

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

**Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

навчальної дисципліни  
«Експлуатаційна надійність технологічних систем паливозабезпечення»  
вибіркових компонент  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**Технології робіт та технологічне обладнання аеропортів**

**за темою № 6 - Розрахунок надійності на стадії проектування**

**Харків 2021**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 23.09.21р. № 8

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного  
коледжу Харківського  
національного університету  
внутрішніх справ  
Протокол від 22.09.21р. № 2

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 22.09.21р. № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 30.08.2021 № 1

**Розробник:**

1. викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, спеціаліст вищої категорії Давітая О.В.
2. викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, Копичко Р.Р.
3. викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, спеціаліст першої категорії Нальотова Н.І.

**Рецензенти:**

1. викладач циклової комісії аеронавігації Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист, к.т.н., с.н.с. Тягній В.Г.
2. завідувач кафедри технологій аеропортів Національного авіаційного університету, д-р техн. наук, професор Тамаргазін О.А.

### **План лекції**

1. Визначення показників надійності систем.
2. Метод структурних схем надійності.
3. Порядок розрахунку системи на надійність.
4. Визначення оптимальної надійності машин.

### **Рекомендована література**

1. Канарчук В. Є., Полянський С. К., Дмитрієв М. М. Надійність машин : підручник. Київ : Либідь, 2003. 424 с.
2. Лозинський О.Ю., Марущак Я.Ю., Костробій П.П. Розрахунок надійності електроприводів: підручник . Львів: ДУ «Львівська політехніка», 1996. 234 с.
3. Александровська Л.Н. Сучасні методи забезпечення безвідмовності складних технічних систем: Підручник для внз / Л.Н. Александровська А.П. Афанасьєва, А.А. Лісов. М.: Логос, 2003. 208 с.

### **Текст лекції**

#### **1. Визначення показників надійності систем**

Надійність більшості машин у техніці визначають при розгляді їх як систем. Складні системи поділяють на підсистеми.

Для розрахунку показників надійності систем необхідно провести аналіз умов експлуатації та конструкції машини. Під час аналізу визначають фактори, які є причиною відмови машини.

Розглянемо на прикладі насоса.

Аналіз конструкції насоса полягає в розгляді працездатності його елементів і проводиться одночасно з аналізом умов експлуатації. Під час аналізу визначають елементи, що лімітують надійність насоса.

Елементи, що лімітують надійність, – це елементи, відмова яких може спричинити відмову насоса: робоче колесо, ущільнення, гідропр'ята, підшипники і т. п.

До елементів, що лімітують надійність, можна зарахувати і елементи, відмова яких виникає в результаті процесу старіння, зносу, корозії й утомлюваності матеріалів у межах заданого напрацювання насоса. Прикладом таких відмов можуть бути відмови пар тертя, виробів із графіту, гуми та ін.

Усі елементи розглядають як незалежні і кожен із них повинен бути врахований.

Визначені в результаті аналізу елементи, що лімітують надійність, вносять до структурної схеми надійності.

Структурна схема надійності визначає взаємозв'язок ймовірностей безвідмовної роботи всіх внесених до неї елементів. У структурній схемі кожен

$i$ -й елемент характеризується значенням  $P(t)$  – імовірністю його безвідмовної роботи.

Згідно зі структурною схемою визначають математичну модель розрахунку надійності.

Структурна схема надійності передбачає такі види взаємозв'язку елементів: послідовне, паралельне та змішане.

Структурне з'єднання елементів у схемі не завжди збігається з монтажним (рис. 1).

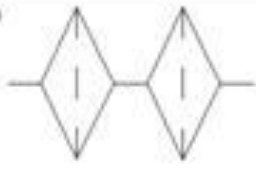
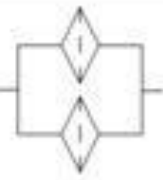
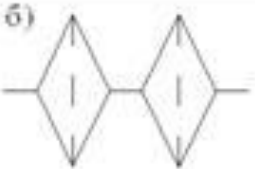
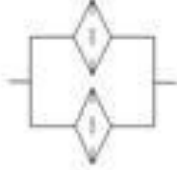
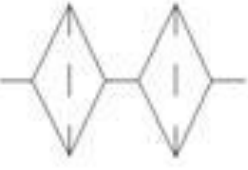
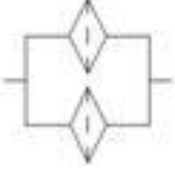
Монтажне з'єднання	Структурна схема	
	Розривання сітки	Засмічення сітки
1) 	а) 	б) 
2) 		

Рис. 1 – Монтажне і структурне з'єднання елементів

Розглянемо з'єднання 2 елементів (фільтрів) і занесення їх до монтажною схемою.

1 Монтажне з'єднання послідовне:

а) структурне – паралельне, тому що при розриванні однієї із сіток фільтра очищення відбувається іншим фільтром;

б) структурне – послідовне, тому що при засміченні 1-ї або 2-ї сітки не відбувається очищення масла і система відмовляє.

2 Монтажне з'єднання паралельне: структурна схема при цьому обернена.

## 2. Метод структурних схем надійності

Розподіл системи на елементи і вплив їх відмови на надійність визначається відповідною структурною схемою надійності. Розглянемо основні види з'єднань елементів у структурних схемах на прикладі насоса.

1 Послідовне з'єднання

При послідовному з'єднанні відмова одного з елементів призводить до відмови всього насоса й імовірність безвідмовної роботи визначається добутком безвідмовної роботи всіх елементів :

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t)$$

де  $P_i(t)$  – імовірність безвідмовної роботи  $i$ -го елемента;  
 $n$  – кількість елементів.

Схематично послідовне з'єднання наведене на рис. 2.

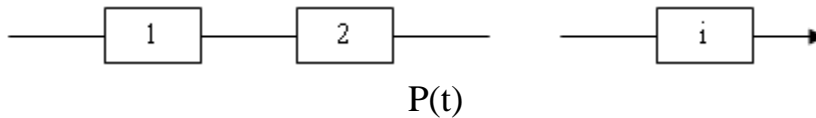


Рис. 2 – Схема послідовного з'єднання елементів

## 2 Паралельне з'єднання

Схематично паралельне з'єднання наведене на рис. 3.

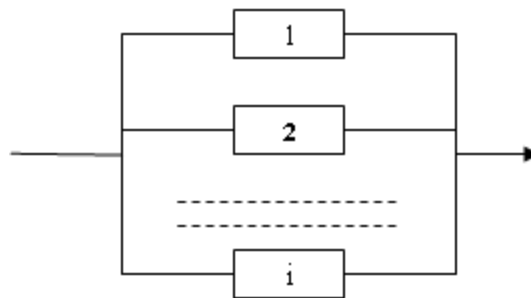


Рис. 3 – Схема паралельного з'єднання елементів

При паралельному з'єднанні відмова одного елемента не приводить до відмови насоса. Це досягається застосуванням дублюючих елементів, що виконують роль резерву.

Імовірність безвідмовної роботи машини в цьому випадку визначається за формулою

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

або

$$P(t) = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \dots (1 - P_n)$$

## 3 Змішане з'єднання

У гідравлічних машинах можливе застосування змішаного з'єднання, що забезпечує вмикання резервного елемента у випадку виходу з ладу основного. При цьому структурна схема складається з послідовних і паралельних з'єднань. Імовірність безвідмовної роботи визначається за формулою

$$P(t) = \prod_{j=1}^n \left[ 1 - \prod_{i=1}^m [1 - P_i(t)] \right]$$

## 3. Порядок розрахунку системи на надійність

Розрахунок системи на надійність необхідно проводити в такому порядку:

- 1 Провести аналіз конструкції машини і визначити склад елементів, що впливають на її надійність (лімітувальні елементи).
- 2 Установити взаємозв'язок елементів у структурній схемі.
- 3 Визначити імовірність безвідмовної роботи кожного елемента.
- 4 Побудувати структурну схему надійності.
- 5 Скласти математичну модель розрахунку (залежність  $P(t)$ ).
- 6 Розрахувати кількісні характеристики надійності: імовірність безвідмовної роботи  $P(t)$ ; середнє напрацювання на відмову  $T_{всеп}$ ; інтенсивність відмов  $\lambda(t)$  та ін.

Середнє напрацювання можна визначити, застосувавши інтеграл

$$T_{всеп}^0 = \int_0^{\infty} P(t) dt$$

Приклад. Визначити ймовірність безвідмовної роботи машини згідно із заданою структурною схемою (рис. ), якщо ймовірність безвідмовної роботи її елементів становить: 1–0,95; 2–6–0,9; 7,8–0,95.

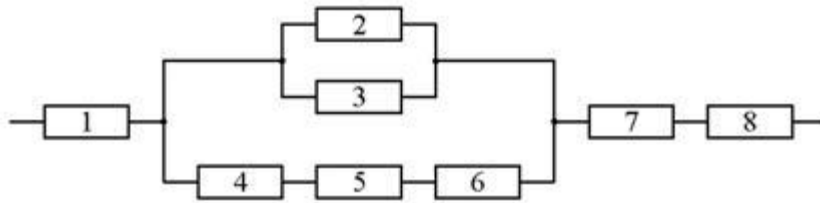


Рис. 4 – Структурна схема системи

Розв'язання

$$P = P_1 \cdot P_{2-6} \cdot P_7 \cdot P_8 ;$$

$$P_{2-3} = 1 - (1 - P_2)(1 - P_3) = 1 - (1 - 0,9)(1 - 0,9) = 0,99 ;$$

$$P_{4-6} = P_4 \cdot P_5 \cdot P_6 = 0,93 = 0,729 ;$$

$$P_{2-6} = 1 - (1 - P_{2-3})(1 - P_{4-6}) = 1 - (1 - 0,99)(1 - 0,729) = 0,99729 ;$$

$$P = 0,99 \cdot 0,99729 \cdot 0,95 \cdot 0,95 = 0,891.$$

#### 4. Визначення оптимальної надійності машин

Надійність є головним фактором, що визначає розмір витрат на експлуатацію машин. Чим вища надійність, тим менші загальні експлуатаційні витрати.

З іншого боку, для збільшення надійності в ряді випадків необхідно збільшувати кошти на проектування та виробництво, випробування і доводку нових машин. Отже, підвищувати надійність з економічної точки зору доцільно до деякого рівня, при якому сумарні витрати на підвищення надійності машин і

їх експлуатацію будуть мінімальними. Цей оптимальний рівень надійності називають нормою надійності.

Норму надійності встановлюють для кожного виробу залежно від техніко-економічного аналізу.

Для деякого обладнання, відмови якого належать до 1-ї і частково до 2-ї груп (це машини для атомних і теплових станцій), головним є забезпечення максимальної безпеки обслуговуючого персоналу і його безвідмовність.

Якщо відмови машин загрожують безпеці обслуговуючого персоналу або призводять до значних матеріальних втрат, то їх надійність обмежують найбільш можливою імовірністю безвідмовної роботи під час усієї експлуатації. А якщо відмови призводять лише до простоїв і дострокової заміни машин або їх вузлів та деталей, тоді необхідні показники надійності  $P(t)$  вибирають, виходячи з економічної доцільності.

Оптимальними показниками безвідмовності необхідно вважати такі, які визначені з умови мінімальних затрат  $Z_{\min}$  на розроблення  $C_p$ , виготовлення  $C_v$  і експлуатацію  $C_e$  машини:

$$Z_{\min} = C_p + C_v + C_e$$