

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

**Циклова комісія аеронавігація**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

навчальної дисципліни  
«Безпека авіації: *Безпека авіації*» обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**Авіаційний транспорт (Оператор безпілотних літальних апаратів)**

272 Авіаційний транспорт

**ТЕМА 12. СТАТИСТИЧНА ТЕОРІЯ НАДІЙНОСТІ АТ**

**Кременчук 2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

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

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою Кременчуцького  
льотного коледжу  
Протокол від 28.08.2023 № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС зі спеціальних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії аеронавігації, протокол від 28.08.2023 р.

**Розробник:**

Викладач циклової комісії аеронавігації, спеціаліст вищої категорії Журід В.І.

**Рецензенти:**

1. Професор циклової комісії аеронавігації, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, викладач-методист Тягній В.Г.
2. Професор циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії Гаврилюк Ю.М.

### **План лекції:**

1. Вступ
2. Числові характеристики випадкової величини
3. Математичне очікування
4. Відмови за характером
5. Об'єкти обслуговувані, необслуговувані, ремонтопридатні, неремонтотпридатні.

### **Навчальна та наукова література**

1. Бабак В.П. Безпека авіації. Київ «Техніка», 2004.
2. Постанова Верховної Ради. Повітряний кодекс України. Керівний . Київ, 2011.
3. Міністерство транспорту України. Правила польотів у класифікованому повітряному просторі України. Наказ№ 293,295.Київ. 16.03.03, 04.05.05.

### **Додаткова література**

1. Керівництво по розслідуванню АП та інцендентів  
в. Дос9756-А №965. Монреаль, 2000.
2. Правила розслідування АП з цивільними ПС в Україні. Київ, Державіаслужба, 2005-2010.
3. Керівництво по запобіганню авіаційних пригод  
Дос 9433-АН№923 Монреаль, ІКАО, 1987.

# СТАТИСТИЧНА ТЕОРІЯ НАДІЙНОСТІ АТ

## ВСТУП

Важливою складовою частиною інженерно-авіаційного забезпечення є організація експлуатації авіаційної техніки.

Під організацією експлуатації будемо розуміти систему заходів спрямованих на найбільш раціональне об'єднання комплексу робіт технічної експлуатації, засобів технічної експлуатації, інженерно-технічного та льотного складу та об'єктів технічної експлуатації – літаків та обладнання з метою утримання авіаційної техніки, засобів її експлуатації та ремонту в постійній справності та готовності до ведення бойових дій, досягнення безвідмовності та високої ефективності їх застосування.

Відомо, що експлуатація авіаційної техніки – це стадія життєвого циклу авіаційної техніки з моменту прийняття її військовою частиною від підприємства-виробника чи ремонтного підприємства до зняття з експлуатації. Експлуатація авіаційної техніки включає льотну та технічну експлуатацію.

Розглядається питання насамперед технічної експлуатації, як комплекс робіт, що виконуються на авіаційній техніці на етапах приведення її в установлений ступінь готовності до використання за призначенням, підтримання цього ступеню готовності, використання за призначенням, зберігання і транспортування.

Технічна експлуатація авіаційної техніки характеризується наявністю об'єктивного процесу зміни технічного стану, та суб'єктивного процесу технічної експлуатації, який утворюється послідовною зміною за часом станів експлуатації, виходячи зі схеми можливих переходів. Стани експлуатації – це політ, всі види робіт на авіаційній техніці, ремонт, готовність до застосування та очікування між роботами.

Процес технічної експлуатації можливо розглядати як з теоретичного боку (перші розділи посібника), так і з практичного.

З теоретичного боку це визначення основних показників безвідмовності, ремонтпридатності, збережуваності та довговічності, станів об'єктів, видів відмов та об'єктів, моделювання процесів експлуатації, обробка статистичного матеріалу про відмови.

З практичного боку це забезпечення та підтримання експлуатаційних властивостей авіаційної техніки на стадії розробки та експлуатації, оцінка ефективності процесу експлуатації та методологічні питання і реалізація перспективних стратегій експлуатації за станом.

Особливості організації технічної експлуатації планера, двигуна та бортових комплексів літального апарата буде розглянуто у другій частині посібника.

Про актуальність проблеми раціональної організації експлуатації свідчить той факт, що завдяки низькій надійності та неефективності організації процесу експлуатації вартість експлуатації ряду апаратури на порядок перевищує її закупівельну вартість, а для літака в цілому вона перевищує його вартість, питома трудомісткість технічного обслуговування для деяких видів військових літаків вже

перевищує 70-80 годин трудовитрат на годину нальоту. Тому в теперішній час рівні надійності та експлуатаційної технологічності авіаційної техніки задаються на етапі проектування як найважливіші характеристики літака і витримуються (контролюються) на протязі всього етапу експлуатації.

Добре відомо, що основні кількісні показники надійності виробів (наробіток до відмови, час відновлення, ресурс), які виготовлені в однакових умовах, з одних матеріалів, мають значний розкид. Отже, якщо взяти один виріб зі всієї партії, то неможливо сказати заздалегідь, як довго він буде працювати. Однак на підставі спеціально проведених дослідів можна вказати відсоток випадків, який цей виріб здатен відпрацювати той чи інший термін. Таким чином, для теорії і практики надійності необхідно оперувати з випадковими величинами, які в залежності від випадку можуть приймати ті чи інші значення.

Щоб охарактеризувати випадкову величину, необхідно вказати, по-перше, які значення вона може приймати, тобто множина можливих її значень. Якщо випадкова величина може приймати тільки кінцеву або раховану множину значень, то охарактеризувати цю величину просто: достатньо перелічити її можливі значення та вказати ті імовірності, з якими вона їх приймає. Такі випадкові величини називають дискретними. Вони можуть бути задані у вигляді ряду розподілу (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1.

Інтервал наробітку	0...50	50...100	100...150	>150
Імовірність відмов	0,2	0,3	0,2	0,3

В таблиці 1.1 задана випадкова величина  $\xi$  наробітку об'єкта до відмови.

Розглянутий спосіб представлення не може бути використаним для завдання всіх випадкових величин. Дійсно, якщо множина можливих значень порахована, то приписати кожному значенню відповідну імовірність уже неможливо і безперервні випадкові величини задаються, як правило, з використанням функцій розподілу (законів розподілу).

При цьому закон розподілу - більш широке поняття. Під ним розуміють спосіб завдання випадкової величини, наприклад у вигляді ряду розподілу, функції розподілу і т.і.

Функцією розподілу випадкової величини  $\xi$  називається функція  $F_{\xi}(t)$ , яка дорівнює імовірності того що  $\xi$  прийме значення менше, ніж  $t$   
 $F_{\xi}(t) = P \{ \xi < t \}.$

Закон розподілу безперервної випадкової величини разом з функцією розподілу може задаватись щільністю розподілу  $f_{\xi}(t)$ . Для тих значень  $t$ , для яких існує похідна  $F_{\xi}(t)$  справедливе рівняння:

$$f_{\xi}(t) = F'_{\xi}(t) .$$

Щільністю розподілу називається функція  $f_{\xi}(t)$  , для якої при всіх значеннях  $t$  справедливе рівняння

$$F_{\xi}(t) = \int_{-\infty}^t f_{\xi}(t) dt .$$

Щільність розподілу має також назви щільність імовірності, диференційна функція (закон) розподілу.

### **Числові характеристики випадкової величини**

Найбільш повна характеристика випадкової величини дається її функцією розподілу, що вказує, які значення та з якими імовірностями приймає така величина. Однак для теорії імовірностей та її прикладання, як теорія надійності, важлива і характеристика випадкової величини "в середньому", що одержується за допомогою ряду числових характеристик, як правило, з функцій розподілів.

До основних числових характеристик випадкових величин належать: математичне очікування, дисперсія, медіана, мода та моменти різних порядків. Іноді їх називають характеристиками положення випадкової величини.

#### **Математичне очікування**

Математичним очікуванням дискретної випадкової величини зветься сума добутків всіх можливих значень випадкової величини на імовірності цих значень

$$m_{\zeta} = \sum_{i=1}^n t_i \cdot p_i$$

#### **Надійність і стан об'єктів**

Інженерно-авіаційне забезпечення це комплекс заходів, що направлені на утримання авіаційної техніки, засобів її експлуатації та ремонту в постійної справності та готовності до ведення бойових дій, досягнення безвідмовності та високої ефективності їх застосування. Однак, і готовність і ефективність використання АТ в значній мірі визначаються її надійністю. Відповідно до ДСТУ-2860-94 під надійністю розуміють властивість об'єкта зберігати у часі у встановлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування. Часто під надійністю у вузькому значенні розуміють перш за все безвідмовність, тобто властивість об'єкта виконувати потрібні функції протягом заданого інтервалу часу.

У той же час надійність тісно пов'язана з різними сторонами процесу експлуатації – ремонтом, зберіганням, зняттям з експлуатації. Тому правильніше розглядати надійність у широкому значенні як комплексну властивість об'єкта, яка в залежності від призначення об'єкта та умов його використання може містити в себе сполучення властивостей: безвідмовності, ремонтпридатності, збережуваності та довговічності.

На рис. 13.1. наведені основні властивості об'єкта з точки зору надійності, а також одиничні та комплексні показники надійності. Характеристика кожної з властивостей і основні поняття та визначення теорії надійності наведені у державних стандартах України [3].

Безвідмовність – властивість об'єкта виконувати потрібні функції в певних умовах протягом заданого інтервалу часу чи наробітку.

Під наробітком розуміється тривалість (або обсяг) роботи об'єкта. Під працездатним станом – стан об'єкта, який характеризується його здатністю виконувати усі потрібні функції. Якщо хоч би одна з цих потрібних функцій не виконується – об'єкт вважається непрацездатним.

На рис. 13.2 наведена загальна схема основних технічних станів і подій об'єктів.

Під справністю розуміють стан об'єкта, за яким він здатний виконувати усі задані функції об'єкта. Тобто об'єкт, є працездатним а також задовольняє й деяким іншим вимогам, застереженим в документації, але не впливаючих на його працездатність (немає пошкоджень лакофарбового покриття, відсутні пом'ятини, тріщини на захисних коробках, задовольняє естетичним вимогам і т.ін.).

Подія порушення працездатного стану об'єкта називається відмовою. Про неї судять по сукупності значень параметрів, які описують стан об'єкта, та якісних ознак, для яких не застосовують кількісні оцінки.

Ознаку, чи сукупність ознак порушення працездатного стану об'єкта, встановлені у нормативній або конструкторській документації на об'єкт називають критеріями відмови.

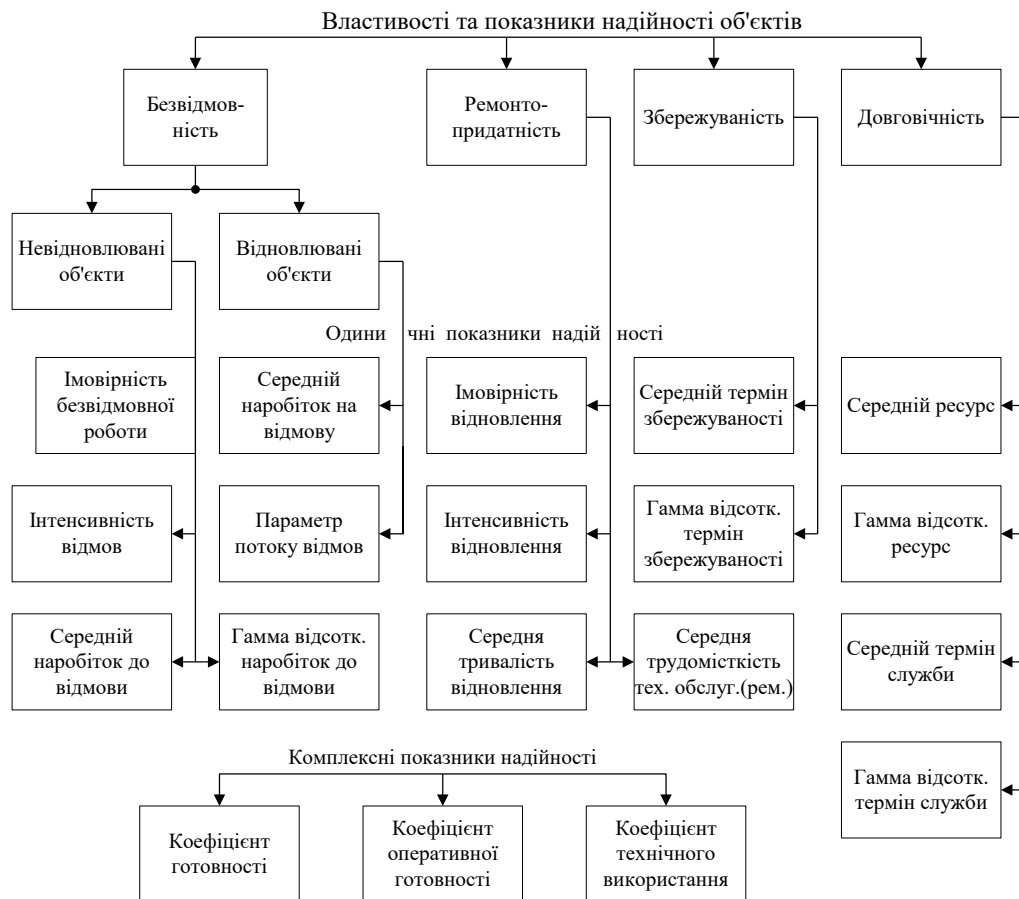
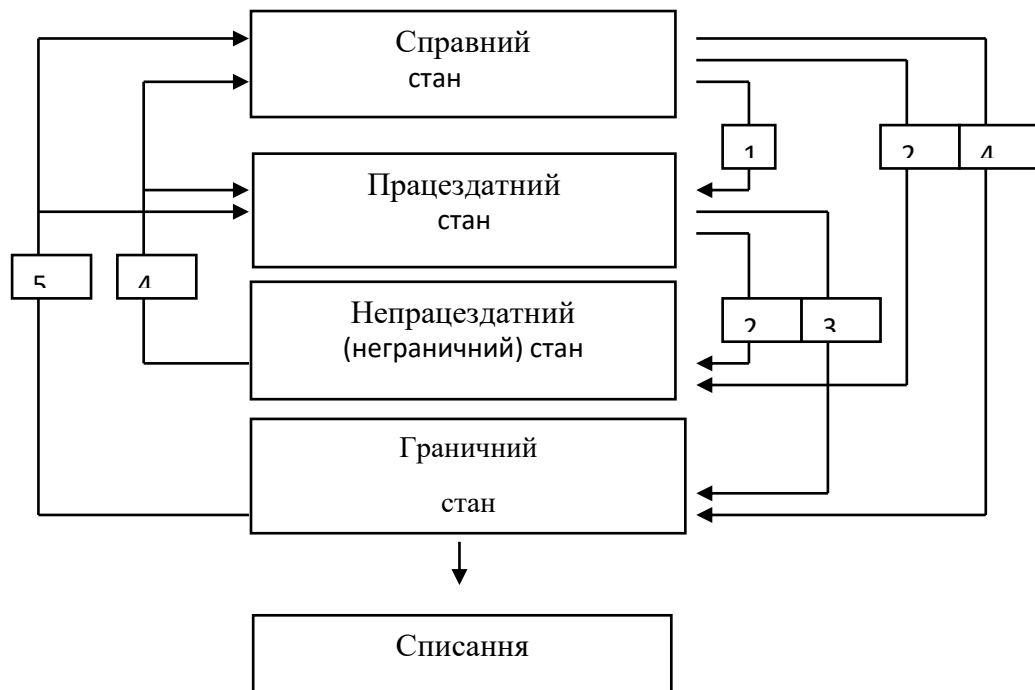


Рис. 13. 1.

- пошкодження;
- 2 – відмова;
- 3 – перехід у граничний стан;
- 4 – відновлення;
- 5 – ремонт.



Перехід об'єкта із справного стану у несправний відбувається внаслідок дефектів (пошкоджень і відмов).

Якщо об'єкт переходить у несправний, але працездатний стан, цю подію називають пошкодженням.

У складних об'єктах можливий більш детальніший поділ станів об'єкта з виділенням проміжних станів із зниженими рівнями якості функціонування (правильне функціонування – неправильне функціонування).

Перехід об'єкта у граничний стан спричиняє тимчасове або остаточне припинення використання об'єкта за призначенням. Тому під граничним станом розуміють стан об'єкта при якому його подальша експлуатація неприпустима чи недоцільна, або відновлення його працездатного стану неможливе або не доцільне.

Перехід об'єкта з граничного стану у працездатний здійснюється за допомогою ремонту, при якому відбувається відновлення ресурсу об'єкта. Під технічним ресурсом розуміють наробіток об'єкта від початку експлуатації до переходу у граничний стан. При цьому у нормативно-технічній та (або) конструкторській документації встановлюється критерій граничного стану (тобто ознака або сукупність ознак граничного стану). Наприклад, заданий наліт для ЛА, 18 місяців експлуатації для срібно-цинкових акумуляторних батарей і т.і.

Перехід об'єкта з непрацездатного (неграничного) стану у працездатний чи справний стан здійснюється за допомогою операцій відновлення. До відновлення належать операції ідентифікації відмови та контролю технічного стану елементів об'єкту, заміна елементу та заключні операції контролю працездатності об'єкта в цілому.



## Відмови за характером

Відмови за характером проявлення поділяються на раптові та поступові.

Раптовою називається відмова, яку неможливо передбачити попередніми дослідженнями. Вона характеризується стрибкоподібною зміною значень одного або декількох заданих параметрів об'єкта. Раптовій відмові не передуює спрямована зміна якогось зі спостерігаємих експлуатаційних параметрів об'єкту, у зв'язку з чим прогнозування моменту виникнення раптової відмови відносно неможливо. В той же час, поняття раптової відмови відносно в тому розумінні, що при більш глибокому проникненні в суть процесів, пов'язаних з виникненням відмови, може з'явитись можливість виявлення таких поступових змін в об'єкті, які закономірно передують виникненню такої відмови, яку раніше відносили до раптових.

Поступовою зветься відмова, спричинена поступовими змінами значень одного або декількох параметрів об'єкта. Спостерігаючи за значенням таких параметрів, можна виявити тенденції або закономірності зміни заданого експлуатаційного параметра об'єкта за час, що передуює моменту виникнення відмови. Це звичайно дає можливість із заданою високою імовірністю прогнозувати момент (інтервал часу) виникнення поступової відмови. Поступові відмови, як правило, викликані явищами механічного або електричного зносу та старіння.

В деяких випадках багаторазово виникаюча відмова об'єкта може самоусуватися, що часто спостерігається в обчислювальній техніці. Такі відмови мають назву повторювальних. В інших випадках одноразово виникаюча самоусувна відмова або відмова, яку усуває оператор незначним втручанням називається збоєм.

За ступенем впливу відмов одна на другу їх можна поділити на залежні та незалежні відмови. Перші викликані відмовою іншого об'єкта (елемента). Другі не залежать від відмов інших елементів складної системи, зв'язаних з ними функціонально.

В залежності від причин відмов їх поділяють на конструкційні, виробничі та через неправильне поводження. Тут під причиною відмови розуміють обставини під час проектування виробництва чи використання, які привели до відмови.

Так, конструкційні відмови виникають в результаті недосконалості чи порушення встановлених правил чи норм проектування та конструювання об'єкта.

Виробничі відмови спричинені невідповідністю виготовлення об'єкту до його проекту чи до норм виробничого процесу.

Кажучи про відмови, необхідно ввести поняття наслідку відмови, як явища, процеси, події та стани, що обумовлені виникненням відмови (вібрація, запалювання, не вмикання та ін.).

В ДСТУ-2860-94 крім перерахованих виділяються інші типи відмов (всього 22), такі як явні та приховані, часткові та повні, через неправильне поводження, критичні та деградовані (обумовлені процесом деградації при дотриманні усіх встановлених правил експлуатації).

Під об'єктом будемо розуміти систему чи підсистему, їх елементи чи функціональні одиниці (частини), які розглядаються з точки зору надійності як самостійні одиниці.

В цілях підтримання працездатності та попередження відмов авіаційної техніки особовим складом служби озброєння проводяться профілактичні та інші роботи з технічного обслуговування, що передбачені чинними наставленнями, керівництвами та регламентами технічної експлуатації.

### **Об'єкти обслуговувані, необслуговувані, ремонтпридатні, неремонтпридатні**

Обслуговуваними називаються об'єкти, для яких передбачені роботи з технічного обслуговування нормативно-технічною документацією. У противному разі об'єкти називаються необслуговуваними.

Об'єкти, для яких проведення ремонтів можливо і передбачено в нормативно-технічній чи конструкторській документації називаються ремонтними (ремонтпридатними). В противному разі неремонтними (неремонтпридатними).

Ремонтний об'єкт, який після відмови та усунення несправності знову стає здатним виконувати функції з заданими кількісними показниками надійності називається відновлюваним об'єктом.

Відновлення полягає у відшукуванні та заміні елементів (модулів, плат, субблоків і т.і.), які відмовили з подальшим регулюванням та перевіркою працездатності.

Об'єкт, для якого в даній ситуації проведення ремонту працездатного стану не передбачено в нормативно-технічній чи конструкторській документації чи не дозволяє відновити задані кількісні показники надійності називається невідновлюваним. Такий об'єкт замінюється в цілому на новий чи інший справний, чим досягається відновлення працездатності складного об'єкта авіаційної техніки (функціональної системи) складовою частиною якого є даний об'єкт. Такий метод відновлення називається агрегатним.

Невідновлювані у військових умовах об'єкти списуються через склад або направляються в ремонт. Як правило, не відновлюваними та неремонтними об'єктами є прості елементи (датчики, печатні плати, окремі блоки), які є складовими частинами складних функціональних систем літака, які, в свою чергу, всі є і ремонтними, і відновлюваними (САУ, енерговузли, навігаційні системи та інші).

Поняття "система" та "елемент" виражаються одне через друге і, як правило, відносні та умовні.

Система - це об'єкт, який представляє собою сукупність елементів, взаємодіючих в процесі виконання визначеного кола задач і взаємодіючих функціонально.

Елемент системи - об'єкт, який представляє собою просту частину системи, окремі частини якого не представляють окремої цікавості в рамках конкретного розглядання. Об'єкт, який вважається системою в одному дослідженні, може розглядатися як елемент, якщо вивчається об'єкт більшого масштабу.

