

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання**

## **ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

навчальної дисципліни  
**«Вступ до спеціальності (Основи авіації МВС України)»**  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***173 Авіоніка  
(Авіоніка)***

**за темою № 12 - Поняття надійності авіаційної техніки**

**Кременчук 2023**

### **ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

### **СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного коледжу  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.2023 № 1

### **ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023р № 1

#### ***Розробники:***

- 1. Викладач циклової комісії Авіаційного та радіоелектронного обладнання, спеціаліст вищої категорії Хебда А.С.*
- 2. Викладач циклової комісії Авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., доцент, спеціаліст вищої категорії, Юрко О.О.*

#### ***Рецензенти:***

- 1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю.М.*
- 2. Заступник директора з ОЛР, командир авіаційного загону ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Гетьман Ю.Ю.*

### **План лекції:**

1. Види технічних станів об'єктів.
2. Складові надійності технічних систем.
3. Причини виникнення і класифікація відмов.
4. Поняття складної системи.
5. Види резервування. Кратність резервування.

### **Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті**

#### **Основна:**

1. Савін В. С. Авіація в Україні: Нариси історії. Харків: Основа, 1995. 264 с.
2. Матвійчук А. Я., Стінянський В. Л. Електротехніка: навчально-методичний посібник. Вінниця, 2017. 270 с.
3. Харченко В. П., Остроумов І. В. Авіоніка: навч. посіб.. Київ: НАУ, 2013. 272 с.

#### **Допоміжна:**

1. Стуцанський Ю. В. Комп'ютерні інтегровані системи авіоніки. Навчальний посібник. Кременчук: КЛК НАУ, 2011. 180 с.
2. Закон України «Про загальну структуру і чисельність Міністерства внутрішніх справ України».

#### **Інформаційні ресурси в Інтернеті**

1. Офіційний сайт Портал МВС. Авіація МВС Режим доступу: <https://mvs.gov.ua/uk/ministry/aviaciya-mvs>.
2. Офіційний сайт Державної Авіаційної Служби України. Режим доступу: <https://avia.gov.ua/>

## Текст лекції

### 1. Види технічних станів об'єктів.

В процесі експлуатації характеристики об'єкта змінюються, і він може перебувати в різних технічних станах.

**Технічний стан об'єкта (technical condition of the object)** - це стан, який визначається в певний момент часу за певних умов зовнішнього середовища значеннями параметрів і якісними характеристиками об'єкта, встановленими технічною документацією на об'єкт.

Об'єкт може знаходитися в наступних станах (таблиця 1):

Для справного стану вимоги стосуються як основних вихідних параметрів (визначають якість виконання об'єктом заданих функцій), так і неосновних параметрів, від яких не залежить працездатність об'єкта на даному відрізку часу. Так, для системи регулювання напруги до основних (визначальних) параметрів можна віднести вихідну напругу і струм навантаження, потужність генератора і ін. До неосновних (другорядних): якість контровки елементів кріплення, стан фарбування корпусу генератора і ін.

При працездатному стані якісь з неосновних параметрів або якісних характеристик (контровка, стан фарбування і ін.) можуть не задовольняти нормативним вимогам.

Справний об'єкт завжди є і працездатним, але працездатним може бути і несправний об'єкт. Непрацездатний стан завжди є і несправним

Справність і працездатність об'єктів (неремонтуємих) при відмові не підлягає відновленню шляхом ремонту в розглянутих умовах (мікросхеми, залиті компаундами блоки, ін.)

В умовах експлуатації при ряді видів відмов неремонтуємими є електродвигуни, генератори, гіроагрегати

Ремонтуємий об'єкт може бути прийнятий як відновлюваний і як невідновлюваний в залежності від ситуації, що розглядається.

Літаковий електричний генератор є ремонтованим. При деяких відмовах він є відновлюваним в умовах експлуатації (руйнування контактних щіток та ін.). При ряді відмов (обриви або короткі замикання обмоток, поломки механічні та т. і.) в умовах експлуатації генератор виявляється невідновлюваним. Але він може бути відремонтований, тобто відновлений на ремонтному заводі.

Поняття про відновлювані або невідновні об'єкти є відносними до розглянутих ситуацій (характер відмови, умови експлуатації або ремонту).

Неремонтуємий об'єкт є в той же час і невідновлюваним.

Ремонтуємий об'єкт може бути відновлюваним в одних умовах і невідновлюваним в інших.

Таблиця 1 – Можливі стани об'єкта

Об'єкт	Від технічного стану	справний стан	при якому об'єкт відповідає всім вимогам, встановленим технічною документацією
		несправний	об'єкт не відповідає хоча б одній з вимог технічної документації
		працездатний	значення всіх параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати задані функції, відповідають вимогам технічної документації
		непрацездатний	значення хоча б одного параметра, що характеризує здатність об'єкта виконувати задані функції, не відповідає вимогам технічної документації
		граничний	подальше застосування об'єкта за призначенням неприпустимо або недоцільно, або відновлення його справного чи працездатного стану неможливе
	Від пристосованості до відновних робіт	ремонтуючий	справність і працездатність якого при відмові можуть бути відновлені шляхом ремонту, якщо це передбачено технічною документацією
		неремонтуючий	проведення ремонту не передбачено технічною документацією
		відновлюваний	в ситуації, що розглядається (наприклад, в умовах експлуатації) проведення відновлення працездатного стану передбачено документацією
		невідновлюваний	в ситуації, що розглядається проведення відновлення працездатного стану не передбачено технічною документацією

## 2. Складові надійності технічних систем

Надійність включає в себе такі властивості:

**Безвідмовність (reliability)** - властивість ТЗ безупинно зберігати роботоздатний стан протягом деякого часу.

**Довговічність (durability)** - властивість ТЗ зберігати роботоздатний стан до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування і ремонтів.

**Ремонтопридатність (maintainability)** - властивість ТЗ, яка полягає в можливості попередження і виявлення причин виникнення відмов, підтримання і відновлення роботоздатного стану шляхом проведення технічного обслуговування і ремонтів.

**Збережуваність (storability)** - властивість ТЗ зберігати значення показників безвідмовності, довговічності і ремонтпридатності протягом експлуатації, зберігання та транспортування.

Поняття про відновлювані і невідновлювані пристрої широко використовуються при розгляді характеристик надійності виробів.

**Дефект** - кожна окрема невідповідність об'єкта всім встановленим вимогам технічної документації.

**Пошкодження** - подія, що полягає в порушенні справного стану об'єкта при збереженні працездатного стану.

**Відмова** - подія, що полягає в порушенні працездатного стану об'єкта. При відмові один або кілька основних параметрів об'єкта виходять за межі полів допусків.

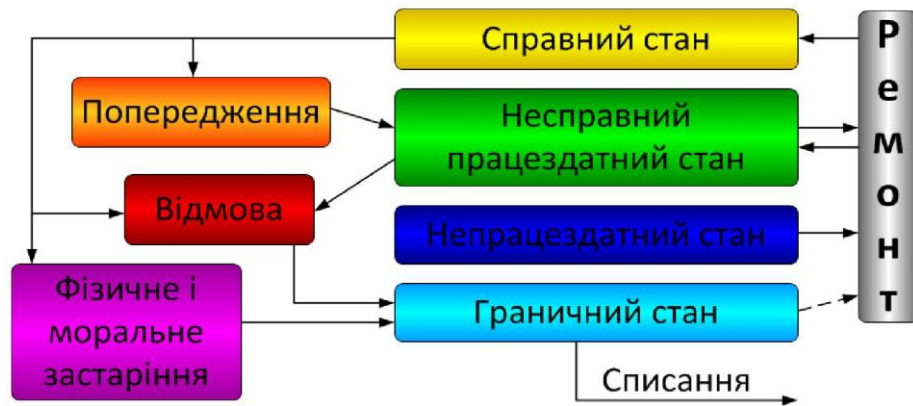


Рисунок 1 – Схема переходів станів технічного засобу (ТЗ).

В процесі експлуатації об'єкт може переходити з одного стану в інший в результаті появи подій.

Так, в результаті події «пошкодження» він переходить в стан «несправний працездатний». З цього стану, а також зі справного стану, в результаті появи події «відмова», може здійснитися перехід в непрацездатний або в граничний стан.

В результаті фізичного або морального старіння пристрій з справного стану переходить в граничний стан.

В результаті ремонту відбувається перехід об'єкта в стан «справний». У деяких випадках ремонт забезпечує перехід з непрацездатної чи граничного стану в стан «несправне працездатне». Наприклад, допускається політ повітряного судна (ПС) з несправною бортовою системою при наявності відповідного резерву, який гарантує безпеку польоту.

З граничного стану зазвичай пристрій направляється на списання, хоча в деяких випадках можливий капітальний ремонт і повернення його в експлуатацію, на рис.1 показано пунктирною стрілкою.

### 3. Причини виникнення і класифікація відмов.

Залежно від класифікаційних ознак відмови діляться на види, наведені в діаграмі.

До факторів, які можуть викликати раптові відмови відносяться фактори, пов'язані з внутрішніми дефектами елементів, помилками операторів і ін.

Поступові відмови є найчастіше наслідком зносу і старіння елементів, порушення регулювань і ін. Розподіл відмов на раптові і поступові є умовним.

Майже будь-яка раптова відмова є наслідком поступового розвитку якихось несправностей в об'єкті (при нормальних умовах експлуатації), які

залишаються непомітними для нас.

Таблиця 2 – Класифікація відмов

Відмови	За характером процесу появи	Раптові	різкі зміни одного або декількох основних параметрів під впливом прихованих випадкових факторів
		Поступові	якщо значення основного параметра перетинає кордон допуску в результаті повільного руху його до зони непрацездатного стану
	За впливом на працездатність	Повні	призводять до повного порушення працездатності об'єкта
		Неповні	викликають погіршення якості функціонування об'єкта
	За зовнішнім проявом	Явні	виявляються відразу при зовнішньому огляді або при включенні об'єкта в роботу
		Неявні	для виявлення потрібне застосування спеціальних засобів контролю
	За взаємозв'язком відмов	Залежні	обумовлені пошкодженням або відмовою іншого елемента
		Незалежні	не залежать від відмов будь-якого іншого об'єкта
	За часом існування	Стійкі	усуваються тільки після виконання спеціальних відновлювальних робіт
		Збої	самоусувається і призводить до короткочасного порушення працездатності пристрою
		Які перемежуються	одна і та ж відмова періодично з'являється і самоусувається.
	За наслідком виникнення	Конструктивні	з'являється в результаті помилок і порушення норм конструювання об'єкта
		Виробничі	виникає в результаті порушення встановленої технології виготовлення або ремонту об'єкта
		Експлуатаційні	є наслідком порушення встановлених правил експлуатації об'єкта
	За наслідками	Катастрофічні	ведуть до авіаційної події (заклинювання рулів, не випуск шасі і ін.)
		Критичні	можуть призвести до авіаційної події
		Граничні	призводять до значного погіршення умов польоту, але не загрожують безпеці польоту
		Безпечні	не призводять до небезпечних наслідків і створюють екіпажу при виконанні польоту лише незначні труднощі

При появі відповідних методів і засобів контролю, що забезпечують збільшення глибини і достовірності контролю, відмови, які раніше вважалися раптовими, переходять в групу поступових. Приклад неповної відмови: уповільнений вихід авіагоризонту з завалу, завищений відхід (уход)

курсного гіроагрегату і ін. Такі відмови виявляються тільки при спеціальних перевірках (в лабораторіях), а до моменту їх виявлення відповідні об'єкти використовувалися в польотах і оператор не відчував сумнівів в їх справності

Залежні відмови відбуваються в результаті перевантажень перших, пов'язаних з відмовами інших елементів.

Збої зникають самовільно без втручання оператора.

Найбільш характерні збої для електронно-обчислювальних пристроїв: навіть один збій може бути причиною абсолютно невірних результатів реалізації програми обчислень.

Приклад відмови, яка перемикається: при пошкодженій ізоляції оголена ділянка електропроводу періодично може торкатись корпусу літака (при еволюціях літака), викликаючи порушення в роботі певної апаратури. Один і той же збій, який періодично повторюється в ЦВМ також можна віднести до відмови, яка перемикається.

Парирування критичних відмов у польоті вимагає великих емоційних і фізичних напружень від екіпажу (самовимкнення одного з авіадвигунів, відмова системи автоматичного управління польотом в деяких режимах її роботи і ін.)

Приклад граничних відмов: відмова одного - двох генераторів з чотирьох наявних, відмова будь-якого з приладів на приладовій пульті одного з пілотів при наявності такого приладу в іншого пілота і т. д.

Приклад безпечних відмов: відмови окремих ламп освітлення, електронагрівальних елементів в кухні і ін.

Функціональна відмова - втрата комплексом бортових систем здатності виконувати призначену для нього функцію (рульового управління, виробництва електроенергії, навігації і ін.).

Чіткої межі у цій класифікації може не бути через удосконалення розрахункових методів і засобів контрольно-вимірювальної техніки, що дозволяють своєчасно і на більшій кількості етапів життя системи своєчасно виявляти джерела можливих відмов і прогнозувати їх розвиток у часі.

Поняття складної системи

Більшість машин є досить складними технічними системами, що складаються з окремих вузлів, деталей, агрегатів, систем управління і ін.

Під **складною системою** розуміється об'єкт, призначений для виконання заданих функцій, який може бути розділений на елементи, кожен з яких також виконує певні функції і знаходиться у взаємодії з іншими елементами системи.

Чим складніша система, тим більш різноманітні вимоги до її функціонування і тим найбільше число вихідних параметрів встановлюються нормативами.

При аналізі надійності складних технічних систем їх розбивають на елементи з тим, щоб спочатку розглянути параметри і характеристики елементів, а потім оцінити працездатність всієї системи.

Під **елементом** складної системи розуміють складову частину складної системи, яка може характеризуватися самостійними вхідними та вихідними



параметрами.

Елемент має наступні особливості:

- він виділяється в залежності від поставленого завдання, може бути досить складним і складатися з окремих деталей і складальних одиниць;
- при дослідженні надійності системи елемент не ділять на складові частини, і показники безвідмовності і довговічності відносяться до елемента в цілому;
- можливе відновлення працездатності елемента незалежно від інших частин і елементів системи.

Отже, вихідні параметри елемента при їх зміні в процесі експлуатації повинні відповідати певним вимогам, що пред'являються до надійності всієї системи.

***Параметр складного потоку відмов дорівнює сумі параметрів потоків його складових.*** Цей висновок часто використовують при аналізі відмов різних елементів і складних систем.

#### **4. Види резервування. Кратність резервування.**

Одним з методів підвищення надійності є **резервування (redundancy)**.

**Резервуванням** називають спосіб підвищення надійності за допомогою включення резервних одиниць, які можуть у випадку відмови основного пристрою виконувати їх функції.

Резервування є одним із засобів забезпечення заданого рівня надійності об'єкта при наявності недостатньо надійних радіоелементів, що особливо важливо для забезпечення безвідмовності РЕС.

*Будь-який метод резервування заснований на принципі надмірності.*

Принцип надмірності означає, що поряд з основними одиницями (системами, пристроями, елементами), призначеними для виконання будь-якої функції, передбачаються резервні одиниці, які не є функціонально необхідними, а служать лише для заміни відповідних основних одиниць в разі їх відмови.

**Постійне резервування (continuous redundancy)** - резервування, при якому резервні елементи підключені до основних протягом усього часу роботи і знаходяться в однаковому з ними режимі.

При постійному резервуванні резервні елементи приєднані до основних протягом всього часу роботи системи і знаходяться в однаковому з ними робочому режимі, з'єднання елементів постійне, перебудови схеми при відмовах не відбувається і елемент, який вийшов з ладу не

Постійне включення резерву є єдино можливим в системах, для яких неприпустима навіть короткочасна перерва в роботі, немінуча при перемиканні з основного елемента на резервний. Переваги постійного резервування: відсутність перерв у роботі, необхідних для перемикання елементів, простота реалізації.

Постійне резервування застосовується при резервуванні нескладних елементів (каскадів, субблоків, вузлів).

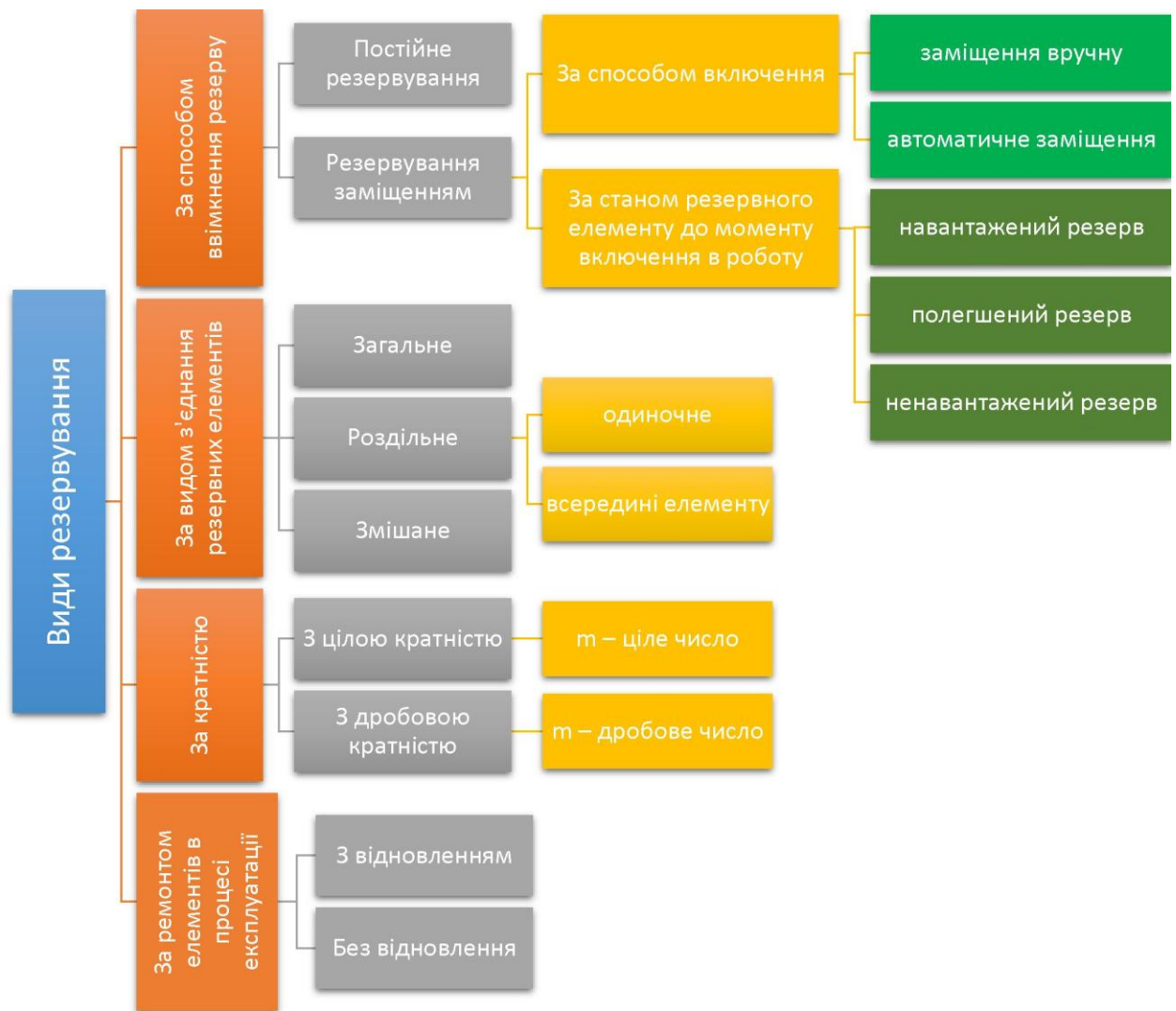


Рисунок 2 – Види резервування

**Резервування заміщенням (standby redundancy)** - резервування, при якому резервні елементи заміщають основні після їхньої відмови.

При резервуванні заміщенням система проектується таким чином, щоб при відмові елемента вона перебудовувалася і відновлювала свою працездатність за допомогою заміщення елемента, що відмовив резервним.

Резервування заміщенням вимагає наявності перемикаючих пристроїв, системи контролю працездатності та виявлення несправного змінного вузла, а також виконавчих пристроїв для включення резерву.

Використання додаткових пристроїв знижує загальну надійність системи і підвищує її вартість, тому резервування заміщенням використовується при резервуванні складних систем.

**Загальне резервування (Whole system redundancy)** - це резервування всієї системи в цілому.

Різновид загального резервування - дублювання (Duplication), при якому використовується тільки одна резервна система.

**Роздільне резервування (Segregated redundancy)** - це резервування системи по окремих ділянках.

Роздільне резервування можливо як для порівняно великих вузлів і

блоків системи (одиначне резервування), так і для окремих її елементів або зв'язків всередині елементів (всередині елементу).

**Резервування змішане (Combined redundancy)** - поєднання різних видів резервування в одному і тому ж об'єкті (в системі резервуються як окремі пристрої, так і деякі первинні елементи).

**Навантажений (гарячий) резерв (Active reserve, loaded reserve)** характеризується повним збігом умов, в яких знаходиться резерв, з умовами, в яких перебуває робоча система Ресурс навантажених резервних елементів починає витрачатися з моменту включення системи в роботу.

**Полегшений (теплий) резерв (Reduced reserve)** характеризується полегшеними умовами знаходження резерву до моменту включення системи в роботу.

Ресурс резервних елементів при теплому резерві починає витрачатися з моменту включення всієї системи в роботу, однак інтенсивність його витрати до моменту включення резервних елементів замість відмовивших значно нижче, ніж в звичайних робочих умовах системи. **Ненавантажений (холодний) резерв (Standby reserve, unloaded reserve)** характеризується тим, що умови, в яких знаходяться резервні елементи, настільки легше робочих умов системи, що практично ресурс цих елементів починає витрачатися тільки з моменту включення їх в роботу замість відмовивших.

Холодний резерв зустрічається в надійних стаціонарних радіотехнічних і зв'язкових установках.

При навантаженому резерві ймовірність безвідмовної роботи системи, резервованої способом заміщення, дорівнює ймовірності безвідмовної роботи системи з постійним включенням резерву.

При використанні полегшеного і ненавантаженого резервів включення їх способом заміщення має збільшити ймовірність безвідмовної роботи системи, так як в цьому випадку вище ймовірність безвідмовної роботи резервних елементів за той же проміжок часу.

**Резервування без відновлення (Redundancy without restoration)** - резервування, при якому відновлення відмовивших основних або резервних елементів технічно неможливо без порушення працездатності об'єкта в цілому і не передбачено експлуатаційною документацією. **Резервування з відновленням (Redundancy with restoration)** - резервування, при якому відновлення відмовивших основних або резервних елементів технічно можливо без порушення працездатності об'єкта в цілому і передбачено експлуатаційною документацією.

**Резервованим з'єднанням (backup connection)** ТЗ називається таке з'єднання, при якому відмова настає тільки після відмови основного блоку чи елементів і всіх резервних блоків і елементів.

Мета резервування - забезпечення відмовостійкості об'єкта в цілому, тобто збереження його працездатності, коли виникла відмова одного або декількох елементів.

Основним параметром резервування є його **кратність  $m$** , тобто відношення кількості резервних елементів до кількості основних елементів.

$$m = N / n$$

де  $N$  - кількість всіх елементів системи (основних і запасних);  $n$  - кількість елементів в основній системі.

Ефект від введення резерву характеризується коефіцієнтом підвищення надійності  $G$ , який визначається за ймовірністю безвідмовної роботи, ймовірності відмови, середньому часу безвідмовної роботи і інтенсивністю відмов:

$$G_P = \frac{P_{рез}}{P_{нерез}}; G_Q = \frac{Q_{нерез}}{Q_{рез}}; G_T = \frac{T_{рез}}{T_{нерез}}; G_\lambda = \frac{\lambda_{нерез}}{\lambda_{рез}}$$