середній час відновлення* - математичне очікування часу відновлення об'єкту

$$T_e = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m T_{ek},$$

де T_{ek} - час відновлення k -ої відмови об'єкту; m - число відмов за заданий термін випробувань або експлуатації.

2. *Ймовірність відновлення працездатного стану* - ймовірність того, що об'єкт буде відновлений в заданий час t_v . Для більшості об'єктів ймовірність відновлення підкоряється експоненціальному закону розподілу

$$P_e(t) = e^{-\lambda \cdot t_e},$$

де λ - інтенсивність відмов (приймається постійною).

5. Комплексні показники

1. *Коефіцієнт готовності* K_r - ймовірність того, що об'єкт виявиться працездатним в довільний момент часу, окрім планованих періодів, впродовж яких застосування об'єкту за призначенням не передбачається. Необхідно вказувати інтервал експлуатації об'єкту, на якому слід оцінювати коефіцієнт готовності K_r :

$$K_r = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{\sum_{i=1}^N t_i + \sum_{i=1}^N \tau_i},$$

де t_i - сумарне напрацювання i -го об'єкту в заданому інтервалі експлуатації; τ_i - сумарний час відновлення i -го об'єкту за той же період експлуатації; N - число спостережуваних об'єктів в заданому інтервалі експлуатації.

Якщо на заданому інтервалі експлуатації визначені середнє значення напрацювання на відмову T_o і середній час відновлення об'єкту після відмови T_v , то

$$K_r = \frac{T_o}{T_o + T_v}.$$

2. *Коефіцієнт технічного використання* - відношення математичного очікування напрацювання об'єкту за деякий період експлуатації до суми математичних очікувань напрацювання, тривалості технічного обслуговування, планових ремонтів і непланових відновлень за той же період експлуатації

$$K_{m.u} = \frac{T_o}{T_o + \tau_{m.o} + \tau_p + T_v}.$$

3. *Коефіцієнт оперативної готовності* - вірогідність того, що об'єкт виявиться працездатним в довільний момент часу, окрім планованих періодів, впродовж яких застосування об'єкту за призначенням не передбачене, і, починаючи з цього моменту, об'єкт працюватиме безвідмовно в течії заданого інтервалу часу :

$$K_{i\bar{a}} = K_{\bar{a}} \cdot P(t_0; t_1),$$

де $P(t_0; t_1)$ - ймовірність безвідмовної роботи об'єкту в інтервалі $(t_0; t_1)$; t_0 - момент часу, з якого виникає необхідність застосування об'єкту за призначенням; t_1 - момент часу, коли застосування об'єкту за призначенням припиняється.

Коефіцієнт K_r визначають для періоду очікування роботи, передування моменту t_0 .

3. ПРИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

1. Для характеристики надійності складної системи використовується комплекс показників. Перелік використовуваних показників має бути досить

повним і доцільним. Немає необхідності використовувати увесь перелік показників.

2. Доцільно виділяти показники надійності головні і допоміжні. Для складних систем до головних показників надійності відносять комплексні показники.

3. Кількісні значення показників надійності задаються виходячи з суперечливих вимог забезпечення найвищої надійності і вимог виробництва.

4. Показник надійності кожного разу має бути чітко сформульований на зрозумілій для користувача мові.

3.1. Підвищення надійності

Підвищення надійності об'єктів досягається за рахунок конструкторсько-технологічних і експлуатаційних чинників. Основними конструкторсько-технологічними чинниками підвищення надійності є:

- застосування в конструкції надійніших компонентів
- оптимізація схем з'єднань компонентів з точки зору підвищення схемної надійності
- використання резервування найбільш відповідальних або найменш надійних компонентів
- суворе дотримання технології виготовлення, зборки і ремонтів.

Підвищення надійності технічних об'єктів на стадії експлуатації досягається за рахунок:

Дотримання умов і режимів експлуатації, зберігання, транспортування і ремонту об'єктів

- раннього виявлення і усунення несправностей,
- усунення причин виникнення відмов в процесі експлуатації
- зниження шкідливих наслідків відмов
- використання автоматизованих систем діагностики, що забезпечують безперервний моніторинг об'єктів.

Резервування

Резервуванням називається метод підвищення надійності об'єкту введенням надмірності, тобто введенням додаткових коштів понад мінімально необхідних для виконання об'єктом заданих функцій.

Резервними засобами можуть бути:

- резервні елементи, що включаються в структуру об'єкту;
- резервні можливості при виконанні елементом системи ряду функцій;
- резерв часу для виконання функції;
- резерв інформації для відновлення інформації у разі її спотворення.

Структурне резервування є найбільш поширеним методом. Для елементів з недостатньою надійністю вводяться резервні елементи, перемикання на які відбувається автоматично при відмові основного елемента. Резервний елемент

може бути включений постійно і виконувати функцію одночасно з основним елементом, а може підключатися тільки при відмові основного елемента.

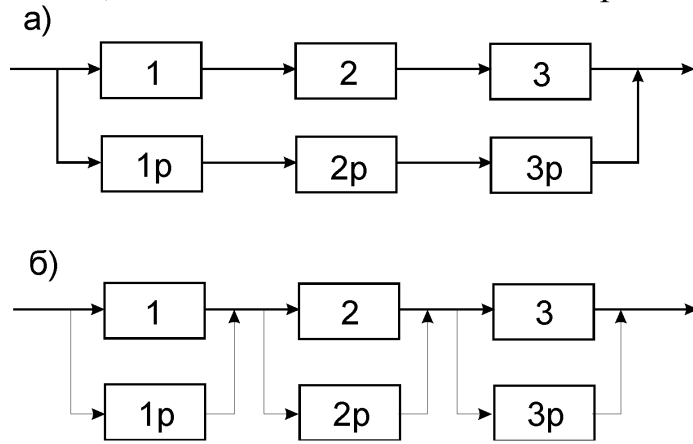


Рис. 12

Розрізняють різні способи резервування. При загальному резервуванні резервується об'єкт в цілому (рис. 12,а). При роздільному резервуванні резервуються елементи об'єкту окремо (рис. 12,б).

При загальному резервуванні використовується резервний об'єкт, який при відмові основного об'єкту продовжує виконувати необхідні функції. У більшості випадків вигідніше резервувати не увесь об'єкт, а тільки його найменш надійні компоненти. Тоді використовують роздільне резервування.

Постійне резервування - резервні елементи постійно включені. Динамічне резервування - резервування з перемиканням структури з метою обходу елемента, що відмовив.

Резервування заміщенням - резервний елемент включається замість основного при його відмові (рис. 13,а). Ковзаюче резервування - група основних елементів резервується одним або декількома резервними елементами, кожен з яких може замінити будь-який основний елемент (рис. 13,б), що відмовив.

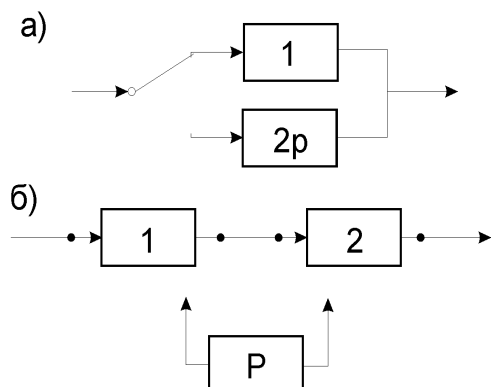


Рис. 13

Ковзаюче резервування вигідно тим, що, використовуючи обмежене число резервних компонентів, можна усунути значне число відмов. Проте цей вид резервування застосовний тільки у тому випадку, коли об'єкт складається з однотипних компонентів.

3.2. РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ ТЕОРІЇ ЙМОВІРНОСТІ

При аналізі і розрахунку показників надійності математичним методом необхідно знати функцію розподілу і функцію щільності розподілу вірогідності оцінюваного параметра. На практиці використовуються типові закони розподіли випадкової величини, до яких дуже близькі реальні розподіли показників надійності в часі.

Нормальний розподіл. Є основним в математичній статистиці. Воно утворюється, коли на випадкову величину діє велика кількість чинників. У теорії надійності нормальним розподілом описують напрацювання на відмову об'єктів внаслідок їх зносу і старіння.

Нормальний закон розподілу характеризується двома статистичними параметрами: математичним очікуванням μ і стандартним відхиленням σ . Для оцінки математичного очікування можна використовувати середнє арифметичне значення випадкової величини. Статистичні параметри нормального розподілу

$$\mu \approx \bar{t} = M(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i,$$

де \bar{t} - середнє арифметичне значення параметра (часовий параметр); t_i - вибіркові значення випадкової величини.

$$\sigma^2 = D(t) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2,$$

де σ - стандартне відхилення випадкової величини; $D(t)$ - дисперсія випадкової величини.

Характер нормального розподілу визначається функціями розподілу і вірогідності щільності випадкової величини. Функція розподілу випадкової величини при нормальному законі розподілу (розглядаємо часовий параметр, оскільки показники надійності є тимчасовими характеристиками)

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-\bar{t})^2}{2\sigma^2}} dt,$$

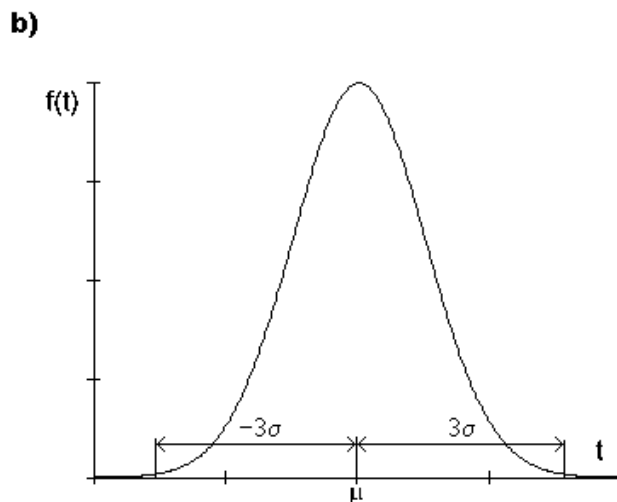
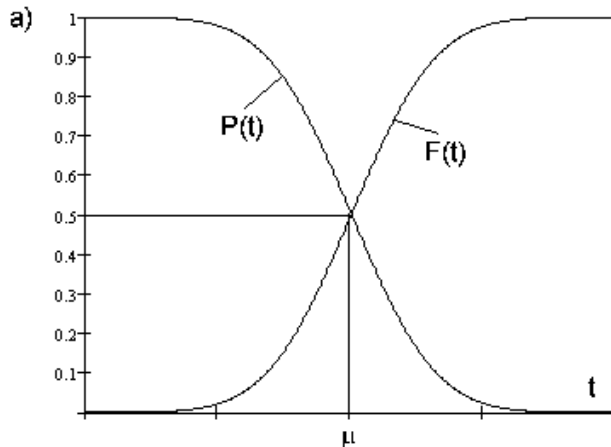
щільність ймовірності нормального закону розподілу

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}.$$

За допомогою нормального розподілу можна описати вірогідність відмови об'єкту внаслідок його старіння або зносу $Q(t)=F(t)$ залежно від напрацювання об'єкту t . Ймовірність безвідмовної роботи в цьому випадку

$$P(t) = 1 - F(t).$$

Залежність $P(t)$ називають також кривою (функцією) спаду ресурсів.



На рисунку 14,а показані графіки функції нормального розподілу і що відповідає їй кривій спаду ресурсів. Математичному очікуванню μ відповідає рівень вірогідності 0,5.

Загальний вигляд графіку щільності ймовірності при нормальному розподілі показаний на рисунку 14,б. У межах $\pm 3\sigma$ (відносно середнього значення) укладається 99,73 % значень випадкової величини. Ці межі часто використовуються для оцінки меж зміни значень випадкової величини при нормальному її розподілі.

Для виконання розрахунків з використанням нормального розподілу застосовують нормований нормальний розподіл (табульовану функцію Лапласа для ймовірності попадання нормованої нормальної величини X в інтервал $(0, x)$):

$$\Phi(x) = 0,5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx,$$

де $x = \frac{t - \bar{t}}{\sigma}$ - квантиль нормованого нормального розподілу.

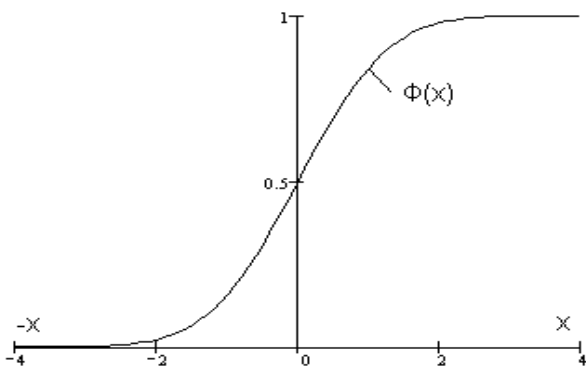


Рис. 15

На рисунку 15 показаний графік нормованого нормального розподілу. У таблицях Лапласа приводяться значення $\Phi(x)$ для позитивних квантилів x . Для негативних значень квантилів ймовірність рівна

$$\Phi(-x) = 1 - \Phi(x).$$

Нормований нормальний розподіл зручно використовувати при розрахунках як ймовірності випадкової величини, так і для розрахунку значення випадкової величини по її ймовірності.

Для обчислення ймовірності $P(t_1 \leq t \leq t_2)$ попадання випадкової величини t в інтервал $t_1 \div t_2$ з використанням функції Лапласа необхідно знайти

$$P(t_1 \leq t \leq t_2) = \Phi(x_2) - \Phi(x_1) = \Phi\left(\frac{t_2 - \bar{t}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{t_1 - \bar{t}}{\sigma}\right).$$

Якщо необхідно вирішити зворотне завдання: визначити напрацювання, що відповідає заданій ймовірності безвідмовної роботи, то використовують квантили нормального розподілу

$$t = \bar{t} + x \cdot \sigma,$$

де x - квантиль нормованого нормального розподілу, який залежить від необхідної ймовірності і приводиться в таблицях.

Нормальному розподілу підкоряється напрацювання на відмову багатьох відновлюваних і невідновних об'єктів.

Приклад 1. Напрацювання об'єкту повністю має нормальний розподіл з математичним очікуванням $\mu = 1000$ годин і стандартним відхиленням $\sigma = 200$ годин. Визначити ймовірність безвідмовної роботи об'єкту впродовж 400 годин.

Рішення:

Ймовірність безвідмовної роботи може бути обчислена через функцію розподілу

$$P(400) = 1 - F(400) = 1 - \frac{1}{200 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{400} e^{-\frac{(x-1000)^2}{2 \cdot 200^2}} dx.$$

Для розрахунку використовуємо табульований нормований нормальний розподіл $\Phi(x)$. Визначимо квантиль розподілу

$$x = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{400 - 1000}{200} = -3,$$

Для негативного значення квантилі $\Phi(-x) = 1 - \Phi(x)$. Ймовірність безвідмовної роботи рівна

$$P(T) = 1 - \Phi(-x) = \Phi(x).$$

Обчислюємо значення ймовірності, використовуючи табульовану функцію $\Phi(x)$:

$$P(400) = \Phi(3) = 0,99865.$$

Ймовірність безвідмовної роботи об'єкту впродовж 400 годин складає 99,865 %.

Приклад 2. Визначити ймовірність безвідмовної роботи впродовж 1500 годин, якщо його ресурс по зносу підкоряється нормальному закону розподілу з математичним очікуванням 3500 годин і стандартним відхиленням 1000 годин.

Рішення:

Обчислюємо квантиль нормованого нормального розподілу

$$x = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{1500 - 3500}{1000} = -2.$$

Ймовірність безвідмовної роботи

$$P(1500) = 1 - \Phi(-2) = \Phi(2) = 0,9772.$$

Ймовірність безвідмовної роботи впродовж 1500 година складає 97,72 %.

Приклад 3. Напрацювання об'єкту повністю підкоряється нормальному закону розподілу з параметрами $\mu = 1000$ годин і $\sigma = 200$ годин. Визначити гамма-процентний ресурс об'єкту при ймовірності 90 %.

Рішення:

Визначимо ймовірність відмови $\Phi(x) = 1 - P(x) = 1 - 0,9 = 0,1$. По таблиці нормованого нормального розподілу знаходимо квантиль, що відповідає ймовірності 0,1: $x = -1,281$. Використовуємо вираз для значення випадкової величини

$$T_{p\gamma} = \mu + x \cdot \sigma = 1000 - 1,281 \cdot 200 = 744,$$

отже, 90 % ресурс виробу рівний $T_{p90\%} = 744$ години.

Експоненціальний розподіл. Цей закон описує надійність роботи виробу в період його нормальної експлуатації, коли поступові відмови внаслідок зносу і старіння ще не проявляються і надійність характеризується раптовими відмовами. Ці відмови викликаються несприятливим поєднанням різних чинників і мають постійну інтенсивність λ . Експоненціальний розподіл часто називають основним законом надійності. Експоненціальний розподіл найбільш застосовується для оцінки безвідмовності об'єктів в період після прироблення і до прояву поступових відмов. Цей закон використовується також при рішенні завдань про обслуговування складних систем.

Експоненціальний розподіл має тільки один параметр λ і є частковим випадком розподілу Вейбулла і гамма-розподілу. Функція розподілу випадкової величини при експоненціальному законі розподілу

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t},$$

щільність ймовірності експоненціального розподілу

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t},$$

Функція розподілу описує вірогідність виникнення відмов об'єкту. Вірогідність безвідмовної роботи може бути визначена як

$$P(t) = 1 - F(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} = e^{-\lambda t},$$

де λ - інтенсивність відмов. При $\lambda \leq 0,1$ можна прийняти $P(t) \approx 1 - \lambda t$.

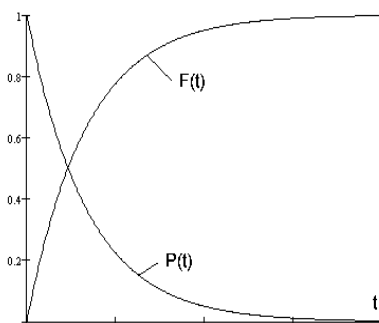


Рис. 16

Експоненціальний розподіл ілюструється графіками функції розподілу $F(t)$ і ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$, показаними на рисунку 16. Цей розподіл справедливий для позитивних значень випадкової величини.

Графіки щільності ймовірності випадкової величини при експоненціальному розподілі приведені на рисунку 17. Графік 1 побудований для параметра $\lambda = 0,0015$, а графік 2 - для $\lambda = 0,001$. Початкове значення на графіці рівне λ .

Математичне очікування і середнє квадратичне відхилення для експоненціального закону рівні між собою:

$$\mu \approx \bar{t} = \frac{1}{\lambda}, \quad \sigma = \frac{1}{\lambda}.$$

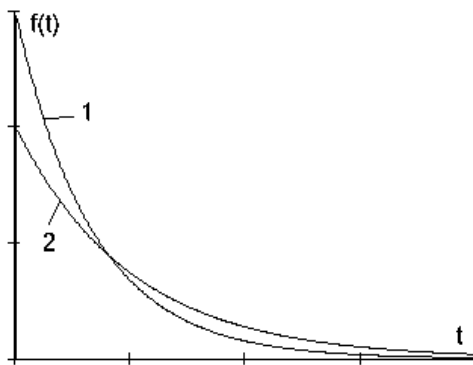


Рис. 17

Рівність $\mu = \sigma$ є істотною ознакою для віднесення експериментального розподілу до теоретичного експоненціального розподілу.

Розглянемо приклади використання закону експоненціального розподілу для розрахунків надійності.

Приклад 1. Напрацювання на відмову складної технічної системи підкоряється експоненціальному закону розподілу з параметром $\lambda = 15 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$. Визначити ймовірність безвідмовної роботи системи впродовж 100 годин і знайти середнє значення напрацювання на відмову.

Рішення:

Визначимо ймовірність безвідмовної роботи при напрацюванні T через функцію розподілу експоненціального закону

$$P(T) = 1 - F(x) = 1 - e^{-\lambda \cdot x}.$$

Після підстановки конкретних значень отримаємо

$$P(100) = 1 - e^{-15 \cdot 10^{-5} \cdot 100} = 0,985.$$

Отже, ймовірність напрацювання 100 годин складає 98,5%. Середнє значення напрацювання може бути визначене через параметр розподілу λ

$$T_o = \mu = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{15 \cdot 10^{-5}} = 6677 \text{ год}$$

Приклад 2. Інтенсивність відмов електричного елементу дорівнює $\lambda=10^{-6}$ 1/год. Відмови підкоряються експоненціальному закону розподілу випадкової величини. Знайти ймовірність безвідмовної роботи елементу впродовж 10000 годин.

Рішення:

Використовуємо формулу для вірогідності безвідмовної роботи при експоненціальному розподілі

$$P(10000) = P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-10^{-6} \cdot 10000} = 0,99,$$

отже, ймовірність безвідмовної роботи елементу $P(10000) = 99 \%$.

Розподіл Вейбулла. Цей розподіл застосовують при описі надійності складних технічних систем.

Розподіл Вейбулла є двохпараметричним універсальним законом, оскільки при зміні параметрів воно в межі може описувати нормальний розподіл, логарифмічно нормальний розподіл, експоненціальний розподіл та ін. Розподіл Вейбулла характеризується параметром масштабу λ і параметром форми α .

Функція розподілу для закону Вейбулла має вигляд

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t^\alpha},$$

функція надійності

$$P(t) = 1 - F(t) = e^{-\lambda t^\alpha},$$

де α - параметр форми кривої розподілу; λ – параметр масштабу.

Щільність ймовірності розподілу Вейбулла виражається залежністю

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \alpha \lambda t^{\alpha-1} e^{-\lambda t^\alpha}.$$

Якщо для закону Вейбулла прийнятий $\alpha=1$, то отримаємо експоненціальний розподіл, який є частковим випадком розподілу Вейбулла.

Графіки функцій розподілу $F(t)$ і ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ показані на рисунку 18. При збільшенні параметра форми α крива наближається до нормального розподілу.

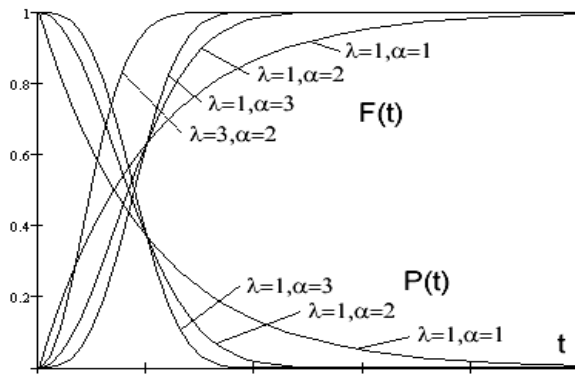


Рис. 18

Графіки щільності ймовірності розподілу Вейбулла приведені на рисунку 19. Вплив параметра форми на вигляд кривих в цьому випадку виражені ще різкіше. При збільшенні параметра форми кривої від експоненціальної залежності прагне до характерної для нормального розподілу дзвоноподібної кривої.

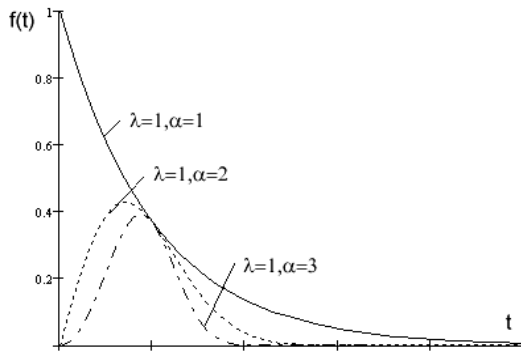


Рис. 19

Вибором параметрів масштабу λ і форми α можна в широких межах змінювати форму кривої, що дозволяє використовувати закон Вейбулла для самих різних випадків математичного опису надійності багатьох об'єктів.

Статистичні параметри розподілу Вейбулла обчислюються через параметри α і λ . Математичне очікування для закону Вейбулла

$$\mu = M(t) = \frac{\Gamma(1 + \frac{1}{\alpha})}{\lambda^{\frac{1}{\alpha}}},$$

стандартне відхилення

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Gamma(1 + \frac{2}{\alpha}) - \Gamma^2(1 + \frac{1}{\alpha})}{\lambda^{\frac{2}{\alpha}}}},$$

де $\Gamma(\alpha)$ - гамма функція параметра α .

Розглянемо приклад використання розподілу Вейбулла для розрахунку надійності.

Приклад 1. Визначити ймовірності безвідмовної роботи впродовж 1000 години, якщо її напрацювання на відмову описується розподілом Вейбулла з параметрами $\alpha = 2$ і $\lambda = 6,667 \cdot 10^{-7}$.

Рішення:

Ймовірність безвідмовної роботи рівна

$$P(t) = 1 - F(t) = e^{-\lambda t^\alpha} = e^{-6,667 \cdot 10^{-7} \cdot 1000^2} = 0,513.$$

Отже, ймовірність безвідмовної роботи впродовж 1000 години складає 51,3 %.

Приклад 2. Випадкове напрацювання виробу повністю розподілене згідно із законом Вейбулла з параметрами $\alpha = 2$, $\lambda = 10^{-6}$. Знайти ймовірність безвідмовної роботи виробу при заданому напрацюванні $T_\gamma = 300$ год.

Рішення:

Використовуємо формулу для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи при розподілі Вейбулла

$$P(300) = e^{-\lambda T_\gamma^\alpha} = e^{-10^{-6} \cdot 300^2} = e^{-10^{-6} \cdot 9 \cdot 10^4} = 0,9139.$$

Отже, ймовірність безвідмовної роботи впродовж 300 год складає 91,39 %.

Гамма-розподіл. Розподіл характеризується двома параметрами: λ - параметр масштабу і α - параметр форми. Воно має обмеження з одного боку ($0 \leq t < \infty$). Якщо параметр форми кривої α - ціле число, то гамма-розподіл списує час, необхідні для появи подій (наприклад, відмов) за умови, що вони незалежні і з'являються з постійною інтенсивністю λ . Цей розподіл описує напрацювання системи з резервуванням, час відновлення, а також розподіл поступових відмов внаслідок зносу.

Криві розподіли змінюють свою форму в широких межах при зміні параметрів λ і α . Функція гамма-розподілу

$$F(t) = \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_0^t t^{\alpha-1} e^{-\lambda t} dt, F(t) \equiv 0 \text{ при } t < 0.$$

Щільність ймовірності гамма-розподілу ($\lambda > 0, \alpha > 0$)

$$f(t) = \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} t^{\alpha-1} e^{-\lambda t} \quad \text{при } t \geq 0,$$

$$f(t) \equiv 0 \quad \text{при } t < 0$$

де $\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt$ - гамма-функція.

Ймовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = 1 - F(t) = 1 - \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_0^t t^{\alpha-1} e^{-\lambda t} dt.$$

Графіки для функцій розподілу $F(t)$ і ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ приведені на рисунку 20. Характер залежностей змінюється в широких межах при зміні параметрів розподілу.

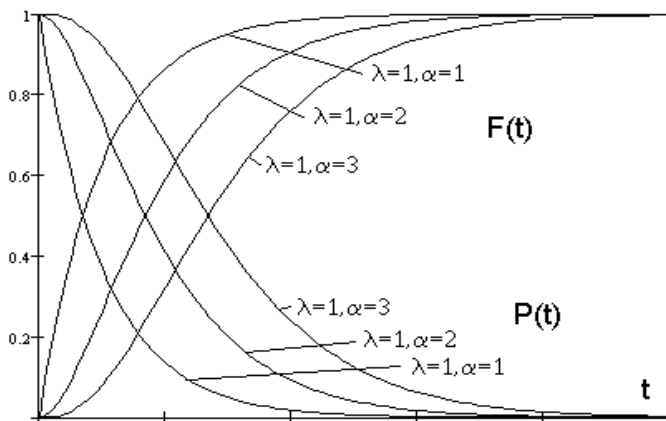


Рис. 20

Графіки для щільності ймовірності гамма-розподілу показані на рисунку 21.

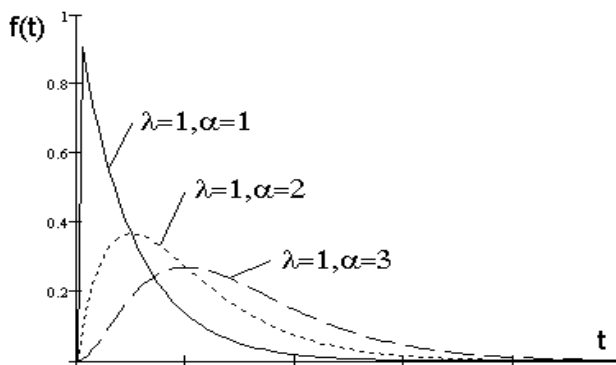


Рис. 21

Математичне сподівання і дисперсія для гамма-розподілу відповідно рівні

$$\mu = M(t) = \frac{\alpha}{\lambda} \quad \text{і} \quad \sigma^2 = D(t) = \frac{\alpha}{\lambda^2}.$$

Приклад. Визначити ймовірність безвідмовної роботи виробу впродовж 1000 год, якщо напрацювання повністю цього виробу підкоряється гамма-розподілу з параметрами $\alpha = 4$ і $\lambda = 10^{-3}$.

Рішення:

Використовуємо вираз для ймовірності безвідмовної роботи

$$P(t) = 1 - F(t) = 1 - \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_0^t t^{\alpha-1} e^{-\lambda t} dt.$$

Для обчислення виразу можна використовувати таблиці гамма-розподілу або комп'ютерні програми. Нижче показаний Mathcad-документ для обчислення ймовірності :

$$\alpha := 4 \quad \lambda := 10^{-3} \quad t := 1000$$

$$z := \int_0^t t^{\alpha-1} \cdot e^{-\lambda \cdot t} dt \quad y := 1 - \frac{z \cdot \lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \quad y = 0,981$$

В результаті обчислення отримаємо $P(1000) = 0,981 = 98,1 \%$.

Розподіл Пуассона. Використовується для дискретних випадкових величин. Описує появу раптових відмов в складних системах і розподіл часу відновлення, число відмов однотипного устаткування за певний інтервал часу і тому подібне

Функція розподілу Пуассона для цілочисельного аргументу $m = 0, 1, 2, \dots$

$$F(t) = \sum_{m=0}^{\infty} P_m(t) = \sum_{m \leq t} \frac{\lambda^m}{m!} e^{-\lambda} \quad \text{при } t > 0.$$

$$F(t) \equiv 0. \quad \text{при } t < 0.$$

Щільність ймовірності дискретного розподілу

$$P_m(t) = \frac{\lambda^m}{m!} e^{-\lambda},$$

де t - фіксований інтервал часу, $\lambda > 0$. Чим менше значення λ , тим асиметричніший розподіл. Приклад графіку для розподілу Пуассона показаний на рисунку 22. Графік побудований для $\lambda = 0,5$.

Сума ймовірності

$$\sum_{m=0}^{\infty} P_m(t) = 1.$$

Математичне сподівання і дисперсія розподілу Пуассона

$$\mu = M(t) = \lambda, \quad \sigma^2 = D(t) = \lambda.$$

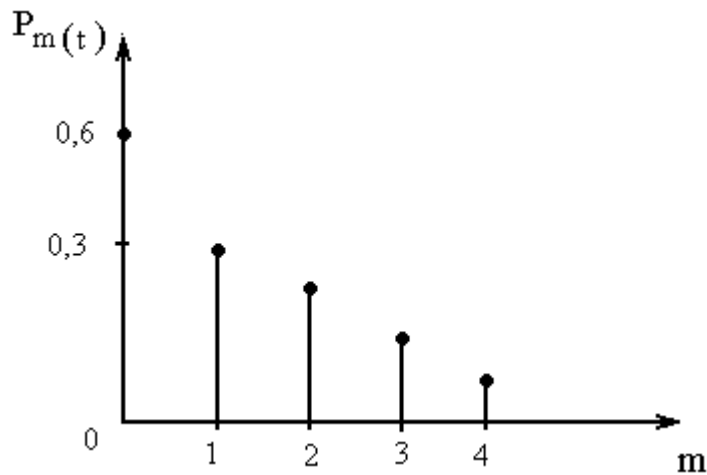


Рис. 22

4. СТРАТЕГІЇ І СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ

4.1. ЗАГАЛЬНІ СТАНИ

На початковому етапі створення продукту в процесі проектування можна оцінити можливість виконання заданих вимог по надійності, заздалегідь визначивши вірогідні характеристики надійності, обґрунтувавши структурну схему виробу і необхідний рівень надійності комплектуючих елементів агрегатів і вузлів.

В процесі виконання розрахунків і аналізу надійності оцінюється ймовірність появи двох наступних подій :

- події A , створюваного виробу, що полягає у безвідмовній роботі, за певних умов експлуатації і заданої тривалості роботи;
- протилежної події \bar{A} (не A), що виражається в появі відмови виробу при його роботі в заданих умовах експлуатації.

Для правильного проведення розрахунків і аналізу велике значення мають чіткі формулювання відмови виробу. Під відмовою слід розуміти не лише явні поломки, але також і порушення працездатності об'єкту, у тому числі і погіршення точності характеристик.

Ознаки відмов можуть бути параметричні, функціональні, прочнісні і експлуатаційні. Параметричні ознаки пов'язані з погіршенням параметрів об'єкту, наприклад, нестабільність робочих параметрів двигуна або їх погіршення понад допустимі значення.

Функціональні ознаки пов'язані з виконанням функцій об'єкту (погіршення функцій або неналежне виконання і невиконання деяких з них), наприклад, уповільнений вихід двигуна на робочий режим, нестійкий запуск, нестабільна прийомність.

Прочнісні ознаки пов'язані з напруженістю динамічних і теплових режимів об'єкту, наприклад підвищений рівень вібрацій, перегрівши.

Експлуатаційні ознаки пов'язані із спостережуваними змінами в процесі експлуатації об'єкту.

Для розрахунку і аналізу показників надійності різних складних об'єктів, що складаються зі значного числа окремих компонентів використовуються методи структурних схем, логічних схем і схемно-функціональний метод.

4.2. МЕТОД СТРУКТУРНИХ СХЕМ

Даний об'єкт представляється у вигляді розрахункової схеми, що складається з окремих функціональних елементів. Для складання розрахункової схеми конструкція об'єкту або його принципова схема розбивається на окремі функціональні елементи, які взаємодіють один з одним.

При розбитті об'єкту на елементи використовуються наступні правила.

1. Кожен елемент повинен виконувати цілком певні функції і формувати деякий вихідний параметр за умови правильного вступу до нього вхідного параметра або сигналу.

2. Усі елементи системи мають бути взаємозв'язаними при виконанні кожним елементом заданої йому функції.

3. Кожен елемент повинен мати цілком певні кількісні характеристики надійності, отримані з експлуатаційної статистики або за експериментальними даними.

В результаті такого розбиття конструкція або принципова схема об'єкту замінюється розрахунковою схемою, що складається із з'єднань ланок. Кожна ланка схеми відповідає певному функціональному елементу об'єкту і характеризується певним показником надійності, значення якого відоме. Ланка може розглядатися як опис події пов'язаного з відмовою відповідного функціонального елементу і події, що характеризується вірогідністю. За показниками надійності що становлять схему ланок вимагається визначити очікуваний показник надійності усієї схеми з'єднань.

При використанні структурного методу необхідно, щоб дотримувалися наступні правила:

1. Усі елементи об'єкту розглядаються як одні відмови (тобто для кожного елементу враховується тільки один вид відмов). Якщо хоч би один елемент схильний до двох і більше видів відмов, то метод структурних схем для розрахунку надійності об'єкту непридатний.

2. Об'єкт представляється у вигляді єдиної структурної схеми, що складається з суми послідовних і паралельних з'єднань ланок. Події, зображені у вигляді ланок структурної схеми, мають бути незалежними.

3. У структурній схемі не повинно бути подій, серед яких одно подія є запереченням іншого. Одно і те ж подія повинна представлятися у вигляді однієї ланки.

Основою структурних схем є умовні способи послідовних і паралельних з'єднань ланок, що виражають події безвідмовності роботи окремих елементів системи. Ці види з'єднань в розрахунковій схемі не завжди співпадають з монтажними позначеннями з'єднань на принципових схемах.

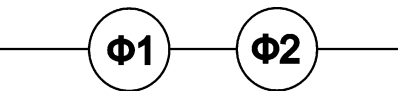
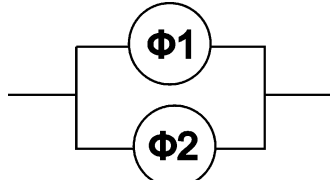
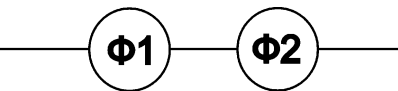
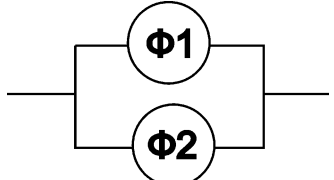
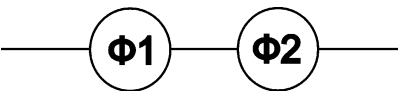
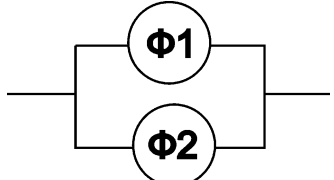
Структурна схема складається для певного виду відмови. У структурній схемі елемент зображається ланкою. Ланки з'єднуються послідовно або паралельно.

Послідовним з'єднанням називається сукупність ланок, для яких необхідною і достатньою умовою відмови є відмова хоч би однієї ланки.

Паралельним з'єднанням називається сукупність ланок, працездатність якої порушується тільки за умови відмови усіх ланок.

Приклад складання розрахункової схеми з'єднання двох фільтрів при обліку різних видів відмов наведений в таблиці 2.

Таблиця 2

Монтажна схема	Структурна (розрахункова) схема	
	Відмова по розриву сітки, що фільтрує	Відмова по засміченню сітки, що фільтрує
		
		

Структурна схема істотно залежить від характеру відмов, які враховуються для елементів принципової схеми. При виборі структурної схеми необхідно враховувати співвідношення вірогідності відмов різного виду. У свою чергу складання структури дозволяє уточнити принципову схему з'єднання елементів з точки зору підвищення її безвідмовності.

Для кожної ланки структурної схеми мають бути відомі показники надійності. В першу чергу вірогідність безвідмовної роботи P_i і ймовірність

відмови Q_i . За цими даними розраховуються відповідні показники надійності для усїєї системи в цілому.

Для послїдовного з'єднання ймовірність безвідмовної роботи визначається добутком ймовірностей безвідмовної роботи, що становлять схему елементів

$$P_{\text{посл}} = \prod_{i=1}^n P_i,$$

ймовірність відмови для послїдовного з'єднання елементів

$$Q_{\text{посл}} = 1 - \prod_{i=1}^n P_i.$$

При послїдовному з'єднанні двох елементів A_1 і A_2 ймовірність безвідмовної роботи з'єднання

$$P_2 = P(A_1) P(A_2),$$

де $P(A_1)$, $P(A_2)$ - ймовірність безвідмовної роботи елементів A_1 і A_2 .

Ймовірність відмови послїдовного з'єднання двох елементів

$$Q_2 = Q_1 + Q_2 - Q_1 Q_2,$$

де Q_1 , Q_2 - ймовірність відмов елементів A_1 і A_2 .

Для паралельного з'єднання елементів визначається ймовірність відмови як добуток ймовірностей відмови, що становлять схему елементів

$$Q_{\text{пар}} = \prod_{i=1}^n Q_i,$$

де Q_i - ймовірність відмови i -го елемента.

Ймовірність безвідмовної роботи паралельного з'єднання елементів

$$P_{\text{пар}} = 1 - Q_{\text{пар}}.$$

У тому випадку, коли відмови підкоряються експоненціальному закону з інтенсивністю відмов (λ), можна використовувати наступні формули для розрахунку показників надійності послїдовного і паралельного з'єднання. Для послїдовного з'єднання

$$P_{\text{посл}} = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t}, \quad Q_{\text{посл}} = 1 - e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t}.$$

У тому випадку, коли $\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t \ll 1$ $P_{\text{посл}} \approx 1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t$, $Q_{\text{посл}} \approx \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t$.

Для паралельного з'єднання

$$P_{нар} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t}), \quad Q_{нар} = \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t}).$$

Приклад. Розглянемо структурну схему з'єднання чотирьох елементів, приведена на рисунку 23, і визначимо ймовірність безвідмовної роботи цієї системи. Кожен елемент в структурній схемі описаний ланкою, що характеризується ймовірністю безвідмовної роботи P_i .

Рішення

Для паралельного з'єднання ланок P2 і P3 визначаємо ймовірність відмови і потім ймовірність безвідмовної роботи

$$Q_{23} = (1 - P_2)(1 - P_3), \quad P_{23} = 1 - Q_{23} = 1 - (1 - P_2)(1 - P_3).$$

Тепер опишемо послідовне з'єднання трьох ланок P1, P23 і P4 :

$$P = P_1 \cdot (1 - (1 - P_2)(1 - P_3)) \cdot P_4.$$

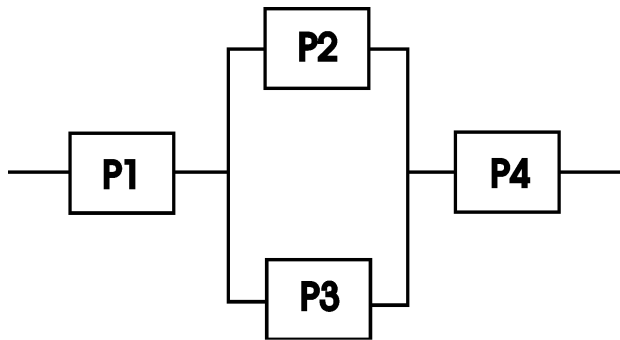


Рис. 23

Нехай для кожного елемента відома ймовірність безвідмовної роботи $P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = 0,9$;

тоді

$$P = 0,9 \cdot (1 - (1 - 0,9)(1 - 0,9)) \cdot 0,9 = 0,80.$$

Отже, ймовірність безвідмовної роботи даної структури складає 80 %.

4.3. МЕТОД ЛОГІЧНИХ СХЕМ

Цей метод накладає менше обмежень на можливості застосування. Зокрема, допустимі ланки із залежними подіями, повторення однакових ланок.

Аналіз схемної надійності методом логічних схем виконується в наступному порядку:

а) формуються умови безвідмовної роботи системи залежно від поєднання відмов елементів системи;

б) будується графічна схема умов безвідмовної роботи системи з ланцюжком логічних зв'язків працездатності системи і можливих відмов окремих ланок;

в) складаються логічні формули для подій безвідмовної роботи з використанням алгебри логіки;

г) визначаються кількісні показники надійності елементів;

д) розраховується ймовірність безвідмовної роботи системи.

У основі визначення надійності за допомогою логічних схем лежить використання алгебра логіки (булевої логіки). Алгебра логіки оперує з логічними змінними, які можуть набувати два значення: "істина" і "брехня". Логічні значення логічної змінної прийнято означати цифровими символами "1" і "0".

Основні логічні операції (булеві операції) над логічними змінними (змінні A1 і A2) :

Операція "І" (логічне множення або кон'юнкція):

$$L = A_1 \cdot A_2.$$

Логічна змінна L має значення "істина", якщо A1 і A2 мають значення "істина" (L=1, якщо A1=1 "І" A2=1).

Операція "АБО" (логічне додавання або диз'юнкція):

$$L = A_1 + A_2.$$

Логічна змінна L має значення "істина", якщо це значення має хоч би одна зі змінних A1 або A2 (L=1, якщо A1=1 "АБО" A2=1).

Операція "НЕ" (інверсія або заперечення):

$$L = \bar{A}.$$

Логічна змінна L має значення протилежне до значення логічної змінної A.

Дії алгебри логіки над логічними змінними описуються логічними виразами або логічними формулами. Приклад логічної формули для логічної змінної L:

$$L = A_1 \cdot A_2 + A_3 \cdot A_4.$$

Логічна змінна L матиме значення "істина" у тому випадку, якщо значення "істина" одночасно мають змінні A1 і A2 або змінні A3 і A4. Для опису логічних змінних часто використовуються таблиці істинності, приклад якої для змінної L наведений нижче.

A1	A2	A3	A4	L
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
0	1	0	0	0
1	1	0	0	1

0	0	1	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	1	1
1	1	1	1	1

У теорії надійності логічними змінними описуються події, пов'язані з відмовою об'єкту \bar{A} або з його безвідмовною роботою A . Розглянемо в якості прикладу систему, що складається з двох агрегатів 1 і 2 і двох фільтрів $\Phi 1$ і $\Phi 2$, сполучених у відповідність з монтажною схемою на рис. 24.

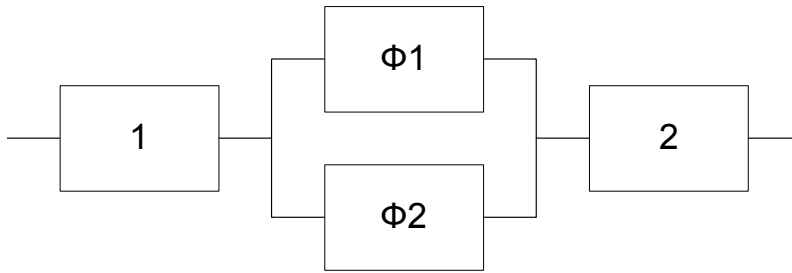


Рис. 24

Нехай A - подія безвідмовної роботи агрегату або фільтра. Для фільтрів врахуємо відмови у вигляді засмічення сітки, що фільтрує, і розриву сітки. Тоді можна сформулювати умову безвідмовної роботи даної системи :

система буде працездатна, якщо справні агрегати і фільтри, або якщо засмітиться тільки фільтр $\Phi 1$, або якщо засмітиться тільки фільтр $\Phi 2$ за умови працездатності інших елементів. Відмова по розриву сіток недопустима і викликає відмову системи.

Ця умова представляється у вигляді логічної схеми, яка зображена на рисунку 25. Кожен елемент в схемі представлений ланкою, якій присвоєний опис у вигляді події безвідмовної роботи A або відмови \bar{A} . Горизонтальна гілка схеми відповідає умові "якщо". Паралельні гілки відповідають умові "або". Послідовне з'єднання ланок гілки відповідає умові "і".

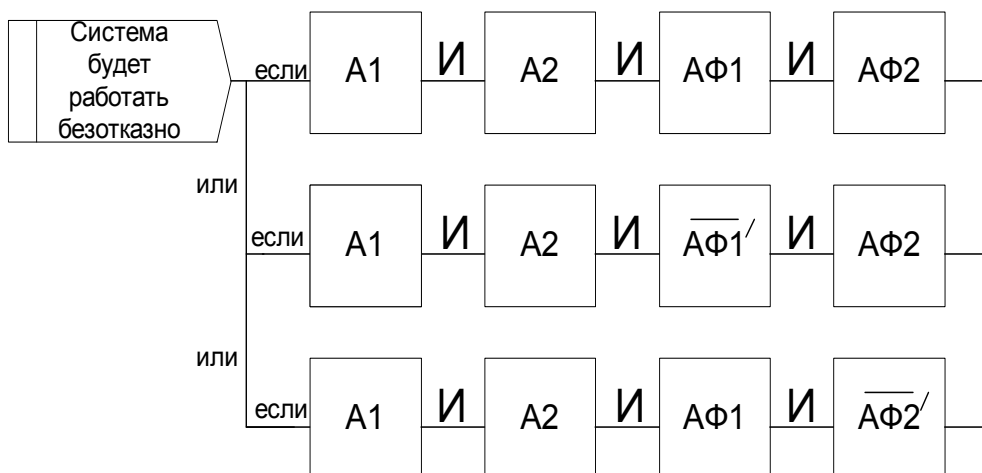


Рис. 25

Логічний вираз для працездатного стану системи S :

$$S = A_1 \cdot A_2 \cdot A_{\phi 1} \cdot A_{\phi 2} + A_1 \cdot A_2 \cdot \overline{A_{\phi 1}} + A_1 \cdot A_2 \cdot A_{\phi 1} \cdot \overline{A_{\phi 2}},$$

де значення "штрих" привласнюється відмові фільтру по засміченню сітки.

Для кількісної оцінки надійності події замінюються їх ймовірністю. В результаті ймовірність безвідмовної роботи системи рівна

$$P_{сист} = P_1 \cdot P_2 \cdot (P_{\phi 1} \cdot P_{\phi 2} + P_{\phi 2} \cdot Q'_{\phi 1} + P_{\phi 1} \cdot Q'_{\phi 2}),$$

де P1, P2 - ймовірність безвідмовної роботи агрегатів 1 і 2;

$P_{\phi 1}, P_{\phi 2}$ – ймовірність безвідмовної роботи фільтрів;

$Q'_{\phi 1}, Q'_{\phi 2}$ – ймовірність відмови фільтрів по засміченню сітки;

$Q''_{\phi 1}, Q''_{\phi 2}$ – ймовірність відмови фільтрів по розриву сітки.

$$P_{\phi} = 1 - Q_{\phi} = 1 - Q'_{\phi} - Q''_{\phi}.$$

Підставляючи у вираження для $P_{сист}$ конкретні значення ймовірності безвідмовної роботи і ймовірності відмов елементів схеми, можна вичислити ймовірність безвідмовної роботи усієї системи. Для логічних операцій "І" ймовірності перемножуються, а для операцій "АБО" - складаються.

4.4. СХЕМНО-ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ МЕТОД

Цей метод використовується для складних систем, коли застосування перших двох методів неможливе. Суть методу полягає в тому, що робиться аналіз надійності роботи виробу з оцінкою ймовірності безвідмовного виконання функцій в умовах прояву різних відмов елементів. Для оцінки надійності будується розгорнута таблиця можливих несумісних подій для усіх без виключення елементів виробу з характеристикою їх впливу на виконувані функції. По таблиці оцінюється ймовірність забезпечення нормальної роботи виробу.

Функціональна таблиця для об'єкту

Функціональна група	Елемент	Відмови	Функції об'єкту				Примітки
			1	2	...	S	
Група 1	Агрегат 1	Відмова 1	0	0	...	0	
		Відмова 2	0	0	...	0	

	Агрегат 2	Відмова 1	1	0	...	0	
		Відмова 2	0	0	...	1	
		Відмова 3	0	0	...	0	

Послідовність застосування методу :

- 1) виділення функціональних елементів і визначення елементарних функцій об'єкту;
- 2) визначення можливих відмов;
- 3) визначення впливу відмов на виконання функцій;
- 4) складання таблиці можливих станів елементів і ймовірності виконання заданих функцій;
- 5) складання рівнянь алгебри для оцінки ймовірності;
- 6) визначення характеристик надійності для елементів;
- 7) розрахунок надійності об'єкту.

При складанні таблиці функцій об'єкту і її наступному аналізі використовується наступна інформація:

- n - кількість функціональних груп;
- m - кількість елементів (агрегатів) в групі;
- S - кількість функцій об'єкту;
- k - кількість можливих відмов;
- 1 – символ того, що відмова не впливає на виконання функції;
- 0 – символ того, що відмова веде до невиконання функції.

Для кожної функції (стовпець i) визначається ймовірність її виконання за час t :

$$P_i(t) = \prod_{j=1}^m P_j \left(1 + \frac{\sum_{v=1}^k q_{jv1}}{P_j} \right),$$

де P_j - ймовірність безвідмовної роботи j - го агрегату; q_{jv1} - ймовірність відмови j -го агрегату по відмові v за час t при виконанні функції i .

Підсумовування робиться тільки по тих рядках видів відмов (1, 2, . . . v . k), де для функції i проставлена одиниця, тобто для відмов, що не впливають на виконання функції.