

1. Поняття і визначення теорії надійності.

1.1. Теорія надійності як наука

Теорія надійності – наука, яка вивчає закономірності відмов технічних систем. Основними об'єктами вивчення є:

- критерії надійності технічних систем різного призначення;
- методи аналізу надійності в процесі проектування і експлуатації технічних систем;
- методи синтезу технічних систем;
- шляхи забезпечення і підвищення надійності техніки;
- наукові методи експлуатації техніки, що забезпечують її високу надійність.

Особливості цієї дисципліни такі:

- теорія надійності - загальнотехнічна дисципліна;
- математичне моделювання - основа вивчення дисципліни;
- комплексний характер;
- висока значимість і глибокий зв'язок з іншими технічними предметами;
- важкість моделювання і вивчення процесів, що протікають в складних технічних системах (в сенсі їх надійності).

Розглянемо більш докладно ці особливості.

Процеси, які відбуваються в складних технічних системах, в сенсі їх надійності, закономірні і не залежать від виду техніки. Це дає можливість їх вивчення загальними для будь-яких технічних засобів методами. Розроблені в теорії надійності методи аналізу, синтезу, способи підвищення надійності і наукові методи експлуатації техніки є загальними для будь-яких технічних систем. Цим визначається загальнотехнічний характер теорії надійності і її науковість. Особливості окремих видів техніки вивчаються в спеціальних технічних дисциплінах, в яких на підставі загальної теорії вирішуються конкретні завдання надійності.

Математичне моделювання є основою вивчення функціонування складних систем в сенсі їх надійності. При цьому у дослідника виникають

значні труднощі в зв'язку з наступними особливостями виконуваних завдань:

- випадковий характер явищ;
- багатокритеріальність;
- висока розмірність рівнянь;
- багатоваріантність;
- необхідність забезпечення високої точності.

Ці особливості вимагають застосування в процесі моделювання об'ємного математичного апарату: теорії ймовірностей і математичної статистики, вирішення алгебраїчних, диференціальних, інтегральних рівнянь, теорії графів, інтегральних перетворень, обчислювальної математики, методів оптимізації, статистичного моделювання та ін.

Надійність є найважливішим параметром будь-якої технічної системи. Вона багато в чому визначає такі характеристики системи, як якість, ефективність, безпеку, живучість, ризик, які вивчаються в спеціальних предметах. Глибокий зв'язок з цими предметами - одна особливостей теорії надійності як науки.

Теорія надійності - дисципліна комплексна. В її склад входять розділи, які можуть бути самостійними дисциплінами. До них відносяться:

- математична теорія надійності;
- фізична теорія надійності ("фізика відмов");
- прогнозування;
- діагностика;
- теорія контролю;
- теорія відновлення (управління запасами).

Надійність техніки залежить від багатьох чинників: критерії та показники надійності встановлюються в залежності від виду техніки і її застосування; забезпечення надійності в процесі експлуатації визначається дисципліною обслуговування, кваліфікацією обслуговуючого персоналу, економічними міркуваннями. Звідси ясно, що техніка з позиції надійності – це об'єкт системного аналізу.

Будь-яка наука розвивається з основних понять і визначень. В теорії надійності такими поняттями є "надійність" і "відмова". Сформуємо ці поняття і дамо їм наукові визначення.

1.2. Поняття «надійність» та «відмова»

На даний час в літературі можна знайти багато означень поняття „надійність” як базового поняття теорії надійності.

За означенням, наведеним в деяких джерелах, *надійність* – властивість об’єкта виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, що відповідають заданим режимам і умовам використання, технічного обслуговування, ремонту, зберігання і транспортування. Таким чином, надійність є внутрішньою властивістю системи, закладеною при її створенні, яка проявляється *в часі* при функціонуванні та експлуатації.

В інших надійністю називається властивість технічного об’єкту зберігати свої характеристики (параметри) у визначених межах при даних умовах експлуатації.

З цього означення випливає, що надійність – поняття об’єктивне, незалежне від нашої свідомості.

В літературі і навіть в деяких стандартах наводяться означення поняття „надійність”, які суттєво відрізняються за змістом від сформульованого вище. В деяких джерелах це поняття ототожнюється з його чисельною оцінкою: „надійністю називається ймовірність безвідмовної роботи системи протягом часу t ”. Числові показники не можуть бути визначеннями фізичних явищ, подібні твердження помилкові.

Нарешті, в деяких авторів під надійністю розуміється здатність технічного пристрою зберігати свої початкові технічні якості в процесі експлуатації.

Згідно ГОСТ 27.002-89 надійність – це властивість об’єкту зберігати в часі і у встановлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання і транспортування. Це означення є чинним на даний час.

Також потрібно виділити поняття розрахунку та прогнозування надійності. Розрахунок надійності – процедура визначення значень показників надійності об’єкта з використанням методів, які базуються на їх обчисленні на основі довідкових даних про надійність елементів об’єкта, за даними про надійність об’єктів-аналогів, даними про

властивості матеріалів та іншої інформації, наявної на момент розрахунку. Прогнозування надійності – частковий випадок розрахунку надійності об'єкту на основі статистичних моделей, які віддзеркалюють тенденції зміни надійності об'єктів-аналогів і/або експертних оцінок.

Як видно з наведеного, існують різні формулювання поняття „надійність”, але всі вони сходяться в одному – надійність є тісно пов'язана з процесом експлуатації та з часовими характеристиками.

Крім того, в багатьох дослідженнях окремо виділяють поняття надійності програмного забезпечення (ПЗ), тому, що при застосуванні понять надійності до програмних засобів варто враховувати особливості і відмінності цих об'єктів від традиційних технічних систем, для яких спочатку розроблялася теорія надійності:

- не для всіх видів програм можна застосувати поняття і методи теорії надійності – їх можна використовувати тільки до програмних засобів, що функціонують у реальному часі і безпосередньо взаємодіють із зовнішнім середовищем;
- при розробленні та оцінюванні якості програмних компонентів до них не можна застосувати поняття надійності функціонування, якщо при обробці інформації вони не використовують значення реального часу і не взаємодіють безпосередньо з зовнішнім середовищем;
- домінуючими факторами, що визначають надійність програм, є дефекти і помилки при проектуванні і розробці, а фізичне руйнування програмних компонентів при зовнішніх впливах має другорядне значення;
- відносно рідкісне руйнування програмних компонентів і необхідність їхньої фізичної заміни, приводить до принципової зміни понять дефекту і відмови програм і до поділу їх за тривалістю відновлення відносно деякого припустимого часу простою для функціонування інформаційної системи;
- для підвищення надійності програмних комплексів особливе значення мають методи автоматичного скорочення тривалості відновлення і перетворення відмов у

короткочасні збої, шляхом введення в програмні засоби часової, програмної й інформаційної надлишковості;

- непередбачуваність місця, часу і ймовірності прояву дефектів і помилок, а також їхнє нечасте виявлення при реальній експлуатації досить надійних програмних засобів, не дає можливості ефективно використовувати традиційні методи апіорного розрахунку показників надійності складних систем, орієнтовані на стабільні, вимірювані значення надійності складових компонент;
- традиційні методи форсованих випробувань надійності систем шляхом фізичного впливу на їхні компоненти не можна застосувати до програмних засобів, їх варто замінити на методи форсованого впливу інформаційних потоків зовнішнього середовища.

З урахуванням цих особливостей застосування основних понять теорії надійності складних систем до життєвого циклу і оцінювання якості комплексів програм можна адаптувати і розвивати цю теорію в особливому напрямку - надійність програмних засобів. Предметом вивчення теорії надійності комплексів програм (Software Reliability) є працездатність складних програм обробки інформації в реальному часі. Саме тому варто виділити надійність ПЗ як окреме означення.

Існує багато конкуруючих поглядів на те, що називається надійністю ПЗ. Один з них полягає в тому, що програма або коректна або некоректна, тоді надійність ПЗ – бінарна за своєю природою: ідеальна програма має надійність рівну одиниці, а неідеальна – нулеві. Інший підхід базується на тестуванні ПЗ, в цьому випадку процентне відношення вдалих тестів використовується для визначення надійності, його кількісної оцінки, тобто надійність ПЗ сформульована як відносна частота вдалих виконань програми. Також надійність може бути визначена як ймовірність безвідмовного функціонування ПЗ в специфікований час чи в специфікованому середовищі.

Згідно ДСТУ 2844-94 програмою називають послідовність інструкцій, які може виконати ЕОМ, а програмним засобом є "взаємопов'язана сукупність програм, процедур, правил, документації та даних, що належить до функціонування обчислювальної системи".

Надійністю функціонування ПЗ (reliability) називається "група властивостей ПЗ, що обумовлює спроможність ПЗ зберігати працездатність і перетворювати вихідні дані в шуканий результат в заданих умовах за встановлений період часу". В цю групу властивостей, згідно ДСТУ 2850-94 входять безвідмовність (maturity), яка характеризується частотою відмов через помилки та недосконалості ПЗ; стійкість до аномалій (fault tolerance), яка обумовлює здатність ПЗ виконувати свої функції в аномальних умовах під якими розуміють збої і відмови технічних засобів, помилки операторів та помилки у вихідних даних; відновлюваність (recoverability), яка обумовлює можливість відновлювати рівень якості функціональності і дані після відмов; точність (accuracy), що характеризується подібністю результатів обробки даних до істинних, специфікованих або теоретично правильних значень; та реактивність (responsibility), яка характеризується здатністю своєчасно перетворювати вхідні дані (запити) в шуканий результат. Усі ці властивості ПЗ становлять одну з груп, які визначають якість ПЗ разом з функціональністю, зручністю використання, раціональністю, супроводжуваністю та переносимістю. При цьому, згідно ДСТУ 2844-94 під якістю ПЗ розуміють сукупність його властивостей щодо їх придатності задовольняти встановлені чи передбачені потреби відповідно до призначення ПЗ.

Поняття *відмови* є фундаментальним поняттям теорії надійності і може бути означене як подія, після виникнення якої характеристики технічного об'єкту (параметри) виходять за допустимі межі. Також зустрічається твердження, що відмова – подія, яка є порушенням працездатного стану об'єкта.

Згідно ДСТУ 2844-94 відмовою ПЗ є подія, під час якої проявляється непрацездатність ПЗ. Ознаки непрацездатності встановлюються в нормативно-технічній документації ПЗ. При цьому невідповідність результатів виконання ПЗ і сподіваних результатів може бути наслідком дефектів апаратних засобів чи наслідком помилок у ПЗ. Тут під помилкою ПЗ розуміють запис елемента програми чи тексту програмної документації, використання яких призводить чи може призвести до неправильного результату. Таким чином, на відміну від апаратних засобів, відмови ПЗ можуть бути спричинені неправильним

алгоритмом, некоректною реалізацією алгоритму ("запис елемента програми"), некоректністю програмної документації, що матиме наслідком неправильні дії користувача. При цьому відмови ПЗ можуть залежати від даних, які в поточний момент обробляє програма. Крім того, відмови ПЗ можуть бути спричинені збоями апаратних засобів внаслідок впливу зовнішніх факторів (іонізуючого випромінювання, температури тощо), і, в деяких випадках, можуть бути усунені шляхом перезавантаження ПЗ.

За типами відмови розділяють на:

- відмови функціонування, при яких припиняється виконання об'єктом основних функцій;
- відмови параметричні, при яких параметри об'єкту змінюються в недопустимих межах;

За природою відмови можуть бути:

- випадковими, обумовленими непередбаченими перевантаженнями, помилками персоналу;
- систематичними, обумовленими закономірними явищами.

В загальному, за своїм характером в першому наближенні відмови поділяють на раптові та поступові. Поступові відмови виникають при поступовій зміні параметрів, що визначають якість виробу (в основному в результаті старіння чи зношування), коли ці параметри виходять за межі встановлених допусків. Такі відмови не характерні для ПЗ внаслідок його природи. Раптові відмови визначаються різкою зміною параметрів, що визначають якість виробу. Крім того, для обчислювальної техніки характерними є збої, тобто відмови, що самоусуваються.

Надійність ПЗ визначається його безвідмовністю і відновлюваністю. Безвідмовність ПЗ – це властивість зберігати працездатність при використанні його для обробки інформації в інформаційних системах. Безвідмовністю програмного забезпечення оцінюється ймовірність його роботи без відмов при визначених умовах зовнішнього середовища протягом заданого періоду.

У наведеному означенні під відмовою ПЗ розуміється неприпустиме відхилення характеристик функціонування цього забезпечення від висунутих вимог. Визначені умови зовнішнього середовища це сукупність вхідних даних і стан самої інформаційної

системи. Заданий період спостереження відповідає часу, необхідному для виконання на ЕОМ розв'язуваної задачі.

Безвідмовність ПЗ може характеризуватися середнім часом виникнення відмов при функціонуванні програми. При цьому припускається, що апаратні засоби ЕОМ є в справному стані. З точки зору надійності, принципова відмінність ПЗ від апаратних засобів полягає в тому, що програми не зношуються і їхній вихід з ладу через поломку неможливий. Отже, характеристики функціонування ПЗ залежать тільки від його якості, зумовленої процесом розробки. Це означає, що безвідмовність ПЗ визначається його коректністю і залежить від наявності в ньому помилок, внесених на етапі його створення. Крім того, прояв помилок ПЗ пов'язаний ще і з тим, що в деякі моменти часу на обробку можуть надходити множини даних, які раніше не зустрічалися і які програма не в змозі коректно обробити. Тому вхідні дані у деякій мірі впливають на функціонування ПЗ.

1.3. Термінологія теорії надійності

Надійність є одним з найважливіших параметрів техніки. Її показники необхідні для оцінки якості техніки, її ефективності, безвідмовності, живучості, ризику. Надійність залежить від багатьох зовнішніх і внутрішніх факторів і оцінюється багатьма критеріями і показниками. Все це привело до появи в теорії надійності великого числа різних термінів і їх визначень. Далі наводяться деякі з них, які часто застосовуються на практиці і в теорії.

Елемент - об'єкт (матеріальний, енергетичний, інформаційний), що містить ряд властивостей, внутрішню будову (зміст) якого значення не має. У теорії надійності під елементом розуміють елемент, вузол, блок, що має показник надійності, який самостійно враховується при розрахунку показників надійності системи. Поняття елемента і системи трансформуються в залежності від розв'язуваної задачі. Наприклад, верстат при оцінці його надійності розглядається як система, що складається з елементів - деталей, механізмів, вузлів і т. д. При оцінці надійності технологічної лінії верстат є елементом системи.

Система-сукупність пов'язаних між собою елементів, що володіє властивістю (призначенням, функцією), відмінним від властивостей

окремих її елементів. Практично будь-який об'єкт з певної точки зору може розглядатися як система. Системою з точки зору механіки є, наприклад, зібрана зі стержнів стріла крана або труба газопроводу. Елементами останньої будуть її ділянки між зварними швами або опорами. Зв'язки в даному випадку мають силовий (енергетичний) характер - кожен елемент діє на сусідній.

Структура системи - взаємозв'язки і взаємне розташування складових частин системи, її устрій. Розчленування системи на групи елементів може мати матеріальну (речову), функціональну, алгоритмічну та іншу основу. Структура збірного моста складається з його окремих, зібраних на місці секцій. Груба структурна схема вкаже тільки ці секції та порядок їх з'єднання. Останнє це і є зв'язки, які тут носять силовий характер. Приклад функціональної структури - це поділ двигуна внутрішнього згоряння на підсистеми: живлення, змащення, охолодження, передачі силового моменту.

Зазвичай поняття *структура* пов'язують з її графічним відображенням. Залежно від зв'язків між елементами розрізняють наступні види структур: послідовні, паралельні, зі зворотним зв'язком, мережеві і ієрархічні.

Процес - це набір станів системи, відповідний впорядкованого (безперервного або дискретного) зміни деякого параметра, визначального характеристики (властивості) системи.

Процес зміни системи в часі називається *динамікою* системи. Па-
раметром процесу можуть також виступати температура, тиск, лінійні і кутові координати та інші фізичні величини, які, проте, самі залежать від часу.

Технічний об'єкт в процесі функціонування може перебувати в різних станах, які оцінюються чисельними показниками. Наведемо терміни стану об'єкта та їх оцінки.

Справність - стан об'єкта, при якому він відповідає всім вимогам, встановленим нормативно-технічною документацією (НТД).

Працездатність - стан об'єкта, при якому він здатний виконувати задані функції, зберігаючи значення основних параметрів, встановлених НТД.

Основні параметри характеризують функціонування об'єкта при виконанні поставлених завдань.

Поняття справності є ширшим, ніж поняття працездатності. Працездатний об'єкт зобов'язаний задовольняти лише тим вимогам НТД, виконання яких забезпечує нормальне застосування об'єкта за призначенням. Таким чином, якщо об'єкт непрацездатний, то це свідчить про його несправність. З іншого боку, якщо об'єкт несправний, то це не означає, що він непрацездатний.

Граничний стан - стан об'єкта, при якому його застосування за призначенням неприпустиме або недоцільне. Застосування (використання об'єкта за призначенням припиняється в наступних випадках:

- при непереборному порушенні безпеки;
- при непереборному відхиленні величин заданих параметрів;
- при неприпустимому збільшенні експлуатаційних витрат.

Для деяких об'єктів граничний стан є останнім в його функціонуванні, тобто об'єкт знімається з експлуатації, для інших об'єктів - певною фазою в експлуатаційному графіку, що вимагає проведення ремонтно-відновлювальних робіт.

У зв'язку з цим, об'єкти можуть бути:

- *невідновлювані*, для яких працездатність в разі виникнення відмови не підлягає відновленню;
- *відновлювані*, працездатність яких може бути відновлена, в тому числі і шляхом заміни.

До числа невідновлювальних об'єктів можна віднести, наприклад, підшипники кочення, напівпровідникові вироби, зубчасті колеса і т.п. Об'єкти, які складаються з багатьох елементів, наприклад верстат, автомобіль, електронна апаратура, є відновлюваними, оскільки їх відмови пов'язані з ушкодженнями одного або небагатьох елементів, які можуть бути замінені.

У ряді випадків один і той же об'єкт, в залежності від особливостей, етапів експлуатації або призначення може вважатися відновлюваним або невідновлюваним.

Відновлення може бути повністю обмеженим, коли обслуговування системи проводиться однією ремонтною одиницею, обмеженим, якщо є більше однієї ремонтної одиниці, але при цьому може утворитися черга на обслуговування внаслідок нестачі ремонтних одиниць. Відновлення може бути необмеженим, якщо ремонтних одиниць досить для одночасного обслуговування всіх елементів, які відмовили.

Напрацювання - тривалість або обсяг роботи об'єкта, вимірювані одиницями часу, числом циклів навантаження, кілометрами пробігу і т.ін.

Напрацювання до відмови - напрацювання об'єкта від початку його експлуатації до виникнення першої відмови.

Напрацювання між відмовами - напрацювання об'єкта від закінчення відновлення його працездатного стану після відмови до виникнення наступної відмови.

Технічний ресурс - напрацювання об'єкта від початку його експлуатації (або його відновлення після ремонту) до переходу в граничний стан. Технічний ресурс може бути також регламентований, наприклад, від початку експлуатації до середнього або капітального ремонту, або від середнього до капітального ремонту, після якого потрібне продовження технічного ресурсу. Якщо регламентація відсутня, то мається на увазі ресурс від початку експлуатації до досягнення граничного стану після всіх видів ремонтів.

Для невідновлювальних об'єктів поняття технічного ресурсу і напрацювання до відмови збігаються.

Призначений ресурс - сумарне напрацювання об'єкта, при досягненні якого експлуатація повинна бути припинена незалежно від його стану.

Термін служби - календарна тривалість експлуатації (в тому числі зберігання, ремонт і т.ін.) від її початку до настання граничного стану.

Для більшості об'єктів електромеханіки в якості критерію довговічності найчастіше використовується технічний ресурс.

Час відновлення працездатного стану - тривалість відновлення працездатного стану об'єкта.

У теорії надійності важливу роль відіграють такі поняття, як безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збереженість. Часто помилково вважають ці поняття складовими надійності і визначають їх як фізичні властивості. Необхідно уточнити ці поняття.

Безвідмовність - це здатність об'єкта безупинно зберігати працездатність протягом деякого часу або деякого напрацювання.

Часто безвідмовність ототожнюють з поняттям "надійність" і характеризують тими ж показниками: ймовірністю безвідмовної роботи, середнім напрацюванням до відмови, середнім напрацюванням на відмову, інтенсивністю відмов, параметром потоку відмов.

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

Довговічність визначається наступними показниками:

- середній ресурс - математичне сподівання технічного ресурсу;
- гама-процентний ресурс - напрацювання, протягом якого об'єкт не досягне граничного стану із заданою ймовірністю γ , вираженою у відсотках;
- середній термін служби - математичне сподівання терміну служби;
- гама-відсотковий термін служби - календарна тривалість від початку експлуатації об'єкта, протягом якої він не досягне граничного стану із заданою ймовірністю γ , вираженою у відсотках.

Ремонтпридатність - здатність об'єкта, яка полягає в його пристосуванні до попередження і виявлення причин виникнення відмов, підтримці і відновленню працездатного стану шляхом проведення ремонтів і технічного обслуговування.

До показників ремонтпридатності відносяться ймовірність відновлення працездатного стану протягом заданого часу і середній час відновлення працездатного стану.

1.4. Класифікація технічних систем

Технічні системи можуть бути невідновлюваними і відновлюваними, тривалого та короткого часу роботи, резервованими і нерезервованими.

Технічна система називається *невідновлювальною* (*неремонтованою*), якщо її відмова призводить до непереборних наслідків і систему не можна використовувати за своїм призначенням. Робота після відмови невідновлювальної системи вважається неможливою або недоцільною. Типовими прикладами невідновлювальних систем є напівпровідникові прилади, керовані снаряди, система управління повітряним судном в процесі польоту і т. д.

Під *відновлюваною* (*ремонтованою*) розуміється система, яка може продовжувати виконання своїх функцій після усунення відмови, викликаного припинення її функціонування. Робота відновлюваної системи після відмови може бути відновлена в результаті проведення необхідних відновлювальних робіт. При цьому під відновленням системи розуміється не тільки ремонт тих чи інших елементів системи, а також повна заміна елементів, які відмовили, на нові.

Існують системи *змішаного* типу, у яких частина елементів може відновлюватися, а інша - ні.

Залежно від виконуваних функцій розрізняють системи *тривалого існування* і системи *короткого існування*.

Резервуванням називають спосіб підвищення надійності шляхом включення резервних одиниць, здатних у разі відмови основного пристрою виконувати його функції. Цей метод має великі можливості досягнення заданих рівнів надійності і має широке практичне застосування.

Різноманітні методи резервування і способи включення резерву можуть бути зведені до трьох методів: загального, роздільного (поелементного) і комбінованого(змішаного) резервування. *Загальним* називається таке резервування системи, при якому паралельно включаються ідентичні системи. *Роздільним* називається резервування системи шляхом використання окремих резервних пристроїв. При *комбінованому* резервування в одній і тій же системі застосовується загальне і роздільне резервування.

Відношення числа резервних пристроїв до числа основних називається кратністю резервування. Якщо це відношення число ціле, то таке резервування називається резервуванням з цілою кратністю, інакше з дробовою кратністю.

Резервування може бути з відновленням, якщо основні та резервні елементи ремонтуються в процесі експлуатації, і без відновлення в іншому випадку. Класифікація методів резервування показана на рис. 1.1.

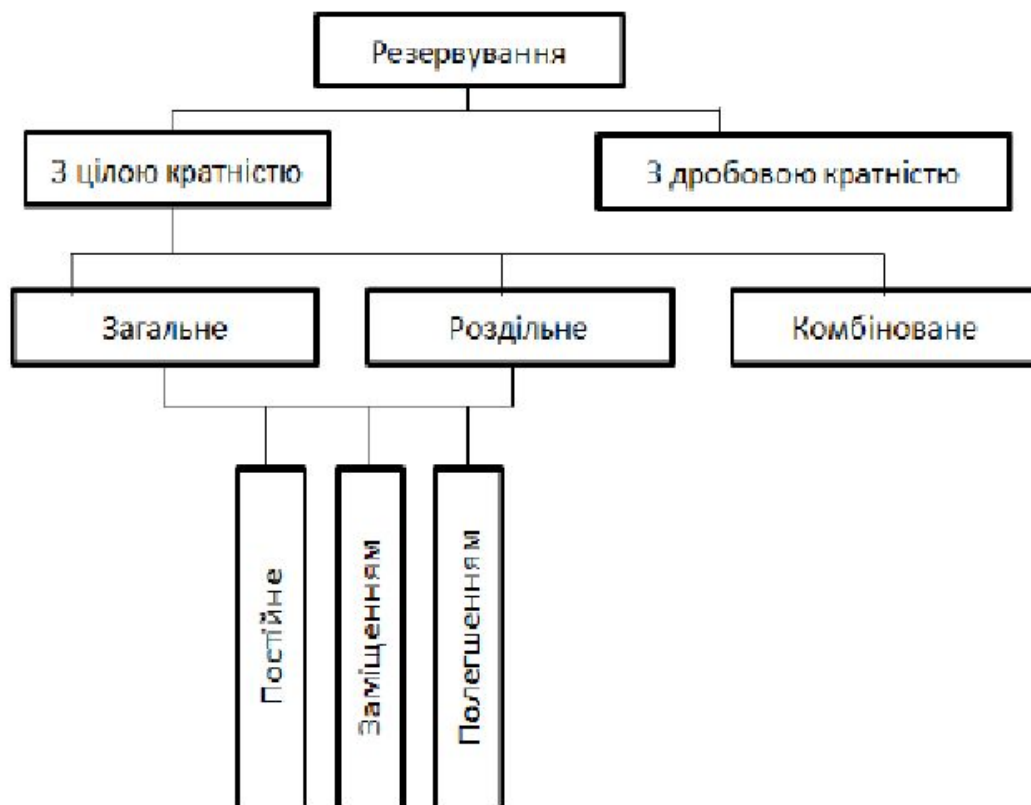


Рис. 1.1. Класифікація методів резервування

Головними способами включення резервних пристроїв при відмовах основних є такі:

- постійне, при якому резервні об'єкти з'єднані з основними протягом всього часу роботи;
- заміщенням, при якому резервні об'єкти заміщають основні тільки після відмови останніх.

При цьому в обох випадках резервні об'єкти можуть перебувати в трьох режимах роботи:

- *навантаженому*, при якому резервні об'єкти знаходяться в тих же умовах, що і основні;
- *ненавантаженому*, при якому резервні об'єкти не включені і не можуть відмовляти;
- *полегшеному*, при якому резервні об'єкти включені, але працюють не на повну навантаження, тобто їх надійність в резервному стані вище, ніж в робочому. Однак відмова елементів можлива.