

**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 №4 – Надійність складних технічних систем

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. Основи аналізу надійності систем.
2. Надійність основної системи.
3. Нормування надійності складних систем.
4. Надійність систем з навантаженим резервуванням.
5. Надійність систем з ненавантаженим резервуванням.
6. Надійність систем з полегшеним і з ковзним резервуванням.
7. Надійність відновлюваних систем.

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

Основи аналізу надійності систем

Завдання розрахунку надійності складних систем: знаходження і аналіз показників безвідмовності нерезервованої (основної) системи, що складається з невідновлюваних елементів, за даними про надійність її складових елементів та (з урахуванням зв'язків між ними) визначення шляхів покращення її надійності.

Мета розрахунку надійності складних систем:

- обґрунтувати вибір того або іншого конструктивного рішення під час синтезу високонадійних систем;
- досягти потрібний рівень надійності за наявної технології проектування та виробництва;
- з'ясувати можливість і доцільність резервування (як з технічного, так і з економічного аспекту) для подальшого синтезу резервованої системи.

Аналіз надійності основної системи складається з наступних етапів:

1. Визначення складу показників надійності, які потрібно розрахувати.
2. Розробка структурної логічної схеми надійності (структури системи), що заснована на аналізі функціонування елементів системи (потрібно визначити, які блоки включені, у чому полягає їх функціонування, скласти перелік властивостей справної системи тощо) і виборі методу розрахунку показників надійності.
3. Складання математичної моделі, що пов'язує показники надійності системи, які розраховуються, з показниками надійності елементів.
4. Виконання розрахунку, аналіз отриманих результатів, коректування розрахункової моделі і структури системи.

Переліки показників надійності для систем невідновлюваними і відновлюваними елементами відрізняються (табл. 4.1)

Таблиця 4.1

Склад показників надійності систем, що розраховуються

Тип системи	Показники надійності
Системи з невідновлюваними елементами	Середній наробіток до відмови T_{0c}
	ІБР до заданого наробітку $P_c(t)$
	ІнВ до заданого наробітку $f_c(t)$
	ЩРВ до заданого наробітку $f_c(t)$
Системи з відновлюваними елементами	Середній наробіток до відмови T_{0c}
	ІБР до заданого наробітку $P_c(t)$
	Коефіцієнт готовності $K_{г.с}$
	Коефіцієнт оперативної готовності $K_{оп.г.с}$
	Параметр потоку відмов $\lambda_c(t)$

Структура надійності системи – це логічна схема взаємодії елементів, що визначає працездатність системи, або, іншими словами, це графічне відображення елементів системи, що дає можливість однозначно визначити стан системи (працездатний/непрацездатний) залежно від стану елементів

(працездатний/непрацездатний).

За структурою системи підрозділяють на такі:

- система без резервування (основна система);
- системи з резервуванням.

Математична модель надійності – формальні математичні перетворення, що дають можливість отримати розрахункові формули.

Математичні моделі можуть бути реалізовані за допомогою:

- методу інтегральних і диференціальних рівнянь;
- на основі графа можливих станів системи;
- на основі логіко-ймовірнісних методів;
- на основі дедуктивного методу (так званого «дерева відмов»).

Найважливішим етапом розрахунку надійності є розроблення структури надійності системи й визначення показників надійності складових її елементів.

По-перше, класифікуються саме ті види відмов, які істотно впливають на працездатність системи.

По-друге, до складу системи у вигляді окремих елементів можуть входити електричні з'єднання, наприклад, пайкою, стиском або зварюванням, а також штепсельні з'єднання та ін., оскільки на їх частку доводиться від 10 до 50 % загальної кількості відмов.

По-третє, немає повної інформації про показники надійності елементів, тому доводиться або інтерполювати показники, або використовувати показники аналогів.

На практиці розрахунок надійності проводиться у декілька етапів:

1. На стадії складання технічного завдання на проектувану систему, коли її структура невизначена, роблять попереднє оцінювання надійності, виходячи з апіорної інформації про надійність подібних за характером систем і комплектуючих елементів.

2. Складається структурна схема з показниками надійності елементів, заданими за нормальних (номінальних) умов експлуатації.

3. Остаточний (коефіцієнтний) розрахунок надійності проводиться на стадії завершення технічного проекту, коли проведені випробування дослідних зразків і відомі всі можливі умови експлуатації. При цьому коректують показники надійності елементів (часто убик їх зменшення) та обирають спосіб резервування – вносять зміни у структуру системи.

Надійність основної системи

Основні системи (ОС) – це найпростіші технічні системи, в яких відмова одного елемента спричиняє відмову всієї системи. Фактично основна система це система без резервних елементів.

Моделі надійності послідовних систем

Систему називають послідовною, якщо відмова будь-якого її елемента спричиняє відмову системи, а для працездатності системи мають бути

працездатними всі її елементи. Модель надійності такої системи складається з моделей надійності її елементів і деяких додаткових припущень

про їх взаємозв'язки. Основна система завжди послідовна.

Працездатність послідовної (основної) системи забезпечується за умови, коли всі n елементів системи перебувають у працездатному стані (рис. 4.5).

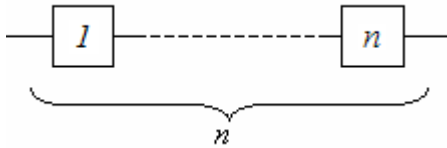


Рис. 4.5. Структура послідовної системи

Випадковий наробіток до відмови послідовної системи

Одним із центральних під час побудови моделі надійності системи є питання про залежність або незалежність відмов елементів однієї від іншої як випадкових подій (зазвичай припускають, що вони незалежні). Незалежність забезпечується під час проектування виконанням відповідного комплексу правил та прийомів розробки електричних, гідравлічних, функціональних та інших схем. До них можна віднести використання гальванічних розв'язок, незалежних джерел живлення, блокувань, запобіжних клапанів та інших. Вимога незалежності відмов – одна з основних в технічному завданні на розробку систем.

З різних причин забезпечити незалежність відмов повною мірою вдається не завжди, і тоді можуть виникнути залежності двох типів: стохастична і функціональна. У першому випадку на показники надійності певного елемента системи впливає кількість інших елементів і їх стан. Така залежність виникає внаслідок перерозподілу навантаження і зміни умов експлуатації. В другому випадку відмова одного із елементів системи неминуче спричиняє відмову іншого елемента або інших елементів (негайно чи з деякою затримкою). Тоді можуть виникнути так звані каскадні відмови (аварії), що розвиваються відповідно до «ефекту доміно».

В моделі надійності відновлюваної системи повинно бути вказано також стан усіх її елементів після відмови одного з них. Крайніми випадками є такі: після відмови елемента інші елементи вимикаються і переходять у стан збереження; після відмови елемента інші не вимикаються і зберігають ті ж показники надійності, що й при працездатній системі.

У загальному випадку стан кожного елемента встановлюється окремо, але на практиці зазвичай режими елементів після відмови системи роблять однаковими. Це відбувається або автоматично, відповідно до електричної схеми і правил роботи засобів захисту системи, або з участю оперативного персоналу.

Метод опису логічних зв'язків за допомогою алгебри подій (або алгебри логіки), аналогічно виразу (4.3), універсальний, оскільки дає можливість виразити будь-які складні логічні залежності відмов системи від відмов елементів. Але він не завжди наочний. Тому використовують й інші методи.

Графічний метод опису логічних зв'язків ґрунтується на використанні еквівалентної схеми провідності, або структурної схеми надійності, коли з кожним працездатним елементом зіставляють один еквівалентний елемент

ланцюга з нескінченною провідністю (з нульовим опором, тобто відмова типу

«к.з.»), а непрацездатному елементу – один елемент ланцюга з нульовою провідністю (з нескінченним опором, тобто відмова типу «обрив»). З працездатним станом системи зіставляють провідний стан еквівалентного ланцюга. Обрив еквівалентного ланцюга вважають відмовою системи. Перетин подій у залежності (4.1) відповідає еквівалентній системі з послідовним з'єднанням елементів, що пояснює назву з'єднання. Як видно з табл. 4.2, послідовне з'єднання у структурній схемі надійності зовсім не означає обов'язкового послідовного електричного з'єднання.

Може бути так, що елементи, які стоять поряд в еквівалентній структурній схемі надійності, взагалі не мають безпосереднього електричного

з'єднання, наприклад, як у контурі, який містить резистори (R_1, R_2) , конденсатори C_2 і T (рис. 4.6). Крім $(C_1, \text{трансформатор } P_1)$ того, в

еквівалентній схемі допускаються будь-які перестановки елементів у межах послідовного ланцюга (внаслідок комутативності операції множення), чого не можна робити в електричній схемі.

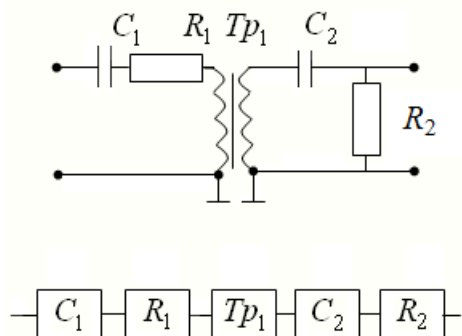


Рис. 4.6. Приклад складання послідовної схеми надійності основної системи

Графічний спосіб за всієї своєї наочності все ж не універсальний. У деяких випадках не вдається зіставити з системою ніякої еквівалентної схеми надійності, не використовуючи фіктивних елементів. Під час розробки моделі й аналізу надійності зазвичай використовують структурну схему, якщо з її допомогою вдається правильно відобразити логіку відмов системи. Якщо ж не вдається, то переходять до запису логічної функції F або G .

Нормування надійності складних систем

У технічному завданні (ТЗ) на розробку складної технічної системи (наприклад, ЛА) зазвичай вказують узагальнені показники надійності. Процес формування вимог називають нормуванням надійності, а отриманий результат – *нормами надійності*.

На початковій стадії проектування в ТЗ вказують лише ІБР всієї проектованої системи P_{c3} . Під час проектування використовують як елементи з відомою надійністю, так і елементи, про надійність яких можна судити лише за їх аналогами (прототипами). При цьому потрібно наперед оцінити

надійність елементів, яку надалі уточнюють у процесі випробування дослідних зразків системи та елементів.

Нормування надійності – процес багатоетапний, він ґрунтується на ієрархії «система–елемент», згідно з якою деякий комплекс технічних засобів ЛА може входити складовою частиною (елементом) у систему наступного рівня і водночас сам складається з деякої сукупності складових частин, яка є по відношенню до них системою.

Вимоги до надійності можна задавати у вигляді нижньої межі ІБР системи протягом заданого наробітку, середнього наробітку до першої відмови чи у вигляді верхньої межі ІВ або ІнВ. На початкових етапах проектування, щоб переконатися в тому, що висунуті вимоги до надійності системи можна виконати, а також для порівняння різних варіантів компонування системи, роблять приблизний розрахунок надійності, в якому нормують показники надійності елементів і окремих складових частин складної системи.