

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

**Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

навчальної дисципліни «Надійність авіаційної техніки»  
вибіркових компонент  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**272 Авіаційний транспорт**  
**Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден і авіадвигунів**

**темою №2 – Математичні моделі надійності об'єктів**

## **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 технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 28.08.2023 № 1

### **Розробники:**

- 1. Старший викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист, Владов С.І.*
- 2. Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, викладач-спеціаліст Самохліб Олександр Олександрович*

### **Рецензенти:**

- 1. Завідувач кафедри транспортних технологій Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, доктор технічних наук, професор Мороз М.М.*
- 2. Викладач циклової комісії аеронавігації КЛК ХНУВС, к.т.н., с.н.с. Тягній В.Г.*

### **План лекції**

1. Загальні поняття про моделі надійності.
2. Нормальний закон розподілу наробітку до відмови.
3. Експоненціальний, логарифмічний, гамма-відсотковий та інші закони розподілу наробітку до відмови.
4. Моделі надійності відновлюваного об'єкта.
5. Розрахунок показників надійності.

### **Рекомендована література:**

#### **Основна література:**

1. Нечипоренко О. М. Основи надійності літальних апаратів : навчальний посібник. Київ : НТУУ «КПІ», 2010. 240 с.

#### **Допоміжна література:**

2. Міляєв Ю. П., Нечипоренко О. М. Основи надійності технічних систем : навчальний посібник. Київ : Видавн.-полігр. центр Акад. муніцип. управління, 2010. 246 с.

### **Інформаційні ресурси в Інтернеті**

1. <https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/11582/7/%D0%93%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%B0%207%20%D0%B2.pdf>

## ТЕКСТ ЛЕКЦІЙ

### 2.1. Загальні поняття про моделі надійності

Для розв'язання задач оцінювання надійності й прогнозування працездатності об'єкта потрібно мати математичну модель, яку можна подати аналітичними виразами одного з показників  $P(t)$ ,  $f(t)$  або  $(t)$ . Для отримання моделі потрібно провести випробування, обчислити статистичні оцінки та апроксимувати їх аналітичними функціями.  $\lambda$

Під час виконання розрахунків надійності працюють не з самим технічним виробом, а з певним математичним об'єктом, що відображає найбільш істотні властивості реального виробу і називається математичною моделлю надійності. Оскільки відмови – це випадкові події, що виникають унаслідок несприятливого розвитку випадкових явищ, математична модель надійності виробу має бути *стохастичною*, що відображає з достатньою точністю закономірності появи відмов у реальному виробі.

Розглянемо моделі раптових відмов, коли впливом поступових відмов на надійність об'єктів можна знехтувати. Вплив поступових відмов та їх математичні моделі надійності детально розглянемо у розділі 3.

Найбільш простою є модель *невідновлюваного* елемента, оскільки вона зводиться до моделі безвідмовності. Основне завдання під час її побудови – формування ознак відмови, вибір та обґрунтування відповідної функції розподілу наробітку до відмови і визначення числового значення її параметрів за статистичними даними, отриманими у процесі випробувань надійності або спостережень під час експлуатації. Оскільки сукупність оцінюваних показників надійності елемента залежить від моделі надійності системи, в яку входить елемент, і від типу нормованого показника надійності, то в деяких випадках не потрібне знання функції розподілу. Достатньо знати деякі числові характеристики: середній наробіток до відмови, ймовірність відмови за заданий час та ін.

Під час формування моделі надійності *відновлюваного* елемента додатково потрібно будувати також модель відновлюваності, в якій мають бути формалізовані процеси виявлення, локалізації відмов та їх усунення (ремонт, налагодження, передпускової підготовки тощо); для формалізації процесу функціонування мають бути встановлені розподіл часу відновлення працездатності і механізм впливу передісторії елемента (кількість відмов і відновлень, тип відмов, обсяг і зміст профілактичних робіт, стан запасного майна тощо) на розподіл наробітку і розподіл часу відновлення.

З'ясуємо, як змінюється безвідмовність технічних об'єктів під час експлуатації, що дасть можливість класифікувати моделі і визначити можливості їх застосування.

З досвіду експлуатації видно, що зміна  $\ln B(t)$  переважної більшості об'єктів (наприклад, радіоелектронних елементів ЛА [2, 6, 38]) описується  $U$ -подібною кривою (рис. 2.1, рис. 2.2, а).  $\lambda$

Криву можна умовно розділити на три характерних ділянки:

– період приробітку;

- період нормальної експлуатації;
- період старіння об'єкта.

У *період приробітку* об'єкт має підвищену ІнВ, викликану відмовами, обумовленими дефектами виробництва, монтажу та налагодження. Іноді із закінченням цього періоду пов'язують гарантійне обслуговування об'єкта, коли усунення відмов провадиться виробником (виготівником).

У *період нормальної експлуатації* ІнВ залишається майже постійною, при цьому відмови мають випадковий характер і з'являються раптово, насамперед через недотримання умов експлуатації, випадкові зміни навантаження, несприятливі зовнішні фактори і т. п. Саме цей період відповідає основному часу експлуатації об'єкта.

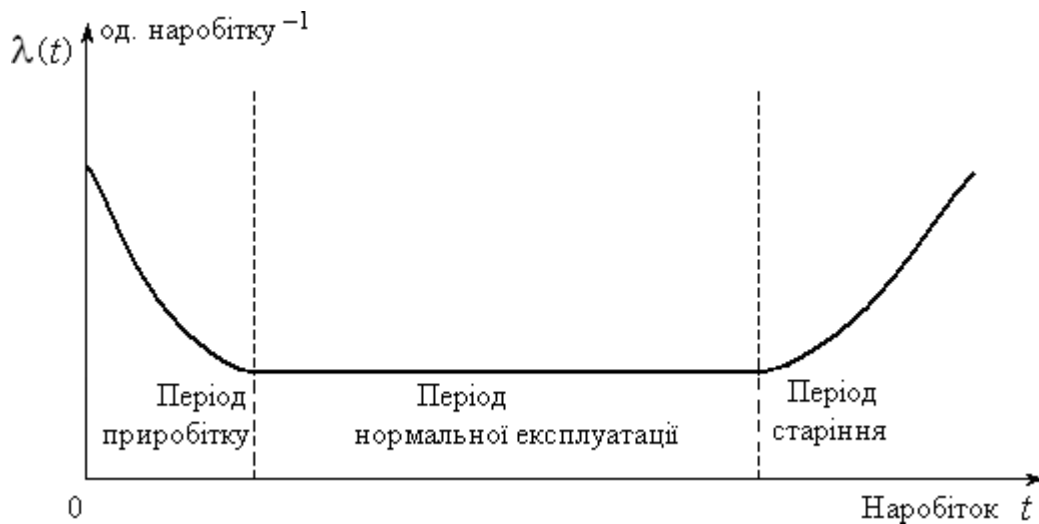


Рис. 2.1. Графік зміни інтенсивності відмов протягом життєвого циклу переважної більшості технічних об'єктів

Зростання ІнВ належить до *періоду старіння* об'єкта і викликане збільшенням кількості відмов від зношування, спрацьовування, старіння та інших причин, пов'язаних із тривалою експлуатацією.

Такий вид залежності і наявність трьох ділянок можна пояснити так. У великій партії завжди є деяка кількість виробів з прихованими дефектами, які не виявлені вихідним контролем виробництва. Ці дефекти розвиваються у відмову зазвичай незабаром після початку експлуатації. У міру «випалювання» дефектних виробів інтенсивність відмов зменшується згідно із залежністю  $\lambda_1(t)$  (рис. 2.2, а). Цей процес продовжується і на ділянці нормальної роботи, але кількість відмов виробів з прихованими дефектами тут порівняно невелика. На третій ділянці відмови з інтенсивністю  $\lambda_2(t)$  виникають переважно унаслідок необоротних фізико-хімічних процесів, що спричиняють

погіршення якості виробів, їх називають процесами старіння. На другій ділянці діють обидві причини відмов: приховані дефекти і старіння, проте оскільки немає переваги жодної з причин, сумарна інтенсивність відмов залишається приблизно постійною.

У деяких виробів залежність інтенсивності відмов від часу відрізняється від типової. Якщо відпрацьована і стабільна технологія виробництва і ретельно проводиться вихідний контроль, то кількість дефектних виробів невелика, і тоді переважає процес старіння (рис. 2.2, б).

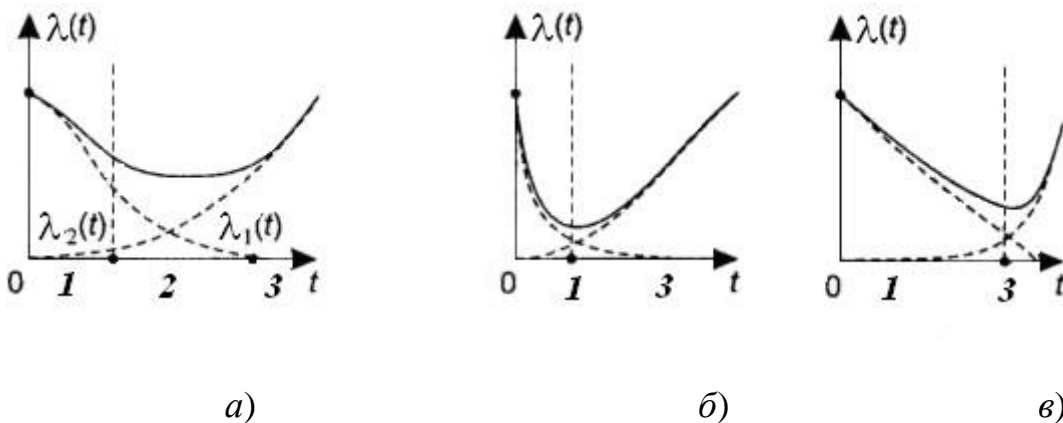


Рис. 2.2. Залежність інтенсивності відмов різних об'єктів від часу на ділянках: 1 – приробітку; 2 – нормальної експлуатації; 3 – старіння

Інші вироби протягом тривалого часу майже не старіють, і тоді функція  $\lambda(t)$  має затяжну ділянку приробітку і коротку ділянку старіння (рис. 2.2, в). В обох останніх випадках ділянки нормальної експлуатації з постійною інтенсивністю відмов майже немає.

Вигляд аналітичної функції, яка описує зміну показників надійності  $P(t)$ ,  $f(t)$  або  $\lambda(t)$ , характеризує **закон розподілу випадкової величини**, що залежить від властивостей об'єкта, його умов роботи та характеру відмов і який обирають під час апроксимації статистичних даних (результатів) випробувань.

### 2.1.1. Статистичне оброблення результатів випробувань визначення показників надійності

Нехай за результатами випробувань  $N$  невідновлюваних однакових об'єктів отримано статистичну вибірку (у будь-яких одиницях виміру) – масив наробітку до відмови кожного з  $N$  об'єктів, які підлягали випробуванню. Вибірка характеризує випадкову величину наробітку  $T = \{t\}$  до відмови об'єкта. Потрібно вибрати закон розподілу випадкової величини  $T$  і перевірити правильність вибору за відповідним критерієм.

Закон розподілу підбирають на основі апроксимації (згладжування) експериментальних даних про наробіток до відмови, які можуть бути подані у вигляді таблиці, у вигляді аналітичної залежності (математичної моделі) або у компактному графічному вигляді. Вибір тієї або іншої функції для

апроксимації має характер гіпотези, яку висуває дослідник. Експериментальні дані можуть із більшою або меншою правдоподібністю підтверджувати або не підтверджувати справедливості тієї або іншої гіпотези, тому дослідник має отримати відповідь на питання: чи узгодяться результати експерименту з гіпотезою про те, що випадкова величина наробітку підпорядкована обраному ним закону розподілу? Відповідь на це питання є результатом розрахунку спеціальних критеріїв адекватності математичної моделі.